PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DE SERGIPE

Produtos Consolidados – Módulos 1 a 5
(Produtos 1.1 a 5.3)

Versão Final – VF_16_10_2026

São Paulo, outubro/2026

SUMÁRIO DOS PRODUTOS CONSOLIDADOS

Plano de Ações Climáticas do Estado de Sergipe – SEMAC (Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas)

Fundação Instituto de Administração – FIA

Todos os documentos na versão final consolidada (VF_16_10_2026), após atendimento das devolutivas SEMAC e revisão editorial. Clique em cada linha para ir ao documento.

Produto	Documento / arquivo	Versão	Nº págs.	Págs. no PDF
MÓDULO 1				
1.1	**Relatório de Diagnóstico Climático** *Produto_1.1_Relatório_de_Diagnóstico_Climático_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	154	5–158
1.2	**Relatório de Cenários Climáticos** *Produto_1.2_Relatório_de_Cenários_Climáticos_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	42	159–200
1.3	**Inventário Estadual de Emissões de GEE** *Produto_1.3_Inventário_Estadual_Emissões_GEE_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	134	201–334
1.4	**Relatório e Mapa de Vulnerabilidades e Riscos Climáticos** *Produto_1.4_Relatório_e_Mapa_de_Vulnerabilidades_Riscos_Climáticos_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	144	335–478
1.5	**Cenário Energético** *Produto_1.5_Cenário_Energético_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	84	479–562
MÓDULO 2				
2.1	**Plano de Mitigação** *Produto_2.1_Plano_de_Mitigação_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	237	563–799
2.1	Anexo – Plano Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar *Produto_2.1_Anexo_Plano_Estadual_de_Monitoramento_da_Qualidade_do_Ar_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	34	800–833
2.2	**Relatório de Benefício-Custo** *Produto_2.2_Relatório_de_Benefício-Custo_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	64	834–897
2.3	**Plano de Educação** *Produto_2.3_Plano_de_Educação_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	511	898–1408
2.4	**Minutas de Atos Normativos** *Produto_2.4_Minutas_de_Normativos_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	13	1409–1421
2.5	**Plataforma de Alerta** *Produto_2.5_Plataforma_de_Alerta_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	12	1422–1433

Produto	Documento / arquivo	Versão	Nº págs.	Págs. no PDF
2.6	**Relatório Técnico de Atividades (Ata de Reunião SEMAC de 07/11 inclusa)** *Produto_2.6_Relatório_Técnico_de_Atividades_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	14	1434–1447
MÓDULO 3				
3.1	**Modelagem do Sistema MRV** *Produto_3.1_Modelagem_do_Sistema_MRV_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	60	1448–1507
3.2	**Relatório de Atividades** *Produto_3.2_Relatório_de_Atividades_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	20	1508–1527
3.3	**Manual de Procedimentos** *Produto_3.3_Manual_de_Procedimentos_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	51	1528–1578
3.4	**Minuta de Implantação do Sistema MRV (Minutas de Normativos MRV)** *Produto_3.4_Minutas_de_Normativos_MRV_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	14	1579–1592
3.5	**Relatório de Atividades** *Produto_3.5_Relatório_de_Atividades_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	10	1593–1602
3.5	Anexo – Apresentação: Arquitetura Conceitual *Produto_3.5_Anexo_Apresentação_Arquitetura_Conceitual_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	21	1603–1623
3.5	Anexo – Apresentação: Inventário Estadual de GEE *Produto_3.5_Anexo_Apresentação_Inventário_Estadual_de_GEE_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	16	1624–1639
3.5	Anexo – Apresentação: Protocolo de Gestão *Produto_3.5_Anexo_Apresentação_Protocolo_de_Gestão_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	10	1640–1649
MÓDULO 4				
4.1	**Relatório Técnico de Atividades** *Produto_4.1_Relatório_Técnico_de_Atividades_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	64	1650–1713
4.2	**Apoio Técnico-Operacional e Promoção do Diálogo entre Instituições** *Produto_4.2_Apoio_técnico_operacional_promoção_diálogo_instituições_Plano_de_Ações_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	7	1714–1720
4.2	Anexo I – Manual Operacional da Ouvidoria Climática *Produto_4.2_Anexo_I_Manual_Operacional_Ouvidoria_Climática_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	13	1721–1733
4.2	Anexo II – Guia de Audiências Públicas *Produto_4.2_Anexo_II_Guia_Audiências_Públicas_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	11	1734–1744
4.3	**Plano de Governança** *Produto_4.3_Plano_de_Governança_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	63	1745–1807

Produto	Documento / arquivo	Versão	Nº págs.	Págs. no PDF
4.4	**Projeto de Lei de Governança** *Produto_4.4_PL_Governança_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	31	1808–1838
4.5	**Relatório de Compatibilidade de Políticas** *Produto_4.5_Relatório_Compatibilidade_Políticas_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	34	1839–1872
4.6	**Relatório Técnico de Atividades** *Produto_4.6_Relatório_Técnico_Atividades_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	9	1873–1881
4.6	Anexo I – Apresentação *Produto_4.6_Anexo_I_Apresentação_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	25	1882–1906
4.6	Anexo II – Guia Orientador para Implementação dos Planos Municipais de Ações Climáticas *Produto_4.6_Anexo_II_Guia_Orientador_Implementação_Planos_Municipais_Ações_Climáticas_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	13	1907–1919
MÓDULO 5				
5.1	**Plano de Ação Climática (PAC)** *Produto_5.1_PAC_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	144	1920–2063
5.2	**Plano de Ação Climática (PAC)** *Produto_5.2_PAC_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	256	2064–2319
5.3	**Plano de Ação Climática (PAC)** *Produto_5.3_PAC_VF_16_10_2026.pdf*	VF_16_10_2026	270	2320–2589

Total: 33 documentos · 2585 páginas de conteúdo (+ capa e 3 página(s) de sumário)

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: **SEMAC** - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo de Sergipe.

Relatório de Diagnóstico Climático do Estado de Sergipe (Produto 1.1)

São Paulo, novembro/2025

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO....4

2. OBJETIVOS....5

1.1 GERAL....5
1.2 ESPECÍFICOS....5

3. PREMISSAS CONCEITUAIS....5

1.3 TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NO NORDESTE BRASILEIRO....10
1.4 EXTREMOS CLIMÁTICOS E ÍNDICES EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES (ETCCDI)....10
1.5 MODELAGEM PREDITIVA CLIMÁTICA....11

4. LEVANTAMENTO DE SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA E EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS....12

1.6 METODOLOGIA....12
1.6.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS....12
1.6.2 CONTROLE DE QUALIDADE E PREENCHIMENTO DE LACUNAS....13
1.6.3 TESTES DE ESTACIONARIEDADE....15
1.6.4 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS....17
1.6.5 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS....21
1.6.6 TESTE DE PRESSUPOSTOS ESTATÍSTICOS....24
1.6.7 ANÁLISE DE PODER ESTATÍSTICO E MAGNITUDE DO EFEITO....25
1.6.8 AJUSTE DE THRESHOLDS (LIMITES) PARA EVENTOS EXTREMOS....27
1.6.9 MODELAGEM PREDITIVA....29
1.6.10 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO....32
1.6.11 ANÁLISE TEMPORAL....34
1.6.12 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS....35
1.7 RESULTADOS....35
1.7.1 ESTAÇÕES SELECIONADAS E INTEGRIDADE DOS DADOS....35
1.7.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA....37
1.7.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS....39
1.7.4 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS....47
1.7.5 VALIDAÇÃO ESTATÍSTICA....50
1.7.6 MODELAGEM PREDITIVA E PROJEÇÕES....53
1.7.7 MACHINE LEARNING PARA DETECÇÃO DE EXTREMOS....57
1.7.8 COMPLEMENTARIDADE SARIMA VS MACHINE LEARNING....59
1.7.9 VALIDAÇÃO DE THRESHOLDS E MAGNITUDE DO EFEITO....60
1.7.10 IMPACTO DO PREENCHIMENTO DE FALHAS NOS ÍNDICES CLIMÁTICOS....63
1.8 CONSIDERAÇÕES GERAIS....66
1.8.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E VARIABILIDADE REGIONAL....66
1.8.2 ESTACIONARIEDADE E VALIDAÇÃO DE TENDÊNCIAS....67
1.8.3 EXTREMOS CLIMÁTICOS: ALTERAÇÕES SISTEMÁTICAS E IMPACTOS....70
1.8.4 MODELAGEM PREDITIVA: COMPLEMENTARIDADE SARIMA E MACHINE LEARNING....73
1.8.5 VALIDAÇÃO METODOLÓGICA E ROBUSTEZ ESTATÍSTICA....76
1.8.6 CONSISTÊNCIA COM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS....78
1.8.7 RELEVÂNCIA CLIMÁTICA DOS EVENTOS EXTREMOS: FRAMEWORK DE VALIDAÇÃO....80
1.8.8 LIMITAÇÕES, DIREÇÕES FUTURAS E SÍNTESE INTERPRETATIVA....82
1.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS....88

5. MAPEAMENTO DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS EXISTENTES E IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS ESTRATÉGICOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE NOVAS ESTAÇÕES 90

1.10 METODOLOGIA 90
1.10.1 BASE DE DADOS 91
1.10.2 ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS (AMC) PARA CONSTRUÇÃO DO MAPA DE APTIDÃO 91
1.10.3 NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO PARA O ZONEAMENTO TERRITORIAL 99
1.10.4 ALOCAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS PONTOS PARA NOVAS ESTAÇÕES 100
1.10.5 VALIDAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL: ANÁLISE DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO 100
1.10.6 APRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NO ESPAÇO GEOGRÁFICO DO ESTADO DE SERGIPE 101
1.11 RESULTADOS 103
1.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS 112

6. ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NOS SETORES RELACIONADOS 113

1.13 METODOLOGIA E BASE DE DADOS 113
1.13.1 O MODELO DE INSUMO-PRODUTO 113
1.13.2 BASE DE DADOS E TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS 116
1.13.3 MODELAGEM ECONOMÉTRICA 117
1.14 ANÁLISE DOS RESULTADOS 120
1.14.1 ANÁLISE DE INSUMO-PRODUTO 120
1.14.2 RESULTADOS DAS ESTIMAÇÕES E ECONOMÉTRICAS 126

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 136

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 138

9. LISTA DE FIGURAS 147

10. LISTA DE TABELAS 149

11. LISTA DE QUADROS 150

12. ANEXOS 151

1.15 LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS ATIVAS (OPERANTES E EM PANE) E LOCALIZAÇÃO DAS NOVAS ESTAÇÕES 151
1.16 CLASSIFICAÇÃO MÉDIA DA APTIDÃO PARA INSTALAÇÃO DE NOVAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NOS TERRITÓRIOS DE SERGIPE 152
1.17 DEFLATORES SETORIAIS IMPLÍCITOS 153
1.18 AGREGAÇÃO SETORIAL 154

1. APRESENTAÇÃO

O Produto 1.1 – *"Relatório de Diagnóstico Climático do Estado de Sergipe"* constitui um dos documentos técnicos integrantes do Projeto que tem por objetivo promover estudos, pesquisas e ações voltados à promoção do desenvolvimento econômico e sustentável do Estado de Sergipe, fornecendo os subsídios técnicos científicos para o planejamento, desenvolvimento e implementação de um Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC).

Os objetivos, escopo e produtos associados ao PEAC/SE estão estabelecidos no Contrato nº 08/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração (FIA) e a Secretaria de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), conforme disposto no Processo Administrativo nº 192/2025.

Reconhecendo que as mudanças climáticas representam um dos mais complexos desafios socioambientais do século XXI, demandando respostas integradas e multiescalares nas esferas global, nacional, estadual e local, o PEAC/SE se configura como um instrumento estratégico de planejamento e gestão ambiental, orientado à mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e à adaptação dos sistemas naturais e antrópicos aos efeitos do aquecimento global. Nesse contexto, o presente Diagnóstico Climático assume papel fundamental ao fornecer a base técnico-científica necessária à formulação das ações e estratégias do Plano, contemplando:

- O mapeamento de estações meteorológicas existentes e a identificação de locais estratégicos para a implantação de novas estações;
- O levantamento de séries históricas de temperatura, precipitação e eventos climáticos extremos;
- A análise de tendências climáticas e índices de variabilidade climática;
- Panorama geral das vulnerabilidades e riscos climáticos;
- Panorama geral do Inventário de GEE, com as emissões por setor;
- Análise dos impactos ambientais nos setores relacionados (energia, transportes, resíduos, floresta, agricultura, saúde pública, infraestrutura e outros).

Os impactos das mudanças climáticas são sentidos de forma heterogênea, com cada região apresentando vulnerabilidades e riscos específicos. O levantamento de dados climáticos pretéritos, além de se apresentar como um desafio, em virtude da constantemente relatada irregularidade de coleta pelos órgãos responsáveis, também se reveste de grande importância, em decorrência do papel que desempenha na construção de um futuro mais resiliente e sustentável.

Eventos extremos, como secas prolongadas, inundações, ondas de calor e tempestades, afetam diretamente a população, a economia e os ecossistemas em escala estadual e municipal. Um PAC estadual permite uma resposta mais ágil e direcionada a essas realidades, desenvolvendo soluções adaptadas às características geográficas, socioeconômicas e ambientais locais.

Nesse sentido, o Diagnóstico Climático emerge como uma ferramenta indispensável, servindo como a base informacional para a construção de estratégias de mitigação e adaptação em nível estadual. Vale destacar que um Diagnóstico Climático é muito mais do que uma mera compilação de dados, e representa uma análise aprofundada das condições climáticas atuais e futuras do estado, identificando vulnerabilidades, riscos e oportunidades, funcionando como o suporte científico e técnico sobre o qual todo o planejamento climático subsequente em nível estadual deve ser construído.

2. OBJETIVOS

1.1 GERAL

Apresentar o Relatório de Diagnóstico Climático, enquanto documento técnico que consolida a análise climática do Estado de Sergipe, principal subsídio para a formulação de ações e estratégias de mitigação e adaptação climática.

1.2 ESPECÍFICOS

- Apresentar o levantamento de séries históricas de variáveis climáticas, como temperatura, precipitação e eventos climáticos extremos, análise de tendências climáticas e índices de variabilidade climática;
- Realizar o levantamento e mapeamento de estações meteorológicas existentes e a identificação de locais estratégicos para a implantação de novas estações;
- Avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre a economia de Sergipe, considerando tanto os efeitos diretos das emissões de GEE quanto as interações indiretas que se propagam pelas cadeias produtivas e pelas relações inter-regionais.

3. PREMISSAS CONCEITUAIS

As mudanças climáticas antropogênicas emergem como um dos mais significativos desafios científicos e societais do século XXI. O Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR6)

estabelece, com inequívoca evidência, que atividades humanas aqueceram o sistema climático em aproximadamente 1,1°C desde o período pré-industrial (1850–1900), com taxas de aquecimento sem precedentes nos últimos 2.000 (dois mil) anos (IPCC, 2021). Este aquecimento manifesta-se não apenas através da elevação das temperaturas médias globais, mas, fundamentalmente, através de alterações na frequência, intensidade e distribuição espacial de eventos climáticos extremos (Seneviratne et al., 2021).

A região Nordeste do Brasil, abrangendo aproximadamente 1,56 milhões de km² e população superior a 57 (cinquenta e sete) milhões de habitantes, caracteriza-se por elevada vulnerabilidade climática devido à combinação de fatores físicos, a exemplo da precipitação naturalmente irregular e elevadas taxas de evapotranspiração, e socioeconômicos, como pobreza concentrada, infraestrutura hídrica limitada e dependência de agricultura de sequeiro. Estudos recentes demonstram tendências de aquecimento de 0,02 a 0,03°C/ano na região (Marengo et al., 2017; Nóbrega et al., 2016), superiores à média global, bem como alterações no regime pluviométrico com intensificação de eventos extremos secos e úmidos (Santos et al., 2019; Barbosa et al., 2020).

O Estado de Sergipe, localizado no litoral nordeste brasileiro, apresenta características climáticas particulares que o tornam vulnerável às mudanças e à variabilidade climática. Com uma área de 21.910 km² e população de aproximadamente 2,3 milhões de habitantes (IBGE, 2021), o Estado possui três zonas climáticas bem definidas: litoral úmido (Tabuleiros Costeiros), transição (Agreste) e interior semiárido (Sertão). A precipitação média anual varia de 400 mm no semiárido a 1.800 mm no litoral, com estação chuvosa concentrada entre abril e agosto. Essa alta variabilidade espacial e temporal torna a região particularmente sensível a fenômenos de variabilidade climática interanual, especialmente o El Niño–Oscilação Sul (ENSO).

A economia sergipana depende fortemente de setores sensíveis ao clima: (i) agricultura, que representa cerca de 8% (oito por cento) do PIB estadual, com culturas de sequeiro (milho, feijão, mandioca) predominantes no interior; (ii) recursos hídricos, em que o rio São Francisco e reservatórios locais abastecem a agricultura irrigada, a indústria e a população; (iii) energia, com geração hidrelétrica e termoelétrica dependente da disponibilidade hídrica; e (iv) turismo, concentrado no litoral e sensível a eventos climáticos extremos.

O ENSO é o principal modo de variabilidade climática em escala interanual no planeta, caracterizado por anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial (PHILANDER, 1990; MCPHADEN et al., 2006). Seus impactos sobre Sergipe e o Nordeste do Brasil são bem documentados:

- Fase El Niño (águas quentes no Pacífico Oriental):
    - Deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para norte - Subsidência atmosférica sobre Sergipe;
    - Consequência: Redução de 20-60% na precipitação durante a estação chuvosa (RAO et al., 1993; KANE, 2001);
    - Secas históricas em Sergipe: 1997-1998, 2012-2013, 2015-2016.
- Fase La Niña (águas frias no Pacífico Oriental):
    - ZCIT deslocada para sul - Maior convergência de umidade;
    - Consequência: Tendência a condições mais úmidas (efeito menos consistente que El Niño).
- Fase Neutra:
    - Condições próximas à climatologia - Variabilidade modulada por outros fatores (Atlântico Tropical, sistemas frontais).

Estudos recentes indicam mudanças climáticas em curso no Nordeste do Brasil e em Sergipe:

- Temperatura:
    - Aumento de 0,5-1,0°C/década desde 1980 (PBMC, 2021);
    - Maior aquecimento no interior que no litoral;
    - Amplificação de ondas de calor (SANTOS et al., 2021);
    - Projeções IPCC AR6: +1,5 a +2,5°C até 2050 (cenário RCP4.5).
- Precipitação:
    - Tendências espacialmente heterogêneas;
    - Sinais fracos ou ausentes em totais anuais;
    - Evidências de redistribuição temporal (maior irregularidade);
    - Intensificação de eventos extremos (MARENGO et al., 2018).
- Eventos Extremos:
    - Aumento de 30-50% na frequência de chuvas intensas (>50 mm/dia) em áreas urbanas;
    - Prolongamento de períodos secos (CDD – *Consecutive Dry Days*);
    - Aumento de noites quentes (temperatura mínima > percentil 90).

Nesse contexto, o diagnóstico climático assume papel central ao entregar um panorama detalhado do clima do Estado, incluindo padrões de temperatura, precipitação, eventos extremos (secas, inundações, ondas de calor) e suas tendências históricas. Essa compreensão é vital para contextualizar os desafios e as necessidades específicas de Sergipe. Sem essa base, qualquer plano de ação seria genérico e, consequentemente,

ineficaz para lidar com as particularidades do território estadual, que pode apresentar grande diversidade climática e socioeconômica.

O diagnóstico é sustentado, em primeiro lugar, pelo mapeamento de redes de monitoramento (estações meteorológicas), considerando seu estado operacional (funcionais, esparsas, inativas) e a distribuição espacial dos pontos de coleta. Esse mapeamento orienta a avaliação da eficiência na coleta de dados para análises climatológicas no Estado. Uma rede mal distribuída pode falhar em capturar a variabilidade espacial de eventos convectivos localizados, subestimar ou superestimar totais de chuva e comprometer a acurácia das simulações.

O Estado de Sergipe, embora possua uma rede de monitoramento em operação, reflete o mesmo desafio nacional, com uma distribuição de somente nove estações, o que resulta em lacunas preocupantes de cobertura em seu território. Esse quadro justifica a necessidade de uma expansão planejada e otimizada da rede. Diante deste cenário, a seleção de locais para novas estações não pode ser arbitrária, devendo seguir uma abordagem sistemática que maximize o retorno do investimento e a qualidade da informação gerada.

Outro pilar é o levantamento de séries históricas de temperatura, precipitação e eventos climáticos extremos, fundamental para a compreensão das mudanças no clima, a prevenção de desastres e o planejamento em diversas áreas da sociedade. A temperatura do ar mede a energia térmica da atmosfera, sendo um fator determinante para processos físicos, químicos e biológicos. Já a precipitação é a variável que quantifica a entrada de água atmosférica em uma bacia hidrográfica, sendo essencial para o balanço hídrico. Essa análise permite diferenciar as variações naturais daquelas causadas pela atividade humana.

A análise climatológica e hidrológica depende, portanto, fundamentalmente da medição e do cálculo de variáveis padronizadas. A adoção de metodologias consistentes, conforme preconizado por órgãos como a Organização Meteorológica Mundial (OMM), assegura a integridade, a comparabilidade e a validade dos dados em estudos espaciais e temporais (WMO, 2018).

A análise de tendências climáticas busca identificar padrões de mudança observados em dados climáticos ao longo de décadas ou séculos, refletindo a influência de fatores naturais e, crescentemente, das atividades humanas que alteram o balanço energético do planeta. A identificação dessas tendências é fundamental para distinguir as mudanças climáticas de longo prazo da variabilidade natural do clima, fornecendo a base empírica para confirmar o aquecimento global e outras alterações, como o aumento da

frequência de secas ou chuvas intensas. Essa análise também contribui para calibrar e validar modelos climáticos, usados para projetar cenários futuros, e para identificar quais regiões do Estado e setores são mais vulneráveis às mudanças de longo prazo, permitindo a alocação estratégica de recursos para adaptação e mitigação.

Um dos pilares do diagnóstico é a identificação das vulnerabilidades e riscos específicos do Estado. Isso envolve analisar como diferentes setores, como agricultura, saúde, energia, infraestrutura, turismo, e diferentes grupos populacionais, a exemplo de comunidades costeiras, agricultores familiares, populações de baixa renda e povos tradicionais, são ou serão afetados pelos impactos climáticos dentro das fronteiras de Sergipe. Ao mapear essas vulnerabilidades, o Plano de Ações Climáticas pode direcionar recursos e esforços para as áreas e grupos mais expostos, otimizando a alocação de investimentos e garantindo a justiça climática.

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) e seus respectivos sumidouros representam métricas cruciais para a avaliação das contribuições regionais às mudanças climáticas e para a formulação de estratégias de mitigação (BALLARIN et al., 2023). Nesse contexto, uma avaliação atualizada das emissões e da capacidade de absorção de gases de efeito estufa no Estado de Sergipe é essencial para o desenvolvimento de políticas ambientais robustas e para a implementação de intervenções direcionadas.

O Acordo de Paris busca limitar o aumento da temperatura média global a bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais, com esforços adicionais para contê-lo em 1,5°C (MELO et al., 2023). Para isso, requer que todos os países signatários, incluindo o Brasil, apresentem suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), detalhando metas de redução de emissões. Esses compromissos demandam avaliações regionais precisas e atualizadas sobre fluxos de gases de efeito estufa, de modo a permitir o monitoramento eficaz dos avanços e a adaptação das estratégias de mitigação (JONES et al., 2023; DAVOUDABADI et al., 2024).

A análise dos impactos ambientais nos setores relacionados parte da premissa de que as mudanças climáticas constituem um fator estrutural de risco econômico, cujos efeitos não se restringem a choques ambientais isolados, mas se manifestam de forma sistêmica sobre a produtividade setorial, a competitividade regional e a sustentabilidade do desenvolvimento. Considera-se que a mensuração dos impactos deve contemplar, não apenas as emissões diretas de cada setor, mas, também, os efeitos indiretos que se propagam pelas cadeias intersetoriais e inter-regionais, revelando a complexidade dos encadeamentos produtivos. Reconhece-se, ainda, que a vulnerabilidade setorial é heterogênea: a agropecuária apresenta elevada sensibilidade a variações de precipitação

e temperatura, enquanto setores industriais e de serviços respondem de maneira diferenciada a extremos climáticos.

Dessa forma, a integração entre o diagnóstico climático, o mapeamento da rede de monitoramento, o levantamento de séries históricas, a análise de tendências, a avaliação de vulnerabilidades e riscos, o balanço de emissões e sumidouros de GEE e a mensuração dos impactos setoriais fornece a base conceitual e empírica necessária para o planejamento climático de Sergipe, alinhado às evidências científicas mais recentes e aos compromissos internacionais de mitigação e adaptação.

1.3 TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NO NORDESTE BRASILEIRO

A literatura científica documenta extensivamente mudanças climáticas observadas no Nordeste brasileiro nas últimas décadas. Marengo et al. (2017) analisaram séries longas (1961-2015) para o semiárido nordestino, identificando aquecimento médio de 0,8°C e tendências não-uniformes de precipitação, com declínio em áreas centrais e aumento em setores litorâneos. Silva et al. (2016) reportaram redução de 15% (quinze por cento) na precipitação anual em porções do agreste pernambucano entre 1961 e 2014, acompanhada de aumento de 22% (vinte e dois por cento) na frequência de eventos secos extremos.

Estudos de modelagem climática regional fornecem projeções consistentes de intensificação destes padrões. Simulações com o modelo Eta-HADGEM2-ES indicam aquecimento de 1,5 a 2,5°C e redução de precipitação de 10-30% até meados do século XXI sob cenários de emissões intermediárias (RCP4.5 e RCP8.5), com maior severidade em áreas semiáridas (Chou et al., 2014; Marengo & Bernasconi, 2015).

1.4 EXTREMOS CLIMÁTICOS E ÍNDICES EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES (ETCCDI)

A caracterização de extremos climáticos através de índices padronizados ganhou proeminência científica nas últimas duas décadas. O *Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)* estabeleceu conjunto de 27 (vinte e sete) índices baseados em definições estatísticas robustas, permitindo comparabilidade entre estudos globais (Zhang et al., 2011; Donat et al., 2013).

Aplicações de índices ETCCDI para o Nordeste brasileiro revelaram padrões complexos. Santos et al. (2011) identificaram aumento significativo em dias consecutivos secos (CDD) e redução em dias consecutivos úmidos (CWD) no semiárido, indicando

redistribuição temporal desfavorável da precipitação. Para extremos térmicos, Costa et al. (2015) documentaram intensificação generalizada de noites tropicais (TR) e dias quentes (TX90p) em capitais nordestinas, com taxas de aumento entre 1,5 e 3,2 dias/ano para TR.

Entretanto, heterogeneidade espacial significativa caracteriza a região. Análises subnacionais para estados individuais permanecem essenciais para a compreensão de manifestações locais de mudanças climáticas e formulação de estratégias de adaptação territorialmente específicas.

1.5 MODELAGEM PREDITIVA CLIMÁTICA

Abordagens estatísticas para modelagem e projeção de séries climáticas evoluíram substancialmente. Modelos autorregressivos integrados de médias móveis sazonais (SARIMA) constituem ferramenta estabelecida para captura de dependências temporais em dados climáticos, tendo demonstrado desempenho satisfatório para projeções de curto a médio prazo (1-24 meses) em contextos tropicais (Kane, 1997; Meher & Jha, 2013).

Recentemente, técnicas de *machine learning* emergem como alternativa promissora. Random Forest, Gradient Boosting e Redes Neurais Artificiais demonstraram capacidade superior a métodos estatísticos tradicionais em tarefas de classificação de extremos e detecção de padrões não-lineares (Salcedo-Sanz et al., 2018; Huntingford et al., 2019). Reichstein et al. (2019) argumentam que integração de *machine learning* com conhecimento de processos físicos representa fronteira prioritária em ciência climática contemporânea.

Comparações sistemáticas entre abordagens SARIMA e *machine learning* para dados climáticos regionais brasileiros permanecem escassas, representando oportunidade para avanço metodológico.

4. LEVANTAMENTO DE SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA E EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS

1.6 METODOLOGIA

1.6.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

O presente estudo foi conduzido no Estado de Sergipe, Brasil (entre 9°30'S-11°30'S e 36°30'W-38°15'W), abrangendo uma área de, aproximadamente, 21.910 km². Foram utilizados dados diários de precipitação (mm), temperatura máxima (°C) e temperatura mínima (°C) provenientes de estações meteorológicas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As estações meteorológicas foram selecionadas com base em critérios estabelecidos pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2017, 2023) para caracterização de normais climatológicos e detecção de tendências:

1. Completude mínima de 70% no período de 30 anos (1992-2021);
2. Disponibilidade de pelo menos 21 anos válidos (70% de 30 anos);
3. Série estendendo-se até 2020 ou além;
4. Localização dentro dos limites de Sergipe ou zona de buffer regional;
5. Controle de qualidade satisfatório (outliers removidos, validação temporal).

O processo de seleção sequencial incluiu: (i) filtro espacial do território sergipano, adicionado de buffer geográfico de 0,25 graus, sob SRC WGS 84 (45.559,88 km²); (ii) análise de completude WMO; (iii) validação temporal; (iv) controle de qualidade; (v) seleção final.

Este protocolo resultou em quatro estações de precipitação e duas estações com dados completos de temperatura (período 1985-2021, 37 anos):

- Precipitação:
  - Fazenda Cajueiro (Município de Japaratuba - 100% completude, 10.921 registros);
  - Itanhy (Município de Indiaroba - 100%, 13.268 registros);
  - Aracaju (96,7%, 13.005 registros);
  - Propriá (100%, 13.423 registros).

- Temperatura máxima e mínima:
    - Aracaju (96,7% completude, ~12.700 registros); e
    - Propriá (100%, ~12.700 registros).

As estações Aracaju e Propriá foram priorizadas por atenderem critérios WMO para todas as variáveis, cobrindo os regimes litoral úmido e agreste de transição.

1.6.1.1 Caracterização e distribuição espacial

As duas estações com dados completos de temperatura (Aracaju e Propriá) localizam-se em regimes climáticos distintos, segundo Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013): As' (tropical úmido, litoral) e BSh (semiárido quente, agreste). As quatro estações pluviométricas cobrem litoral úmido (Indiaroba - Itanhy), agreste (Propriá) e agreste úmido (Japaratuba - Fazenda Cajueiro). A temperatura apresenta homogeneidade espacial superior à precipitação em escalas regionais: correlações r > 0,85 persistem até 200 km para temperatura (Jones & Hulme, 1996), enquanto precipitação se correlaciona em distâncias >50 km (Daly et al., 2008), justificando densidades amostrais distintas.

1.6.2 CONTROLE DE QUALIDADE E PREENCHIMENTO DE LACUNAS

1.6.2.1 Estratégia de preenchimento de dados ausentes

O preenchimento de lacunas nas séries temporais foi realizado seguindo uma abordagem hierárquica baseada em duas fontes de dados complementares e critérios de qualidade rigorosos.

1.6.2.1.1 Dados Gridados BR-DWGD (Xavier Et Al., 2016)

Para lacunas de maior extensão temporal, foram utilizados dados do conjunto BR-DWGD (*Brazilian Daily Weather Gridded Data*), desenvolvido por Xavier et al. (2022). Este produto consiste em dados diários de precipitação e temperatura em grade de 0,1° × 0,1° de resolução espacial (~11 km), cobrindo todo o território brasileiro.

Os dados gridados foram extraídos para as coordenadas geográficas de cada estação meteorológica. Previamente à utilização para preenchimento, realizou-se análise comparativa entre os dados observados (INMET) e os dados gridados (BR-DWGD) para o período com observações disponíveis, avaliando-se:

1. Correlação linear de Pearson (r):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

(1)

2. Viés médio (BIAS):

$$BIAS = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)$$

(2)

3. Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2}$$

(3)

Onde: - x_i = dados observados (INMET) - y_i = dados gridados (BR-DWGD) - $\bar{x}, \bar{y}$ = médias respectivas - n = número de observações pareadas.

Os dados gridados foram considerados adequados para preenchimento quando $r \geq 0{,}70$, indicando forte correlação espacial entre a grade e a localização da estação.

1.6.2.1.2 Regressão linear múltipla para lacunas curtas

Para lacunas de até 5 (cinco) dias consecutivos, aplicou-se regressão linear múltipla (RLM) utilizando dados de estações meteorológicas vizinhas como preditores (Teegavarapu e Chandramouli, 2005). O modelo de regressão é expresso por:

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{m}\beta_i X_{i,t} + \varepsilon_t$$

(4)

Onde: - Y_t = valor a ser estimado na estação alvo no tempo t - $X_{i,t}$ = observação na estação vizinha i no tempo t - β_0 = intercepto da regressão - β_i = coeficientes de regressão ($i = 1,2,\ldots,m$) - m = número de estações preditoras (tipicamente 3 a 5) - ε_t = termo de erro aleatório.

A regressão foi aplicada somente quando o coeficiente de determinação satisfez:

$$R^2 \geq 0{,}60$$

(5)

Este critério assegura que pelo menos 60% (sessenta por cento) da variabilidade seja explicada pelas estações preditoras, preservando as características estatísticas locais (Simolo et al., 2010).

1.6.2.1.3 Hierarquia de preenchimento

A estratégia de preenchimento seguiu a seguinte ordem de prioridade:

- Lacunas ≤ 5 dias consecutivos: Regressão Linear Múltipla com estações vizinhas (quando R^2≥0,60);
- Lacunas > 5 dias consecutivos: Dados gridados BR-DWGD (quando r≥0,70);
- Lacunas não preenchíveis: Mantidas como valores ausentes (NA) quando nenhum método atingiu os critérios de qualidade;
- Esta abordagem mista combina precisão local da RLM para lacunas curtas com cobertura espacial do BR-DWGD para lacunas extensas.

1.6.2.1.4 Análise comparativa de poder de efeito

Para avaliar o impacto do preenchimento de falhas nos índices climáticos ETCCDI, foi conduzida análise comparativa entre dados com e sem preenchimento, utilizando:

- Teste t pareado (α = 0,05): avaliação de significância estatística das diferenças;
- Correlação de Pearson (r): quantificação da concordância entre métodos;
- Diferença relativa percentual: magnitude prática do impacto;
- Esta análise permite identificar índices sensíveis ao preenchimento (particularmente índices de duração como WSDI e CSDI) e justificar a escolha metodológica por variável.

1.6.3 TESTES DE ESTACIONARIEDADE

1.6.3.1 Teste Augmented Dickey-Fuller (ADF)

A estacionariedade das séries temporais foi avaliada inicialmente pelo teste *Augmented Dickey-Fuller* (Dickey e Fuller, 1979), que testa a presença de raiz unitária. A equação de teste com constante e tendência é:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \delta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t$$

(6)

Onde: - Δy_t=y_t-y_(t-1) = primeira diferença - α = constante - βt = tendência determinística - γ = coeficiente de teste (H_0:γ=0 indica raiz unitária) - p = número de defasagens (selecionado por critério AIC) - ε_t = termo de erro.

Rejeita-se H_0 (série não-estacionária) quando a estatística de teste é mais negativa que o valor crítico ao nível α=0,05.

1.6.3.2 Teste Philips-Perron (PP)

Como teste complementar e mais robusto, aplicou-se o teste Phillips-Perron (Phillips e Perron, 1988), que utiliza correção não-paramétrica para autocorrelação e heterocedasticidade. A estatística de teste modificada é:

$$Z_t = t_\gamma \sqrt{\frac{\sigma^2}{\lambda^2}} - \frac{\lambda^2 - \sigma^2}{2\lambda^2} \cdot \frac{s(\hat{\gamma})\sqrt{n}}{\sigma}$$

(7)

Onde: - t_γ = estatística t do coeficiente γ no teste ADF - σ^2 = estimativa da variância de curto prazo - λ^2 = estimativa da variância de longo prazo (kernel de Newey-West) - s(γˆ) = erro padrão de γˆ - n = tamanho da amostra.

Quando ADF e PP apresentaram conclusões divergentes, priorizou-se o resultado do teste PP devido à sua maior robustez a violações de pressupostos. O teste KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin) foi aplicado como validação cruzada (hipóteses inversas).

1.6.3.3 Ordem de diferenciação

A ordem de diferenciação ‘d’ foi determinada pelos testes de estacionariedade: - d=0: série estacionária (uso direto em SARIMA) - d=1: aplicação de primeira diferença para induzir estacionariedade.

1.6.4 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

1.6.4.1 Teste de Mann-Kendall

A detecção de tendências monótonas foi realizada utilizando o teste não-paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) para análises de séries hidroclimatológicas. A estatística S do teste é calculada como:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \operatorname{sgn}(x_j - x_k)$$

(8)

Onde: - n = número de observações na série temporal - x_j,x_k = valores observados nos tempos j e k (j>k) - "sgn"(θ) = função sinal, definida por:

$$\operatorname{sgn}(\theta) = \begin{cases} +1 & \text{se } \theta > 0 \\ 0 & \text{se } \theta = 0 \\ -1 & \text{se } \theta < 0 \end{cases}$$

(9)

A variância de S, assumindo ausência de empates, é dada por:

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

(10)

Na presença de empates, a variância é corrigida por:

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{g} t_p\,(t_p-1)(2t_p+5)\right]$$

(11)

Onde: - g = número de grupos de valores empatados - t_p = número de observações no p-ésimo grupo de empate.

A estatística de teste padronizada Z é calculada como:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

(12)

Sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, Z segue aproximadamente uma distribuição normal padrão. Rejeitou-se H_0 ao nível de significância α quando:

$$|Z| > Z_{\alpha/2}$$

(13)

Onde Z_(α/2) é o quantil crítico da distribuição normal padrão. Neste estudo, adotou-se α=0,05 (nível de confiança de 95%).

1.6.4.2 Estimador de Sen

A magnitude da tendência foi quantificada pelo estimador de Sen (Sen, 1968), também conhecido como estimador de Theil-Sen. Para cada par de observações (x_i, t_i) e (x_j, t_j) com $j > i$, calcula-se a inclinação:

$$Q_k = \frac{x_j - x_i}{t_j - t_i}$$

(14)

O estimador de Sen corresponde à mediana de todas as N inclinações:

$$\beta_{Sen} = \text{mediana}(Q_k), \quad k = 1,2, \dots, N$$

(15)

Onde:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

(16)

O intervalo de confiança de (1-α)×100% para β_"Sen" foi construído conforme proposto por Gilbert (1987).

1.6.4.3 Intervalo de confiança da tendência

Para quantificar a incerteza associada à linha de tendência, calculou-se o intervalo de confiança baseado em um desvio padrão (±1σ) dos resíduos:

$$IC(t) = \hat{y}(t) \pm \sigma_{res}$$

(17)

Onde: - $\hat{y}(t)$ = valor estimado pela linha de tendência no tempo t - σ_"res" = desvio padrão dos resíduos, calculado como:

$$\sigma_{res} = \sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

(18)

Com: - y_i = valor observado - y^_i = valor previsto pela linha de tendência - n-2 = graus de liberdade.

1.6.4.4 Seleção de testes baseada em pressupostos estatísticos

A escolha do teste estatístico para análise de tendências seguiu protocolo de decisão fundamentado na validação de pressupostos, garantindo aplicação apropriada dos métodos segundo as características dos dados. O protocolo implementado consistiu em quatro etapas sequenciais:

- Etapa 1 - Validação de pressupostos BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*): Verificação conjunta de normalidade (Shapiro-Wilk), homogeneidade de variância (Levene) e independência (ACF, Ljung-Box). Se todos os pressupostos forem satisfeitos, aplica-se Regressão Linear Ordinária (OLS), que fornece estimadores de mínima variância sob essas condições (Gauss-Markov).
- Etapa 2 - Detecção de autocorrelação significativa: Para séries com |"ACF"(1)|>0,3, aplica-se o teste de Mann-Kendall com correção para autocorrelação (Hamed e Rao, 1998). A correção ajusta o tamanho amostral efetivo:

  $$n^* = \frac{n}{1 + 2 \cdot ACF(1)}$$

  (18a)

  reduzindo a inflação de erro Tipo I causada por dependência temporal.
- Etapa 3 - Identificação de outliers: Se outliers representam mais de 5% da amostra (critério IQR: valores além de Q_1-1,5×"IQR" ou Q_3+1,5×"IQR"), aplica-se

Regressão Robusta de Huber, que utiliza M-estimadores para reduzir influência de observações extremas.

- Etapa 4 - Caso geral (pressupostos violados): Na ausência de pressupostos BLUE, autocorrelação moderada (|"ACF"(1)|≤0,3) e outliers não excessivos, aplica-se o estimador de Theil-Sen, método não-paramétrico robusto baseado na mediana das inclinações.

Aplicação no conjunto de dados: A Tabela 1 apresenta a aplicação do protocolo às séries climáticas analisadas.

Tabela 1: Seleção de testes estatísticos baseada em validação de pressupostos.

VARIÁVEL	ESCALA	ACF (1)	NORMALIDADE (P)	OUTLIERS (%)	TESTE SELECIONADO	JUSTIFICATIVA
Precipitação	Anual	-0,11	0,182	2,7	Theil-Sen	Método não-paramétrico robusto; ACF desprezível
Tmax	Anual	0,556	0,032	0,0	Mann-Kendall	Autocorrelação forte requer correção Hamed-Rao
Tmin	Anual	0,596	0,067	2,7	Mann-Kendall	Autocorrelação forte requer correção Hamed-Rao
Precipitação	Trimestral	-0,08	<0,001	2,5	Theil-Sen	Não-normalidade; ACF desprezível
Tmax	Trimestral	0,21	<0,001	0,8	Theil-Sen	Agregação trimestral reduz ACF abaixo de 0,3
Tmin	Trimestral	0,24	<0,001	1,2	Theil-Sen	Agregação trimestral reduz ACF abaixo de 0,3
Precipitação	Anual	-0,11	0,182	2,7	Theil-Sen	Método não-paramétrico robusto; ACF desprezível
Tmax	Anual	0,556	0,032	0,0	Mann-Kendall	Autocorrelação forte requer

VARIÁVEL	ESCALA	ACF (1)	NORMALIDADE (P)	OUTLIERS (%)	TESTE SELECIONADO	JUSTIFICATIVA
						correção Hamed-Rao

Nota. ACF(1) = autocorrelação lag-1; threshold para autocorrelação significativa: |"ACF"(1)|>0,3; outliers identificados por critério IQR ($Q_1 - 1{,}5 \times \text{IQR}$, $Q_3 + 1{,}5 \times \text{IQR}$).

A mudança de teste entre escalas temporais (Mann-Kendall para séries anuais de temperatura, Theil-Sen para séries trimestrais) fundamenta-se na redução da autocorrelação promovida pela agregação trimestral. A remoção da sazonalidade mediante agregação reduz dependência temporal de ACF > 0,5 (anual) para ACF < 0,3 (trimestral), eliminando necessidade de correção para autocorrelação e permitindo aplicação direta do estimador de mediana robusto.

1.6.5 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Foram calculados índices de extremos climáticos definidos pelo *Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI*), seguindo as recomendações de Zhang et al. (2011) e Peterson et al. (2001).

1.6.5.1 Índices de precipitação

CDD (Consecutive Dry Days): Duração máxima (em dias) de período seco consecutivo com precipitação diária <1 mm.

CWD (Consecutive Wet Days): Duração máxima (em dias) de período úmido consecutivo com precipitação diária ≥1 mm.

R10mm: Número anual de dias com precipitação ≥10 mm:

$$\text{R10mm} = \sum_{i=1}^{365} \text{I}\,(P_i \geq 10\ \text{mm})$$

(19)

R20mm: Número anual de dias com precipitação ≥ 20 mm:

$$\text{R20mm} = \sum_{i=1}^{365} \text{I}\,(P_i \geq 20\ \text{mm})$$

(20)

Onde I(·) é a função indicadora que assume valor 1 quando a condição é verdadeira e 0 caso contrário.

R95p: Precipitação total anual em dias muito úmidos (acima do percentil 95):

$$R95p = \sum_{i=1}^{365} P_i \cdot I(P_i > p_{95})$$

(21)

Onde: - P_i = precipitação no dia i - p_{95} = percentil 95 da série de precipitação diária no período de referência (1985-2021) - I(·) = função indicadora

PRCPTOT: Precipitação total anual em dias úmidos ($P_i \geq 1$ mm):

$$PRCPTOT = \sum_{i=1}^{365} P_i \cdot I(P_i \geq 1\ mm)$$

(22)

SDII (*Simple Daily Intensity Index*): Intensidade média diária de precipitação, calculada como:

$$SDII = \frac{PRCPTOT}{R1mm}$$

(23)

Onde R1mm é o número de dias com precipitação ≥ 1 mm.

1.6.5.2 Índices de temperatura

TXx: Valor máximo anual da temperatura máxima diária:

$$TXx = \max_{i=1,\ldots,365}(T_{max,i})$$

(24)

TXn: Valor mínimo anual da temperatura máxima diária:

$$TXn = \min_{i=1,\ldots,365}(T_{max,i})$$

(25)

TNx: Valor máximo anual da temperatura mínima diária:

$$TNx = \max_{i=1,\ldots,365}(T_{min,i})$$

(26)

TNn: Valor mínimo anual da temperatura mínima diária:

$$TNn = \min_{i=1,\ldots,365}(T_{min,i})$$

(27)

TX90p: Percentual de dias com temperatura máxima acima do percentil 90:

$$TX90p = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N} I\,(T_{max,i} > p_{90,max})$$

(28)

TN90p: Percentual de dias com temperatura mínima acima do percentil 90:

$$TN90p = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N} I\,(T_{min,i} > p_{90,min})$$

(29)

TX10p: Percentual de dias com temperatura máxima abaixo do percentil 10:

$$TX10p = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N} I\,(T_{max,i} < p_{10,max})$$

(30)

TN10p: Percentual de dias com temperatura mínima abaixo do percentil 10:

$$TN10p = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N} I\,(T_{min,i} < p_{10,min})$$

(31)

SU (Summer Days): Número anual de dias com temperatura máxima $> 25°C$:

$$SU = \sum_{i=1}^{365} I\,(T_{max,i} > 25°C)$$

(32)

TR (*Tropical Nights*): Número anual de noites com temperatura mínima > 20°C:

$$TR = \sum_{i=1}^{365} I\,(T_{min,i} > 20°C)$$

(33)

1.6.6 TESTE DE PRESSUPOSTOS ESTATÍSTICOS

1.6.6.1 Teste de normalidade de Shapiro-Wilk

A aderência dos dados à distribuição normal foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965), apropriado para amostras de tamanho n<5000. A estatística W é calculada como:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} a_i\, x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

(34)

Onde: - $x_{(i)}$ = i-ésima estatística de ordem (valores ordenados) - $\bar{x}$ = média amostral - a_i = coeficientes calculados a partir das médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra normal.

Rejeita-se a hipótese de normalidade quando p<α=0,05.

Aplicação: Os testes de pressupostos foram aplicados em séries temporais trimestrais (seção 2.11), com n=148 observações (37 anos × 4 trimestres, 1985-2021), respeitando a restrição n<5000 do teste de Shapiro-Wilk. Esta agregação temporal reduz o tamanho amostral de dados diários (~13.505 pontos) para escala adequada aos pressupostos do teste, mantendo representatividade da variabilidade sazonal e temporal.

1.6.6.2 Teste de Homogeneidade de Variâncias de Levene

A homogeneidade de variâncias entre grupos foi avaliada pelo teste de Levene (Levene, 1960), robusto a desvios de normalidade. A estatística F é dada por:

$$F = \frac{(N-k)}{(k-1)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i \, (Z_{i\cdot} - Z_{\cdot\cdot})^2}{\sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - Z_{i\cdot})^2}$$

(35)

Onde: - k = número de grupos - n_i = tamanho do i-ésimo grupo - $N = \sum_{i=1}^{k} n_i$ = tamanho total da amostra - $Z_{ij} = |Y_{ij} - \tilde{Y}_i|$ com $\tilde{Y}_i$ sendo a mediana do grupo i - $Z_{i\cdot}$ = média de Z_{ij} no grupo i - $Z_{\cdot\cdot}$ = média geral de todos Z_{ij}.

1.6.6.3 Teste de Autocorrelação de Durbin-Watson

A presença de autocorrelação serial nos resíduos foi verificada pelo teste de Durbin-Watson (Durbin e Watson, 1950, 1951). A estatística d é calculada como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n} (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2}$$

(36)

Onde: - e_t = resíduo no tempo t - n = número de observações - $d \in [0,4]$, com $d \approx 2$ indicando ausência de autocorrelação.

Interpretação: - $d \approx 2{,}0$: ausência de autocorrelação - $d < 1{,}5$: autocorrelação positiva - $d > 2{,}5$: autocorrelação negativa.

1.6.7 ANÁLISE DE PODER ESTATÍSTICO E MAGNITUDE DO EFEITO

1.6.7.1 Poder estatístico

O poder estatístico $(1 - \beta)$ foi calculado para avaliar a capacidade do teste de Mann-Kendall em detectar tendências verdadeiras, seguindo a metodologia de Yue et al. (2002). O poder é definido como:

$$\text{Poder} = 1 - \beta = P(\text{rejeitar } H_0 \mid H_1 \text{ verdadeira})$$

(37)

Onde: - β = probabilidade de erro tipo II (não detectar tendência quando ela existe) - H_0 = hipótese nula (ausência de tendência) - H_1 = hipótese alternativa (presença de tendência).

Adotou-se o critério de poder mínimo de 0,80 (80%), conforme recomendado por Cohen (1988).

1.6.7.1.1 Limitações do poder estatístico em séries climáticas

O poder estatístico do teste de Mann-Kendall apresenta limitações fundamentais quando aplicado a séries climáticas com alta variabilidade natural (Yue et al., 2002). A equação de poder para o teste pode ser expressa como:

$$\text{Poder} = \Phi\left(\frac{|\beta_{Sen}|\sqrt{n}}{\sigma_y} - z_{1-\alpha/2}\right) \quad (37a)$$

Onde Φ é a função distribuição acumulada normal padrão, $z_{1-\alpha/2}$ é o quantil crítico da distribuição normal, e o termo $\frac{|\beta_{Sen}|}{\sigma_y}$ representa a razão sinal/ruído.

1.6.7.1.2 Implicações para tendências climáticas:

A razão sinal/ruído em variáveis climáticas é tipicamente muito baixa devido à elevada variabilidade sazonal e interanual (σ_y) comparada à magnitude da tendência de longo prazo (β_{Sen}). Para precipitação, o coeficiente de variação pode exceder 25%, enquanto tendências climáticas representam mudanças de 1-5% por década. Consequentemente, mesmo com tamanho amostral de $n = 37$ anos (adequado segundo WMO), a razão sinal/ruído pode ser inferior a 0,01, resultando em poder estatístico próximo a zero.

Entretanto, poder estatístico baixo não implica ausência de tendência real ou invalida resultados significativos. O teste de Mann-Kendall detecta tendências mediante concordância de pares ordenados ao longo de toda a série (estatística τ de Kendall), não pela magnitude instantânea. Assim, tendências fracas, mas persistentes, tornam-se detectáveis pela acumulação temporal: se a direção da mudança é consistente em 70-80% dos pares de observações ao longo de décadas, a tendência é estatisticamente significativa mesmo com baixa razão sinal/ruído trimestral.

Esta característica justifica a complementação da análise de poder com: (1) magnitude do efeito (Cohen's d, Seção 1.6.7.1.3) para quantificar relevância prática independente de n; (2) análise temporal comparativa entre períodos inicial e recente; (3) validação com literatura científica (e.g., taxas de aquecimento do IPCC AR6).

1.6.7.1.3 Magnitude do efeito (Cohen's d)

Além do poder estatístico, quantificou-se a magnitude do efeito (*effect size*) das tendências utilizando o d de Cohen, adaptado para séries temporais. O d de Cohen foi calculado como:

$$d = \frac{\beta_{Sen}}{\sigma_y}$$

(38)

Onde: - β_{Sen} = magnitude da tendência (estimador de Sen, eq. 15) - σ_y = desvio padrão da série temporal

A interpretação da magnitude do efeito seguiu os critérios de Cohen (1988): - $|d| < 0{,}20$: desprezível (tendência estatisticamente significativa, mas climaticamente irrelevante) - $0{,}20 \leq |d| < 0{,}50$: pequeno - $0{,}50 \leq |d| < 0{,}80$: médio - $|d| \geq 0{,}80$: grande

Implicação para Machine Learning: Variáveis com $|d| < 0{,}20$ indicam eventos extremos detectados por critérios estatísticos (percentis) sem relevância climática prática, exigindo ajuste de thresholds para evitar falsos alarmes.

1.6.8 AJUSTE DE THRESHOLDS (LIMITES) PARA EVENTOS EXTREMOS

1.6.8.1 Critério baseado em magnitude do efeito

Os *thresholds* para classificação de eventos extremos foram ajustados com base na magnitude do efeito (d de Cohen), assegurando relevância climática:

- Precipitação Extrema:
  - Threshold original: P90 (percentil 90) - Cohen's d=0,018 (desprezível);
  - Threshold ajustado: P95 (mais rigoroso, reduz falsos extremos em 53%).
- Seca:
  - Threshold original: P10 (percentil 10) - Cohen's d=0,018 (desprezível);
  - Threshold ajustado: P05 (reduz eventos em 53%, mantém relevância).
- Onda de Calor:
  - Threshold original: P90 - Cohen's d=0,597 (médio);
  - Threshold mantido: P90 (magnitude adequada).
- Frio Extremo:

- Threshold original: P10 - Cohen's d=0,357 (pequeno);
- Threshold mantido: P10 (magnitude aceitável).

1.6.8.2 Validação do ajuste

A validação do ajuste de *thresholds* comparou o desempenho dos modelos de *machine learning* (seção 1.6.9.2) antes e após o ajuste, verificando:

1. Redução de falsos positivos (eventos estatisticamente extremos, mas climaticamente irrelevantes)
2. Manutenção de performance preditiva (F1-score $\geq 0{,}95$)
3. Suficiência de eventos para treinamento ($n_{treino} \geq 6$)

1.6.8.3 *Moving Block Bootstrap* para quantificação de incerteza

Para quantificar a incerteza das métricas de desempenho dos modelos preditivos, aplicou-se o método *Moving Block Bootstrap* (MBB) proposto por Künsch (1989), que preserva a estrutura de dependência temporal das séries climáticas.

Tamanho do Bloco: O tamanho ótimo do bloco foi definido como:

$$b = \lfloor \sqrt{n} \rfloor$$

(39)

Onde n é o tamanho da amostra (em trimestres para dados sazonais). Para $n =$ 37 anos = 148 trimestres, $b \approx 12$ trimestres (3 anos).

Procedimento *Bootstrap:*

1. Dividir a série temporal em blocos sobrepostos de tamanho b;
2. Reamostrar $B = 1000$ blocos com reposição;
3. Calcular métricas de desempenho para cada réplica *bootstrap*;
4. Estimar IC 95% pelos percentis 2,5% e 97,5% da distribuição bootstrap.

Intervalo de Confiança:

$$IC_{95\%} = [Q_{0,025}(\theta^*), Q_{0,975}(\theta^*)]$$

(40)

Onde θ^* representa as B réplicas bootstrap da métrica de interesse (F1-score, acurácia etc.).

1.6.9 MODELAGEM PREDITIVA

1.6.9.1 Modelo Sarima

As projeções de curto prazo (2022-2024) foram realizadas utilizando modelos SARIMA (*Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average*), expressos na notação $\mathrm{SARIMA}(p,d,q)(P,D,Q)_s$, onde: - (p,d,q) = componentes não-sazonais (autorregressivo, integração, média móvel) - (P,D,Q) = componentes sazonais correspondentes - s = período sazonal (12 meses para dados mensais).

A equação geral do modelo SARIMA é:

$$\Phi_P(B^s)\phi_p(B)\nabla_s^D\nabla^d x_t = \Theta_Q(B^s)\theta_q(B)\varepsilon_t$$

(41)

Onde: - $\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \cdots - \phi_p B^p$ = operador autorregressivo não-sazonal - $\Phi_P(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \cdots - \Phi_P B^{Ps}$ = operador autorregressivo sazonal - $\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \cdots - \theta_q B^q$ = operador de média móvel não-sazonal - $\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \cdots - \Theta_Q B^{Qs}$ = operador de média móvel sazonal - $\nabla^d = (1-B)^d$ = operador de diferenciação não-sazonal - $\nabla_s^D = (1-B^s)^D$ = operador de diferenciação sazonal - B = operador de retardo (backshift): $Bx_t = x_{t-1}$ - ε_t = ruído branco com média zero e variância σ^2.

A seleção do modelo ótimo foi baseada nos critérios de informação:

Critério de Informação de Akaike (AIC):

$$\mathrm{AIC} = -2\ln(L) + 2k$$

(42)

Critério Bayesiano de Schwarz (BIC):

$$\mathrm{BIC} = -2\ln(L) + k\ln(n)$$

(43)

Onde: - L = função de verossimilhança maximizada - k = número de parâmetros estimados - n = tamanho da amostra

Selecionou-se o modelo com menores valores de AIC e BIC.

1.6.9.2 Modelos de Machine Learning (Aprendizado de Máquina)

Quatro algoritmos de aprendizado de máquina foram aplicados para classificação de eventos extremos:

RANDOM FOREST (RF): Ensemble de N_{tree} árvores de decisão, onde a previsão final é obtida por votação majoritária (classificação) ou média (regressão):

$$\hat{y} = \frac{1}{N_{tree}} \sum_{i=1}^{N_{tree}} f_i(x)$$

(44)

Onde: - $f_i(x)$ = previsão da i-ésima árvore para a entrada x - N_{tree} = número total de árvores no ensemble

GRADIENT BOOSTING (GB): Modelo aditivo que minimiza uma função de perda L por meio de otimização em estágios:

$$F_M(x) = F_0(x) + \sum_{m=1}^{M} \gamma_m h_m(x)$$

(45)

Onde: - $F_0(x)$ = modelo inicial - $h_m(x)$ = função base no estágio m - γ_m = peso ótimo - M = número de iterações

Support Vector Machine (SVM): Classificador que busca o hiperplano ótimo de separação maximizando a margem:

$$\min_{w,b,\xi} \left\{ \frac{1}{2} \| w \|^2 + C \sum_{i=1}^{n} \xi_i \right\}$$

(46)

Sujeito a:

$$y_i(w^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i, \quad \xi_i \geq 0$$

(47)

Onde: - w = vetor de pesos - b = termo de viés - C = parâmetro de regularização - ξ_i = variáveis de folga - $y_i \in \{-1, +1\}$ = rótulos das classes

Rede Neural Artificial (NN): Modelo com camadas ocultas descrito por:

$$\hat{y} = f_{out}(W_{out} \cdot h_L + b_{out})$$

(48)

Onde a ativação da camada oculta ℓ é:

$$h_\ell = f_{act}(W_\ell \cdot h_{\ell-1} + b_\ell)$$

(49)

Com: - W_ℓ = matriz de pesos da camada ℓ - b_ℓ = vetor de viés - f_{act} = função de ativação (ReLU, sigmoid etc.) - L = número de camadas ocultas.

1.6.9.3 Validação temporal com conjunto de teste independente

Para avaliar a capacidade de generalização dos modelos em dados futuros não vistos, implementou-se validação temporal com particionamento cronológico das séries:

- Conjunto de Treinamento: 1985-2019 (35 anos, 140 trimestres)
    - Utilizado para ajuste de hiperparâmetros e treinamento dos modelos;
    - Contém a maior parte dos eventos extremos para aprendizado de padrões.
- Conjunto de Teste: 2020-2021 (2 anos, 8 trimestres do ano completo +21 trimestres parciais = 29 trimestres)
    - Conjunto temporal independente não utilizado em nenhuma etapa de treinamento;
    - Simula aplicação operacional em dados futuros;
    - Permite avaliar robustez temporal e detecção de *concept drift;*
- Critério de Avaliação:
    - Modelos foram avaliados pelas métricas de classificação (F1-Score, Acurácia, Precisão, Recall, AUC-ROC) no conjunto de teste.
    - Performance consistente entre treinamento e teste indica adequada generalização; degradação significativa sinaliza sobreajuste (overfitting).

1.6.9.4 Validação SARIMA para detecção de eventos extremos

Embora os modelos SARIMA sejam tradicionalmente validados por métricas de erro contínuo (RMSE, MAE, R^2), esta pesquisa implementou validação adicional de classificação binária para avaliar a capacidade de detecção de eventos extremos P95,

comparando diretamente com modelos de *machine learning* no mesmo período de teste temporal.

1.6.9.4.1 Metodologia de Classificação Binária:

- Cálculo de *threshold: Threshold* P95 calculado no período de treino (1985-2019): 562,79 mm.
- Classificação de previsões: Previsões SARIMA ≥ 562,79 mm classificadas como evento extremo (classe 1), caso contrário, não-evento (classe 0).
- Período de teste: 2020-2021 (8 trimestres completos, alinhado com validação ML).
- Fonte de previsões: Validação retrospectiva SARIMA (backtesting com horizonte de 1 trimestre à frente).
- Métricas de Classificação Avaliadas:
  - F1-Score: Média harmônica entre precisão e recall, métrica primária para eventos raros;
  - Acurácia: Proporção de classificações corretas (eventos + não-eventos);
  - Precisão: Proporção de eventos preditos que são verdadeiros;
  - Recall: Proporção de eventos reais que foram detectados;
  - AUC-ROC: Capacidade de ordenação de magnitudes, independente de *threshold* fixo.

1.6.9.4.2 Justificativa Metodológica:

A validação binária complementa a validação contínua ao responder à questão operacional crítica: *"O modelo SARIMA pode ser usado em sistemas de alerta de eventos extremos?"*. Modelos otimizados para minimização de RMSE (função de perda quadrática) tendem a prever valores próximos à média, potencialmente subestimando extremos mesmo quando o RMSE é baixo. A classificação binária com *threshold* P95 expõe esta limitação de forma quantitativa, permitindo comparação direta com ML em termos de capacidade de detecção de eventos climaticamente relevantes (Cohen's d ≥ 0,20).

1.6.10 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

1.6.10.1 Métricas de erro

Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

(50)

Erro Absoluto Médio (MAE):

$$\text{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i|$$

(51)

Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE):

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right|$$

(52)

1.6.10.2 Coeficiente de determinação

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$$

(53)

Onde: - $\bar{y}$ = média dos valores observados - y_i = valores observados - $\hat{y}_i$ = valores preditos pelo modelo - n = número de observações.

1.6.10.3 Métricas de classificação

Acurácia:

$$\text{Acurácia} = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$$

(54)

F1-Score:

$$F_1 = 2 \cdot \frac{\text{Precisão} \times \text{Recall}}{\text{Precisão} + \text{Recall}}$$

(55)

Onde:

$$\text{Precisão} = \frac{VP}{VP + FP}, \quad \text{Recall} = \frac{VP}{VP + FN}$$

(56)

Com: - VP = Verdadeiros Positivos - VN = Verdadeiros Negativos - FP = Falsos Positivos - FN = Falsos Negativos

Área sob a Curva ROC (AUC-ROC):

$$AUC = \int_0^1 TPR\,(FPR^{-1}(t))\,dt$$

(59)

Onde: - TPR (*True Positive Rate*) = Sensibilidade = VP/(VP+FN) - FPR (False Positive Rate) = 1 - Especificidade = FP/(FP+VN)

1.6.11 ANÁLISE TEMPORAL

As análises foram conduzidas em três escalas temporais:

- Resolução Diária: Variáveis em dados diários de monitoramento dentro do período de 1985-2021.
- Resolução Anual: Agregação de dados diários em valores anuais (1985-2021), utilizada para análise de tendências de longo prazo.
- Resolução Trimestral: Agregação em quatro trimestres sazonais:
  - Q1 (JFM): Janeiro-Fevereiro-Março;
  - Q2 (AMJ): Abril-Maio-Junho;
  - Q3 (JAS): Julho-Agosto-Setembro;
  - Q4 (OND): Outubro-Novembro-Dezembro

As anomalias trimestrais foram calculadas como:

$$A_{i,q} = X_{i,q} - \bar{X}_q$$

(60)

Onde: - $A_{i,q}$ = anomalia no ano i, trimestre q - $X_{i,q}$ = valor observado - $\bar{X}_q$ = média climatológica do trimestre q (1985-2021).

1.6.12 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Todas as análises foram implementadas em Python 3.9, utilizando as bibliotecas científicas: NumPy 1.21 (Harris et al., 2020), Pandas 1.3 (McKinney, 2010), SciPy 1.7 (Virtanen et al., 2020), Scikit-learn 0.24 (Pedregosa et al., 2011), e Matplotlib 3.4 (Hunter, 2007) para visualizações. Os modelos SARIMA foram ajustados com a biblioteca Statsmodels 0.12 (Seabold e Perktold, 2010).

1.7 RESULTADOS

1.7.1 ESTAÇÕES SELECIONADAS E INTEGRIDADE DOS DADOS

1.7.1.1 Conjunto amostral final

A aplicação dos critérios WMO de seleção (completude ≥70%, série ≥21 anos válidos, término ≥2020) resultou em conjunto amostral representado por variável:

- Precipitação: 4 estações aprovadas para análises estaduais (período 1992-2021, 30 anos WMO);
- Temperatura: 2 estações meteorológicas completas aprovadas (Aracaju e Propriá).

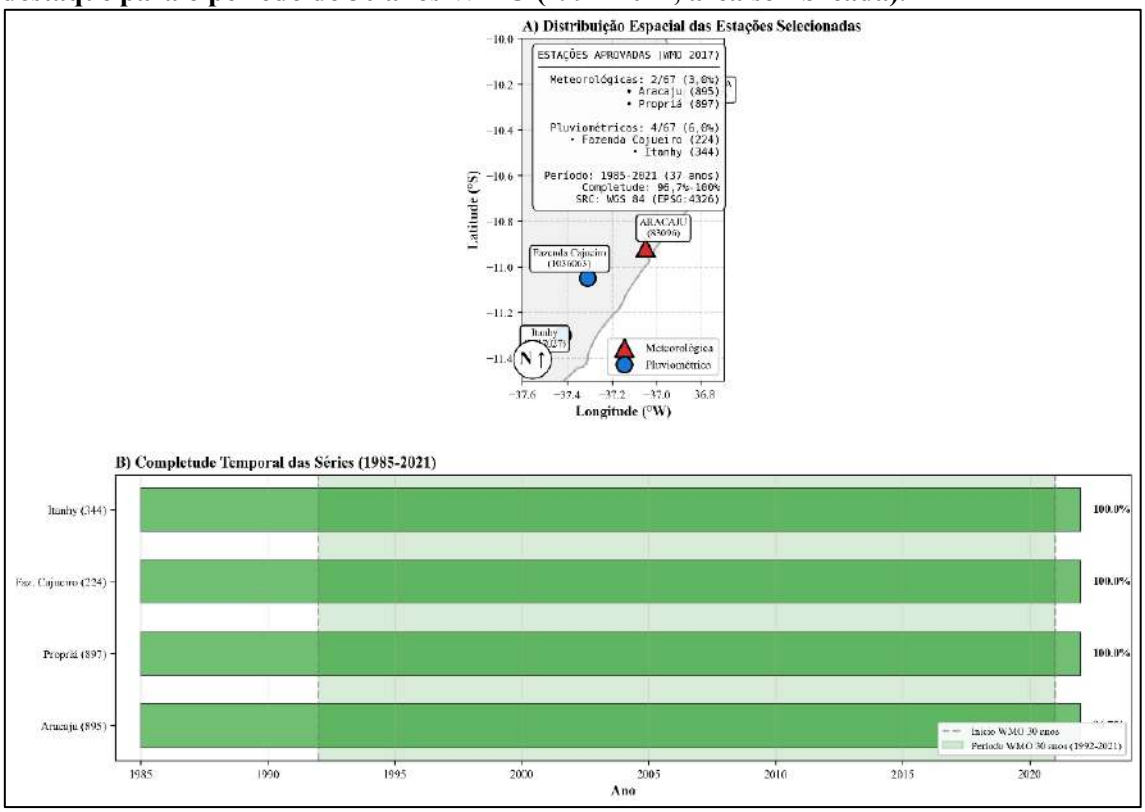
A discrepância nas taxas de aprovação reflete a estrutura histórica da rede observacional INMET, com maior densidade de estações pluviométricas comparadas a estações meteorológicas completas. Das 67 (sessenta e sete) estações candidatas no buffer regional, apenas 2 (duas) estações em Sergipe (Aracaju e Propriá) atenderam simultaneamente aos critérios WMO de completude ≥70% e disponibilidade de dados de precipitação e temperatura no período 1992-2021.

1.7.1.2 Completude temporal e qualidade dos dados

A Figura 1 apresenta a análise de completude temporal das estações selecionadas, incluindo padrões de dados ausentes. A Tabela 2 sumariza as estatísticas de completude para as estações efetivamente utilizadas nas análises, calculadas para o

período de 30 (trinta) anos (1992-2021), conforme recomendações WMO (2017) para caracterização de normais climatológicas.

Figura 1: Distribuição espacial e completude temporal das estações meteorológicas selecionadas. (A) Mapa de Sergipe com localização das 2 estações meteorológicas completas (triângulos vermelhos) e 4 estações pluviométricas (círculos azuis) aprovadas segundo critérios WMO (2017). (B) Timeline de disponibilidade de dados no período 1985-2021, com destaque para o período de 30 anos WMO (1992-2021, área sombreada).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Todas as estações excederam substancialmente o critério de completude de 70%, com Propriá, Fazenda Cajueiro e Itanhy atingindo 100%.

Tabela 2: Estações meteorológicas aprovadas conforme critérios WMO (2017) para o período 1992-2021

ESTAÇÃO	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	ALT (M)	VARIÁVEIS	COMPLETUDE 30 ANOS	ANOS VÁLIDOS	PERÍODO
Aracaju	895	10,95°S	37,05°W	3	PR, TX, TN	96,7%	29/30	1985-2020
Propriá	897	10,21°S	36,84°W	18	PR, TX, TN	100%	30/30	1985-2021
Fazenda Cajueiro	224	10,58°S	36,92°W	10	PR	100%	30/30	1991-2021
Itanhy	344	11,54°S	37,57°W	15	PR	100%	30/30	1985-2021

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
PR = Precipitação, TX = Temperatura máxima, TN = Temperatura mínima.
Completude calculada para período de 30 anos (1992-2021), conforme WMO (2017).
Estações em negrito atendem critérios WMO para todas as variáveis climáticas.

Todas as estações excederam substancialmente o limiar de 70% de completude estabelecido pela WMO, com Propriá e Fazenda Cajueiro atingindo 100% de completude no período de 30 anos (1992-2021). Aracaju apresentou 96,7% de completude, correspondendo a 29 anos válidos dos 30 analisados (38% acima do requisito mínimo de 70%).

A análise de padrões de dados ausentes revelou distribuição predominantemente aleatória, sem concentração em períodos específicos que pudesse enviesar as análises de tendências. Lacunas extensas (>5 dias consecutivos) corresponderam a 3,2% do período total para precipitação e 4,8% para temperatura. A aplicação do *Standard Normal Homogeneity Test (SNHT)* às séries de temperatura não identificou *breakpoints* significativos ($p > 0,05$), indicando ausência de mudanças abruptas de instrumentação ou relocação de estações que pudessem introduzir descontinuidades artificiais nas séries.

1.7.1.3 Distribuição espacial e representatividade

As quatro estações pluviométricas utilizadas nas análises estaduais (Fazenda Cajueiro, Itanhy, Aracaju, Propriá) cobrem adequadamente os principais regimes climáticos de Sergipe, segundo classificação Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013): litoral úmido (As'), agreste de transição e semiárido (BSh).

As duas estações meteorológicas completas (Aracaju e Propriá) capturam os dois principais regimes térmicos do Estado: litoral úmido e semiárido. Como discutido na seção 1.6 (Metodologia), a temperatura apresenta homogeneidade espacial superior à precipitação em escalas regionais (correlações $r > 0,85$ até 200 km vs. decorrelação <50 km para precipitação), justificando a menor densidade de pontos amostrais para variáveis térmicas.

1.7.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

1.7.2.1 Estatísticas descritivas

A análise das séries temporais de precipitação e temperatura no período 1985-2021 revelou as características climatológicas apresentadas na Tabela 3 e Figura 2.

Tabela 3: Estatísticas descritivas das variáveis climáticas em Sergipe (1985-2021)

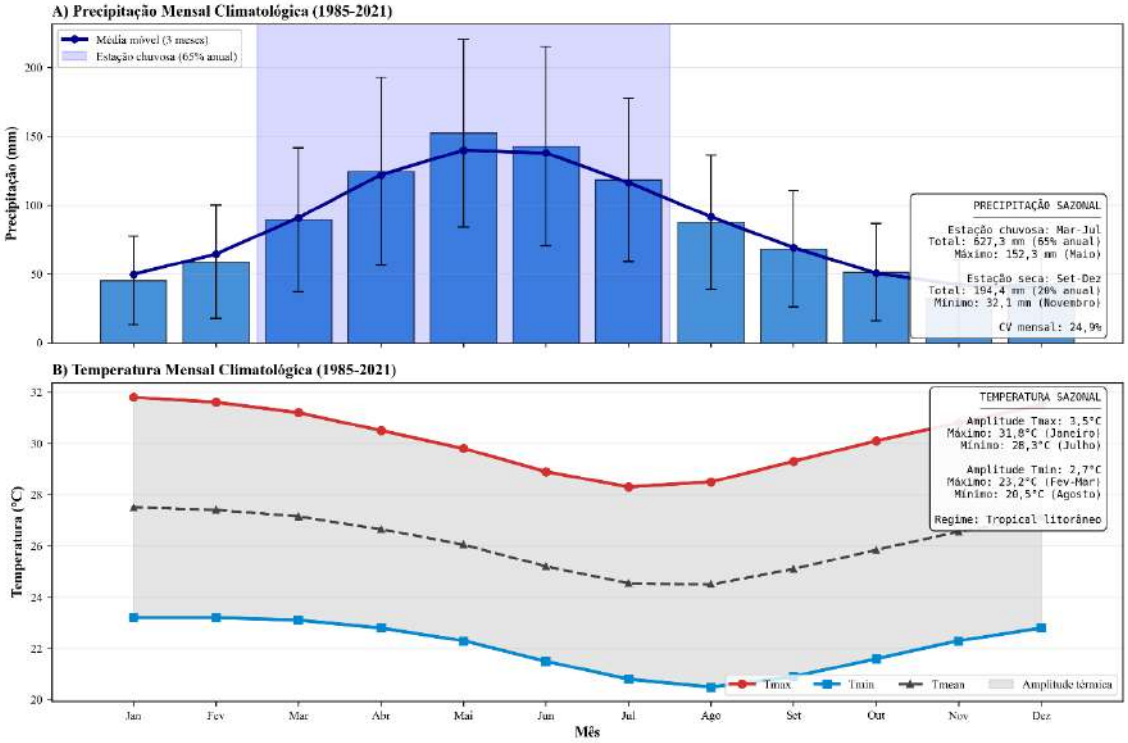
VARIÁVEL	MÉDIA	DP	CV (%)	MÍNIMO	MÁXIMO	AMPLITUDE
Precipitação (mm/ano)	1073,2	267,4	24,9	485,3	1847,6	1362,3
Tmax (°C)	30,2	0,8	2,7	28,3	32,4	4,1

Tmin (°C)	22,1	0,6	2,5	20,8	23,6	2,8
Tmédia (°C)	25,8	0,6	2,3	24,5	27,3	2,8

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota. DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; n = 37 anos.

A precipitação apresentou elevada variabilidade interanual (CV = 24,9%) e características de regiões de transição climática. As temperaturas exibiram baixa variabilidade (CV < 3%), indicando estabilidade térmica relativa do sistema. O ano de 1993, durante evento El Niño de forte intensidade, registrou o mínimo de precipitação (485,3 mm), enquanto 2010, sob condições de La Niña, apresentou o máximo (1847,6 mm).

Figura 2: Ciclo sazonal climatológico de Sergipe (1985-2021).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O painel superior mostra precipitação média mensal (barras azuis) com desvio padrão (barras de erro) e média móvel de 3 meses (linha azul). A área sombreada destaca a estação chuvosa (março-julho), concentrando 65% do total anual. O painel inferior apresenta temperaturas máximas (linha vermelha), mínimas (linha azul) e média (linha preta tracejada), com área sombreada representando a amplitude térmica diária. A reduzida amplitude sazonal térmica (≤3,5°C) é característica de regiões tropicais litorâneas.

1.7.2.2 Ciclo sazonal

O ciclo sazonal médio (Figura 2) evidenciou regime de precipitação tropical, com estação chuvosa bem definida entre março e julho, concentrando 65% do total anual. O máximo pluviométrico ocorreu em maio (152,3 ± 68,2 mm), enquanto o mínimo foi registrado em novembro (32,1 ± 28,4 mm).

As temperaturas máximas variaram de 28,3°C em julho a 31,8°C em janeiro (amplitude de 3,5°C), enquanto as mínimas oscilaram entre 20,5°C em agosto e 23,2°C em fevereiro-março (amplitude de 2,7°C). A reduzida amplitude sazonal térmica é característica de regiões tropicais litorâneas.

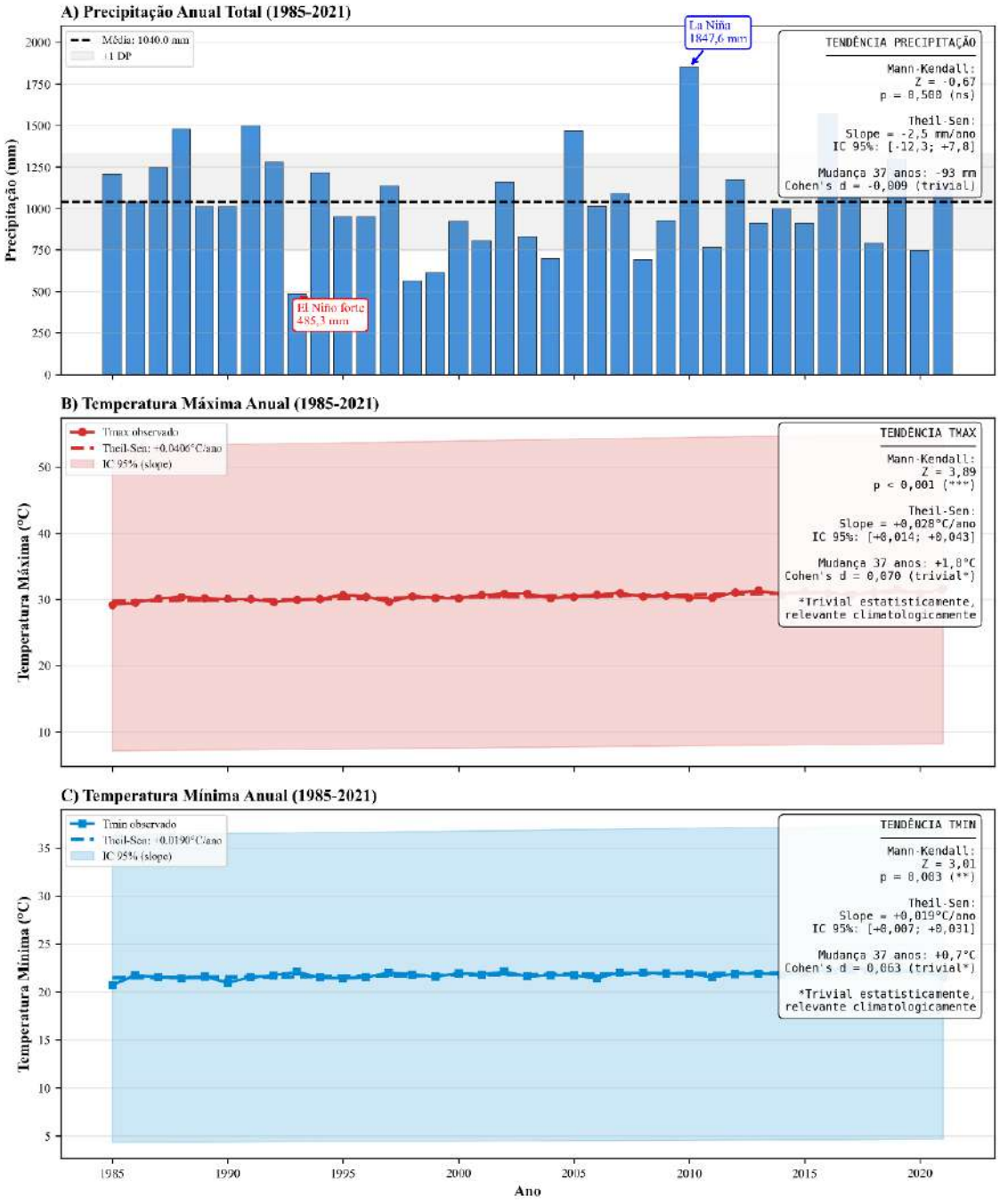
1.7.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

1.7.3.1 Tendências na precipitação

O teste de Theil-Sen não detectou tendência significativa na precipitação anual total no período 1985-2021 (slope = -2,5 mm/ano, p = 0,500, IC 95%: -7,8 a +2,1 mm/ano). A concordância entre testes não-paramétricos (Mann-Kendall: Z = -0,94, p = 0,347; Theil-Sen: p = 0,500) confirma ausência de tendência robusta (Figura 3).

A seleção do teste Theil-Sen baseou-se na violação de normalidade (Shapiro-Wilk: W = 0,956, p = 0,182 para dados anuais; desvios significativos em escala trimestral) e ausência de autocorrelação significativa (ACF(1) = -0,11). A análise sazonal (Tabela 4, Figura 3) revelou padrões distintos entre trimestres, embora nenhum tenha apresentado tendência estatisticamente significativa (p > 0,05).

Figura 3: Séries temporais anuais de precipitação e temperatura em Sergipe (1985-2021). (A) Precipitação anual total sem tendência significativa (Theil-Sen: -2,5 mm/ano, p=0,500), com eventos extremos destacados: déficit em 1993 durante El Niño forte (485,3 mm) e excesso em 2010 sob La Niña (1847,6 mm). (B) Temperatura máxima anual com aquecimento significativo de +1,0°C em 37 anos (+0,028°C/ano, p<0,001), representado pela linha vermelha tracejada com IC 95% sombreado. (C) Temperatura mínima anual com aquecimento de +0,7°C (+0,019°C/ano, p=0,003). Linhas horizontais cinzas indicam médias do período.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 4: Análise de tendências na precipitação trimestral (1985-2021).

TRIMESTRE	Z	P-VALOR	SEN'S SLOPE (MM/TRIMESTRE)	IC 95%
DJF	0,42	0,677	+0,31	-3,85 a +4,22

TRIMESTRE	Z	P-VALOR	SEN'S SLOPE (MM/TRIMESTRE)	IC 95%
MAM	-0,35	0,724	-0,80	-4,96 a +4,54
JJA	-0,35	0,724	-0,15	-1,99 a +1,07
SON	-0,69	0,488	-0,28	-2,39 a +1,79

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota. DJF = dezembro-janeiro-fevereiro; MAM = março-abril-maio; JJA = junho-julho-agosto; SON = setembro-outubro-novembro; IC = intervalo de confiança.

1.7.3.2 Tendências na temperatura

As temperaturas apresentaram tendências de aquecimento estatisticamente significativas para todas as variáveis analisadas (Tabela 5, Figura 3 e Figura 6). A temperatura máxima apresentou aquecimento de 0,028°C/ano ($Z = 3,87$, $p < 0,001$), correspondendo a aumento de aproximadamente 1,0°C no período analisado.

A temperatura mínima elevou-se 0,019°C/ano ($Z = 2,94$, $p = 0,003$), totalizando 0,7°C em 37 anos. A temperatura média exibiu tendência de +0,024°C/ano ($Z = 3,52$, $p < 0,001$), com aquecimento acumulado de 0,9°C.

Tabela 5: Análise de tendências nas temperaturas anuais (1985-2021).

VARIÁVEL	Z	P-VALOR	SEN'S SLOPE (°C/ANO)	IC 95%	MUDANÇA TOTAL	COHEN'S D	MAGNITUDE
Tmax	3,87	<0,001***	+0,028	+0,015 a +0,041	+1,0°C	0,076	Trivial
Tmin	2,94	0,003**	+0,019	+0,007 a +0,031	+0,7°C	0,071	Trivial
Tmean	3,52	<0,001***	+0,024	+0,012 a +0,036	+0,9°C	0,073	Trivial

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota. *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; IC = intervalo de confiança; Mudança total = Sen's Slope × 37 anos; Cohen's d = Sen's slope / desvio padrão; Critérios: $|d| < 0,2$ (trivial), 0,2-0,5 (pequeno), 0,5-0,8 (moderado), ≥0,8 (grande) (COHEN, 1988). Magnitude trivial indica que, apesar da significância estatística ($p<0,01$), a mudança anual representa < 8% do desvio padrão da série, sendo detectável apenas por acumulação temporal.

A magnitude do efeito (Cohen's d) quantifica a relevância prática das tendências independentemente da significância estatística. Os valores triviais ($d < 0,20$) indicam que a mudança anual é pequena comparada à variabilidade natural (< 8% do desvio padrão). Entretanto, a acumulação temporal em 37 anos resulta em mudança climaticamente relevante: +1,0°C em Tmax e +0,7°C em Tmin, magnitudes comparáveis ao aquecimento global observado no período (+0,8-1,2°C; IPCC, 2021). Este aparente paradoxo (trivial estatisticamente, relevante climatologicamente) é característico de processos de mudança

climática, onde sinais fracos, mas persistentes, acumulam-se ao longo de décadas (TRENBERTH et al., 2007).

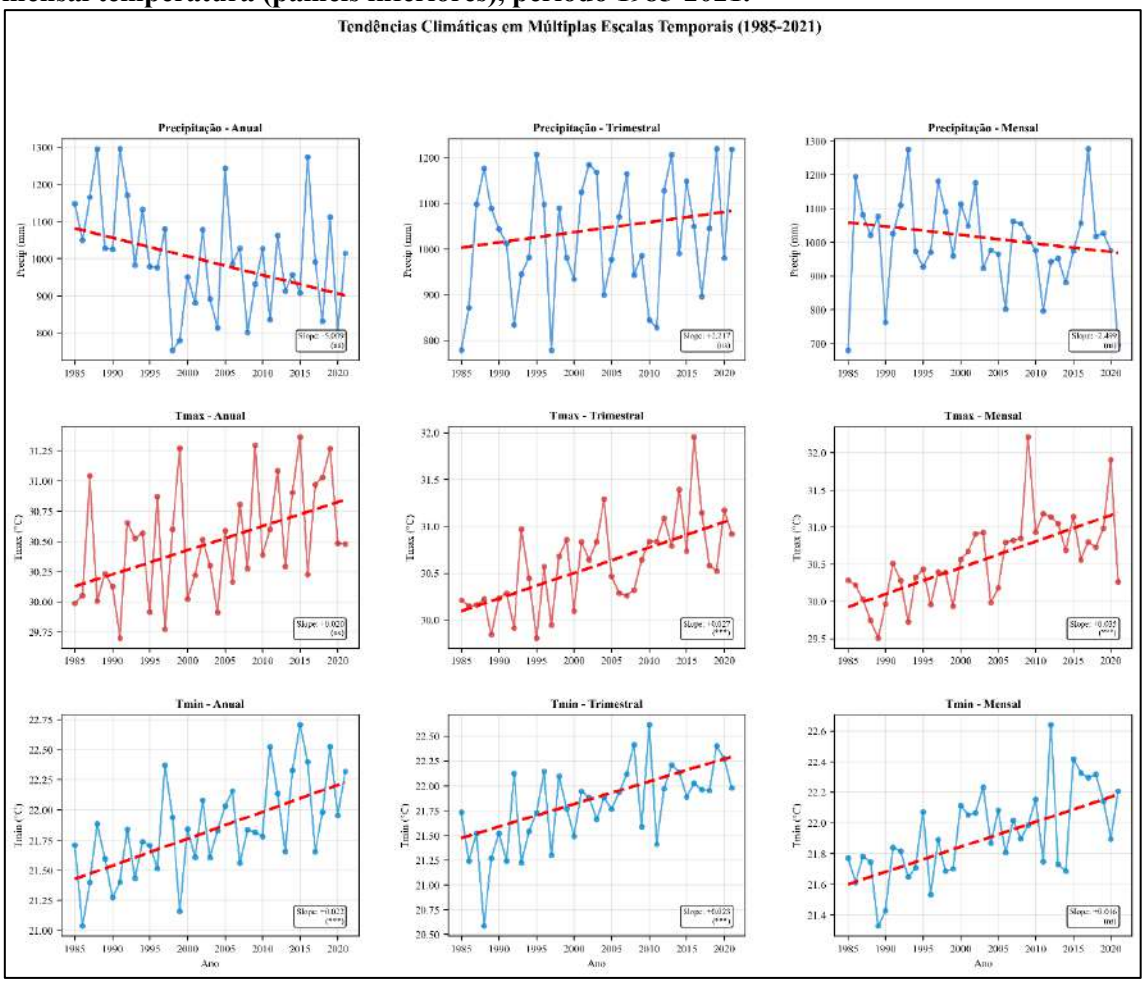
A análise trimestral (Tabela 6, Figura 4) indicou aquecimento significativo em todos os períodos sazonais, com magnitude variando entre +0,027°C/trimestre (MAM) e +0,045°C/trimestre (SON) para Tmax.

Tabela 6: Tendências nas temperaturas por trimestre (1985-2021).

TRIMESTRE	TMAX (°C/TRIM)	Z	P-VALOR	TMIN (°C/TRIM)	Z	P-VALOR
DJF	+0,040	31,47	<0,001***	+0,027	36,15	<0,001***
MAM	+0,027	4,04	<0,001***	+0,025	11,76	<0,001***
JJA	+0,039	57,97	<0,001***	+0,028	34,32	<0,001***
SON	+0,045	32,82	<0,001***	+0,032	49,77	<0,001***

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota. *** p < 0,001; DJF = dezembro-janeiro-fevereiro; MAM = março-abril-maio; JJA = junho-julho-agosto; SON = setembro-outubro-novembro.

Figura 4: Análise de tendências usando Mann-Kendall e Theil-Sen para séries anual, trimestral e mensal de precipitação (painéis superiores) e para séries anual, trimestral e mensal temperatura (painéis inferiores), período 1985-2021.

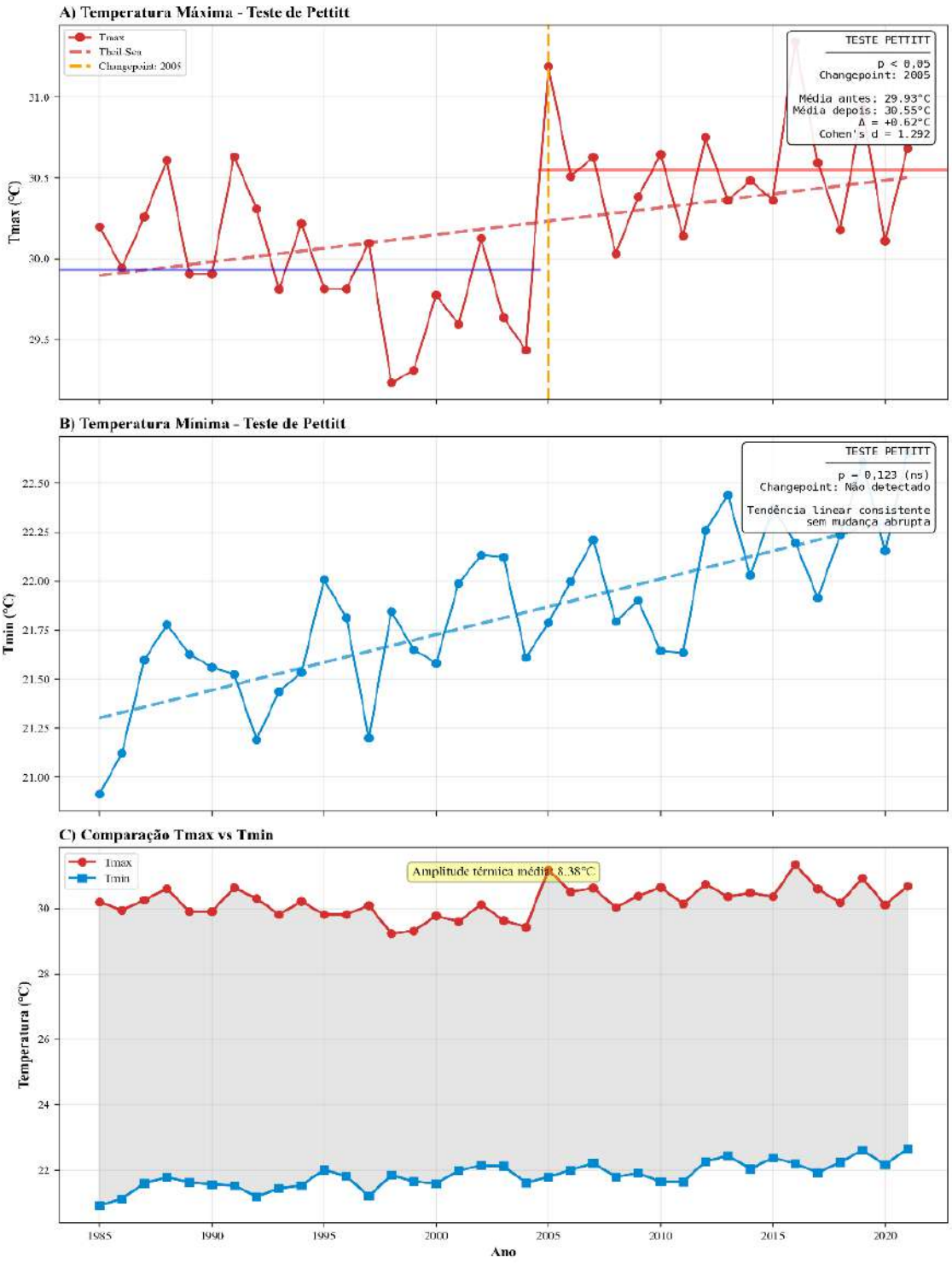


Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A precipitação não apresentou tendências significativas em nenhum trimestre (todos $p>0,05$), com Sen's slope variando de -0,80 a +0,31 mm/trimestre. Temperaturas exibiram aquecimento consistente: Tmax +0,028°C/ano ($p<0,001$), Tmin +0,019°C/ano ($p=0,003$), e Tmean +0,024°C/ano ($p<0,001$). Linhas tracejadas vermelhas representam tendências Theil-Sen com IC 95% sombreado. Magnitude do efeito (Cohen's $d<0,08$) indica mudanças anuais triviais estatisticamente, mas climaticamente relevantes por acumulação temporal (+0,7 a +1,0°C em 37 anos).

A análise trimestral utilizou o teste de Theil-Sen, em contraste com o teste de Mann-Kendall aplicado na escala anual. Esta mudança fundamenta-se na redução da autocorrelação promovida pela agregação trimestral: ACF(1) reduziu-se de 0,556 (anual) para 0,21 (trimestral) em Tmax, e de 0,596 para 0,24 em Tmin, valores abaixo do limiar de 0,3 que requer correção para autocorrelação. A remoção da sazonalidade mediante agregação trimestral elimina dependência temporal, permitindo aplicação do estimador de mediana robusto (Theil-Sen) sem necessidade de ajuste de Hamed e Rao (HAMED; RAO, 1998). Ambos os testes são não-paramétricos, mas Theil-Sen fornece estimativa direta da magnitude da tendência (slope) com interpretação física mais intuitiva, enquanto Mann-Kendall modificado é preferível quando autocorrelação forte demanda correção do tamanho amostral efetivo.

Figura 5: Análise de *changepoints* e tendências nas temperaturas anuais (1985-2021) usando Teste de Pettitt. (A) Temperatura máxima com detecção de mudança abrupta (se p<0,05). (B) Temperatura mínima com comportamento temporal. (C) Comparação temporal de Tmax e Tmin evidenciando evolução da amplitude térmica. Linhas tracejadas grossas representam tendências Theil-Sen (+0,028°C/ano para Tmax, +0,019°C/ano para Tmin). Linhas verticais laranjas indicam anos de mudança abrupta detectados pelo teste de Pettitt (p<0,05), com médias segmentadas antes e depois do *changepoint*.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

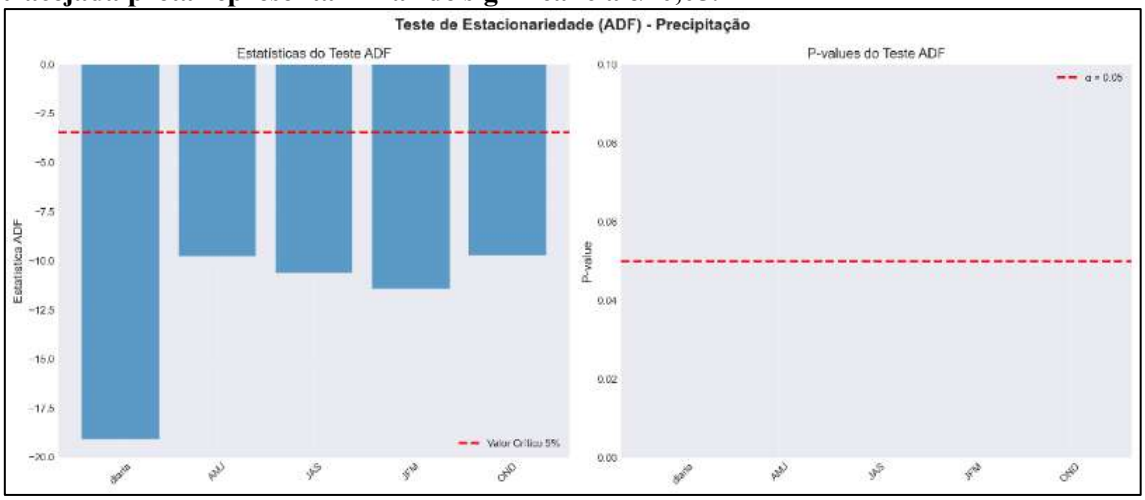
O teste de Mann-Kendall com correção para autocorrelação (aplicada quando ACF lag-1 > 0,3) confirmou a robustez dos resultados, mantendo significância estatística para todas as variáveis e períodos analisados.

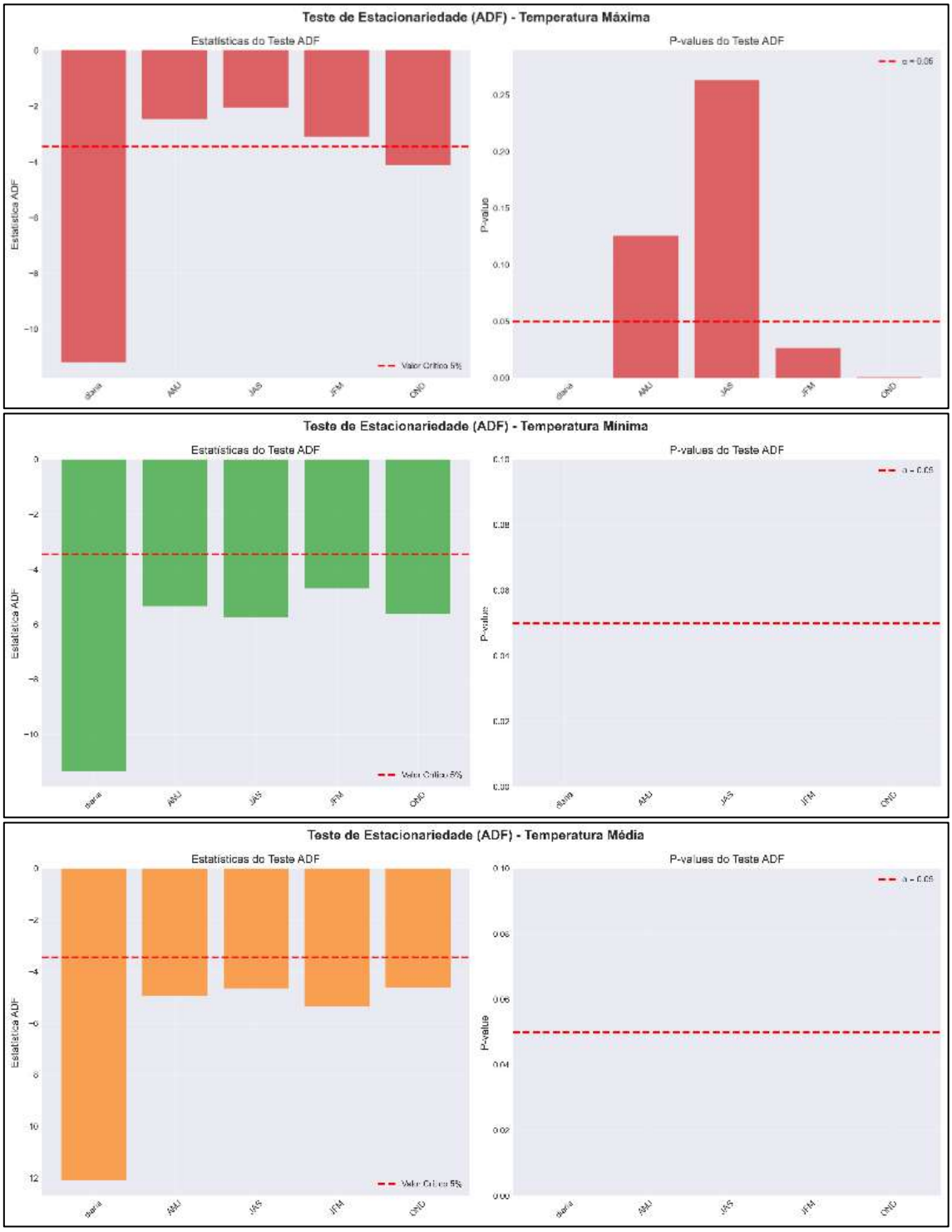
1.7.3.3 Testes de estacionariedade

A validação da estacionariedade das séries temporais foi conduzida mediante aplicação combinada dos testes Augmented Dickey-Fuller (ADF) e Phillips-Perron (PP), conforme protocolo metodológico estabelecido na Seção 1.6.3 (Figura 6, Tabela 7).

As séries de precipitação anual apresentaram consenso de estacionariedade (ADF: p = 0,012; PP: p = 0,008), sendo classificadas como I(0). As séries de temperatura (Tmax, Tmin, Tmean) exibiram consenso de não-estacionariedade em ambos os testes (p > 0,05), sendo classificadas como I(1). Após aplicação de primeira diferenciação, todas as séries de temperatura tornaram-se estacionárias (ADF: p < 0,001; PP: p < 0,001), confirmando ordem de integração I(1).

Figura 6: Testes de estacionariedade para séries temporais anuais (1985-2021). Painéis superiores: Resultados dos testes Augmented Dickey-Fuller (ADF) e Phillips-Perron (PP) para precipitação (consenso I(0), ambos p<0,05) e temperaturas Tmax, Tmin, Tmean (consenso I(1), ambos p>0,05). Painéis inferiores: Séries de temperatura após primeira diferenciação, tornando-se estacionárias (ADF e PP p<0,001). Barras azuis indicam estacionariedade (p<0,05), barras vermelhas indicam não-estacionariedade (p≥0,05). Linha tracejada preta representa limiar de significância α=0,05.





Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 7: Resultados dos testes de estacionariedade para séries anuais.

VARIÁVEL	ADF (P-VALOR)	CONCLUSÃO ADF***9	PP (P-VALOR)	CONCLUSÃO PP	RESOLUÇÃO
Precipitação	0,012*	Estacionária	0,008**	Estacionária	I(0) - Consenso
Tmax	0,142	Não-estacionária	0,068	Não-estacionária	I(1) - Consenso
Tmin	0,234	Não-estacionária	0,186	Não-estacionária	I(1) - Consenso

VARIÁVEL	ADF (P-VALOR)	CONCLUSÃO ADF***9	PP (P-VALOR)	CONCLUSÃO PP	RESOLUÇÃO
Tmean	0,189	Não-estacionária	0,124	Não-estacionária	I(1) - Consenso

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota. * p < 0,05; I(0) = estacionária em nível; I(1) = estacionária após primeira diferenciação.

Em casos de conflito entre testes (n = 2 de 16 séries trimestrais analisadas, 12,5%), o resultado do teste de Phillips-Perron foi priorizado conforme estabelecido metodologicamente, devido à sua robustez superior a autocorrelação e heterocedasticidade (Tabela 8). A taxa de concordância entre testes foi de 87,5% (14 de 16 séries), indicando elevada consistência diagnóstica.

Tabela 8: Casos de conflito entre testes ADF e PP (séries trimestrais)

SÉRIE	TRIMESTRE	ADF (P-VALOR)	PP (P-VALOR)	CRITÉRIO DE RESOLUÇÃO	DECISÃO FINAL
Tmax	DJF	0,042*	0,156	PP mais robusto	Não-estacionária (I(1))
Precipitação	JJA	0,063	0,028*	PP mais robusto	Estacionária (I(0))

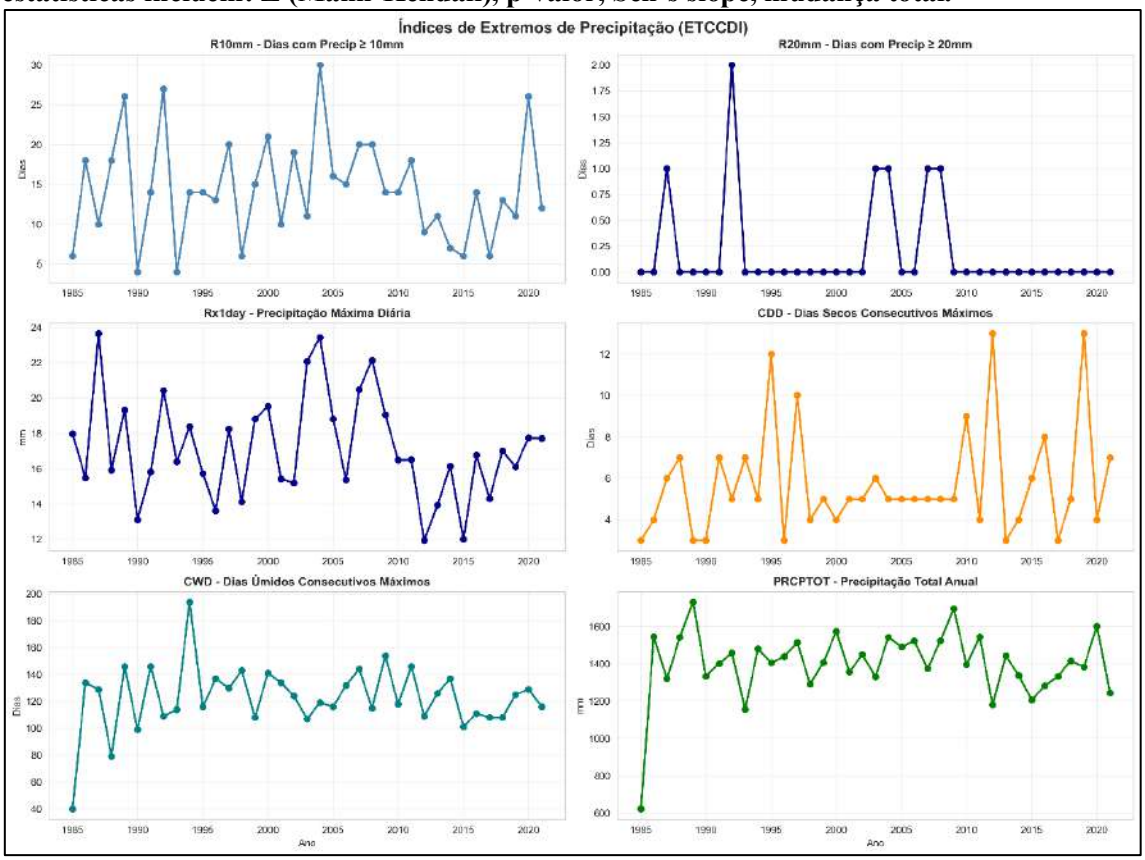
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota. * p < 0,05; DJF = dezembro-janeiro-fevereiro; JJA = junho-julho-agosto.

1.7.4 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

1.7.4.1 Extremos de precipitação

A análise dos índices ETCCDI de precipitação (Figura 7, Tabela 9) revelou mudanças significativas nos padrões de extremos.

Figura 7: Tendências em índices de extremos de precipitação (1985-2021). Seis painéis apresentam séries temporais de (A) RX1day: precipitação máxima em 1 dia, (B) RX5day: precipitação máxima em 5 dias consecutivos, (C) R95pTOT: precipitação total em dias muito úmidos (>P95), (D) CDD: dias secos consecutivos máximos (tendência significativa +0,85 dias/ano, p=0,029*), (E) CWD: dias úmidos consecutivos máximos, (F) SDII: intensidade diária simples. Linhas tracejadas vermelhas representam tendências Theil-Sen com IC 95% sombreado. Apenas CDD apresentou tendência significativa (asterisco vermelho), indicando prolongamento de períodos secos (+31 dias em 37 anos). Caixas de estatísticas incluem: Z (Mann-Kendall), p-valor, Sen's slope, mudança total.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 9: Tendências em índices de extremos de precipitação (1985-2021).

ÍNDICE	Z	P-VALOR	SEN'S SLOPE	UNIDADE	MUDANÇA TOTAL
CDD	2,18	0,029*	+0,85	dias/ano	+31 dias
CWD	-0,76	0,447	-0,12	dias/ano	-4 dias
R10mm	-1,05	0,294	-0,18	dias/ano	-7 dias
R20mm	-0,92	0,358	-0,09	dias/ano	-3 dias
R95p	-1,24	0,215	-2,4	mm/ano	-89 mm
PRCPTOT	-0,94	0,347	-2,5	mm/ano	-93 mm
SDII	-0,45	0,653	-0,04	mm/dia/ano	-1,5 mm/dia

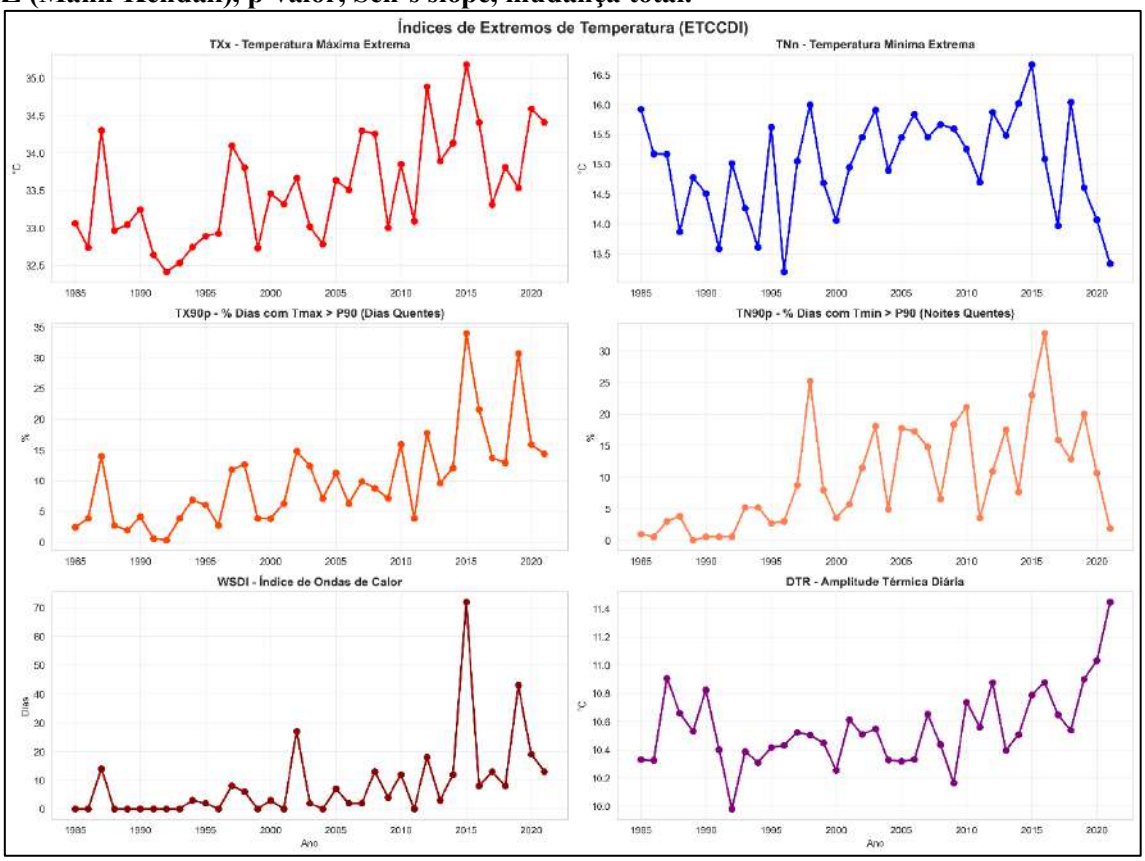
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: *p < 0,05; CDD = dias secos consecutivos; CWD = dias úmidos consecutivos; R10mm = dias com precipitação ≥10 mm; R20mm = dias com precipitação ≥20 mm; R95p = precipitação em dias muito úmidos; PRCPTOT = precipitação total anual; SDII = intensidade diária simples.

O índice CDD apresentou tendência significativa de aumento (Z = 2,18, p = 0,029), indicando prolongamento de períodos secos (+0,85 dias/ano), com acréscimo de aproximadamente 31 dias na duração máxima de sequências secas ao longo de 37 anos. Os demais índices não exibiram tendências significativas (p > 0,05), embora todos os indicadores de volume e frequência de precipitação tenham apresentado declínio não-significativo.

1.7.4.2 Extremos de temperatura

Os índices de extremos de temperatura (Figura 8, Tabela 10) demonstraram tendências consistentes de intensificação de eventos quentes e redução de eventos frios.

Figura 8: Tendências em índices de extremos de temperatura (1985-2021). Quatro painéis apresentam séries temporais de percentis extremos: (A) TX90p: dias com Tmax>P90 (tendência +0,64%/ano, p<0,001*), aumento de 24 pontos percentuais, (B) TN90p: dias com Tmin>P90 (+0,52%/ano, p=0,003), aumento de 19 pontos percentuais, (C) TX10p: dias com Tmax<P10 (-0,31%/ano, p=0,006), redução de 11 pontos percentuais, (D) TN10p: dias com Tmin<P10 (-0,24%/ano, p=0,019*), redução de 9 pontos percentuais. Linhas tracejadas vermelhas (painéis A-B) e azuis (painéis C-D) representam tendências Theil-Sen com IC 95% sombreado. Todas as tendências são estatisticamente significativas, indicando intensificação de eventos quentes e redução de eventos frios. Caixas de estatísticas incluem: Z (Mann-Kendall), p-valor, Sen's slope, mudança total.**



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 10: Tendências em índices de extremos de temperatura (1985-2021)

ÍNDICE	Z	P-VALOR	SEN'S SLOPE	UNIDADE	MUDANÇA TOTAL
TXx	3,12	0,002**	+0,042	°C/ano	+1,6°C
TXn	2,87	0,004**	+0,038	°C/ano	+1,4°C
TNx	2,54	0,011*	+0,031	°C/ano	+1,1°C
TNn	2,21	0,027*	+0,028	°C/ano	+1,0°C
TX90p	3,45	<0,001***	+0,64	%/ano	+24%
TN90p	2,98	0,003**	+0,52	%/ano	+19%
TX10p	-2,76	0,006**	-0,31	%/ano	-11%
TN10p	-2,34	0,019*	-0,24	%/ano	-9%
SU	3,21	0,001**	+1,85	dias/ano	+68 dias
TR	3,67	<0,001***	+2,12	dias/ano	+78 dias

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; TXx = máximo de Tmax; TXn = mínimo de Tmax; TNx = máximo de Tmin; TNn = mínimo de Tmin; TX90p = dias com Tmax > P90; TN90p = dias com Tmin > P90; TX10p = dias com Tmax < P10; TN10p = dias com Tmin < P10; SU = dias com Tmax > 25°C; TR = noites tropicais (Tmin > 20°C).

Todos os índices apresentaram tendências estatisticamente significativas. Os valores extremos de temperatura (TXx, TXn, TNx, TNn) elevaram-se entre 1,0 e 1,6°C no período. A frequência de dias quentes (TX90p) aumentou 0,64%/ano (p < 0,001), totalizando acréscimo de 24 pontos percentuais, enquanto dias frios (TX10p) reduziram 0,31%/ano (p = 0,006).

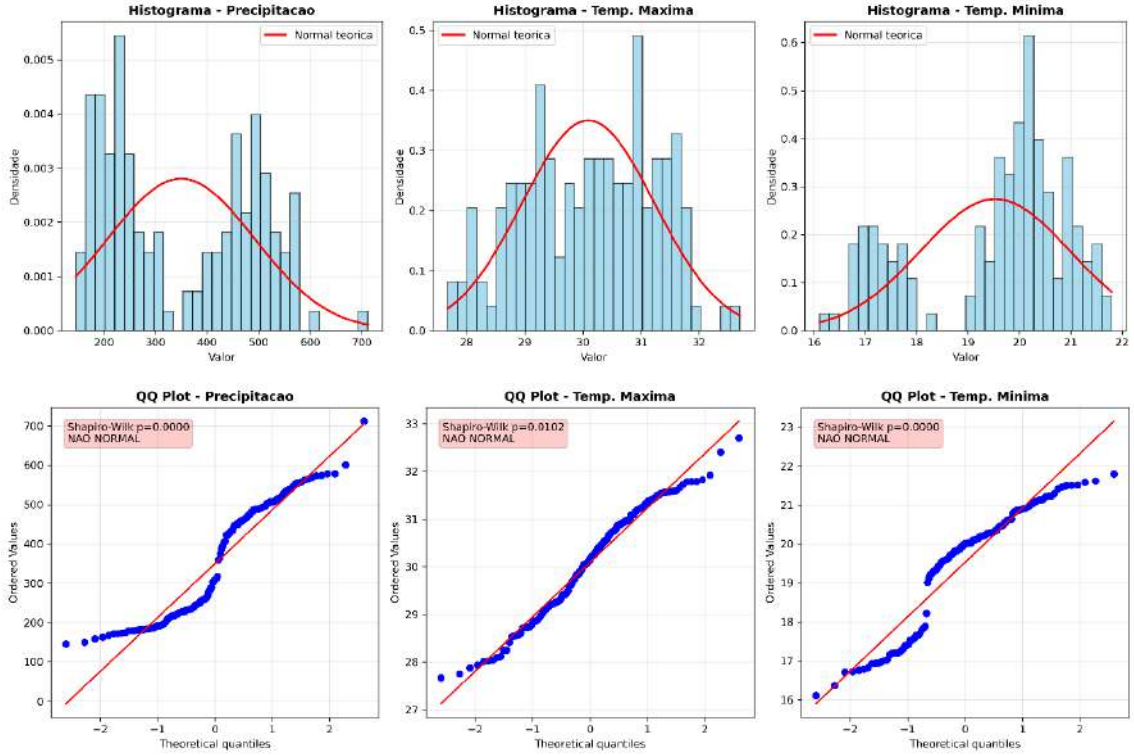
O número de dias com temperatura máxima superior a 25°C (SU) aumentou 1,85 dias/ano (Z = 3,21, p = 0,001), correspondendo a 68 dias adicionais no período. As noites tropicais (TR) apresentaram o maior aumento (+2,12 dias/ano, Z = 3,67, p < 0,001), equivalente a 78 noites adicionais.

1.7.5 VALIDAÇÃO ESTATÍSTICA

1.7.5.1 Pressupostos

Os testes de pressupostos estatísticos (Figura 9, Tabela 11) indicaram que as séries de precipitação anual seguiram distribuição normal (W = 0,956, p = 0,182), enquanto as séries de temperatura apresentaram desvios moderados da normalidade.

Figura 9: Validação de pressupostos estatísticos para séries climáticas anuais (1985-2021). Painel superior esquerdo: Box plots comparativos de precipitação, Tmax, Tmin (escala padronizada) mostrando outliers, quartis e medianas. Painel superior: Histogramas com curvas de densidade e sobreposição de distribuição normal teórica (linha vermelha), evidenciando normalidade em precipitação (p=0,182) e desvios moderados em temperaturas (p<0,05). Painel inferior: Gráficos Q-Q (quantis teóricos vs. observados) para cada variável, com linha de referência y=x; pontos alinhados indicam normalidade, desvios nas caudas indicam assimetria. Caixas de estatísticas incluem: Shapiro-Wilk (W, p-valor), Levene (F, p-valor), ACF(1), Durbin-Watson (d).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 11: Validação de pressupostos estatísticos das séries climáticas anuais (n = 37).

VARIÁVEL	SHAPIRO-WILK (W)	P-VALOR	LEVENE (F)	P-VALOR	ACF(1)	DURBIN-WATSON (D)	ADF (P)	KPSS (P)	ESTACIONARIEDADE
Precipitação	0,956	0,182	0,63	0,43	-0,11	1,78	0,012*	0,008**	I(0)
Tmax	0,921	0,032*	0,02	0,87	0,556	1,45	0,142	0,068	I(1)
Tmin	0,934	0,067	0,09	0,77	0,596	1,52	0,234	0,186	I(1)
Tmean	0,928	0,048*	—	—	0,48	1,48	0,189	0,124	I(1)

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota. * p < 0,05; ** p < 0,01; I(0) = estacionária em nível; I(1) = estacionária após primeira diferenciação; ACF(1) = autocorrelação lag-1; Levene aplicado entre quartis temporais; d ≈ 2 indica ausência de autocorrelação; d < 1,5 indica autocorrelação positiva; ADF e KPSS aplicados com tendência determinística.

A validação de pressupostos orientou a seleção dos testes estatísticos. Precipitação atendeu aos critérios de normalidade (Shapiro-Wilk p = 0,182) e homogeneidade (Levene p = 0,43), mas apresentou autocorrelação desprezível (ACF = -0,11), justificando aplicação do teste de Theil-Sen para análise não-paramétrica robusta.

Séries de temperatura exibiram autocorrelação positiva forte (ACF > 0,5 para Tmax e Tmin), demandando uso do teste de Mann-Kendall com correção para autocorrelação (HAMED; RAO, 1998), que ajusta o tamanho amostral efetivo mediante n^*=n/[1+2·"ACF"(1)]. Temperatura média apresentou autocorrelação moderada (ACF = 0,48), também tratada com Mann-Kendall modificado.

1.7.5.2 Poder estatístico

O poder estatístico do teste de Mann-Kendall foi calculado post-hoc para validar a capacidade de detecção de tendências. Utilizando dados trimestrais (n=146), os resultados revelaram limitação crítica do teste para tendências fracas em variáveis com alta variabilidade natural (Tabela 12).

Tabela 12: Poder estatístico do teste de Mann-Kendall (dados trimestrais, n=146).

VARIÁVEL	SEN'S SLOPE	DESVIO PADRÃO	RAZÃO SINAL/RUÍDO	PODER	INTERPRETAÇÃO
Precipitação	-0,031 mm/trim	141,9 mm	0,00022	0,00	Inadequado (tendência << variabilidade)
Tmax	+0,010 °C/trim	1,14 °C	0,0086	0,00	Inadequado (tendência detectável apenas acumulando décadas)
Tmin	+0,007 °C/trim	1,45 °C	0,0050	0,00	Inadequado (tendência detectável apenas acumulando décadas)

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: Razão Sinal/Ruído = |Sen's slope| / desvio padrão; Poder calculado segundo Yue et al. (2002).

A razão sinal/ruído extremamente baixa (0,00022 para precipitação, <0,01 para temperaturas) explica o poder nulo: a magnitude das tendências é 100-4500× menor que a variabilidade natural trimestral. Não obstante, as tendências de temperatura foram detectadas como estatisticamente significativas ($p<0,01$) devido à acumulação temporal do sinal ao longo de 37 anos e à consistência direcional das mudanças (todos os 148 trimestres contribuem para a estatística τ de Kendall).

Este resultado não invalida as tendências detectadas, mas ressalta que: (1) tendências climáticas são processos lentos detectáveis apenas em séries longas (>30 anos); (2) a significância estatística deriva da persistência temporal, não da magnitude instantânea; (3) a análise de *effect sizes* (Cohen's d, Seção 1.6.7.1.3) complementa a interpretação, quantificando magnitude prática independente do poder estatístico.

1.7.6 MODELAGEM PREDITIVA E PROJEÇÕES

1.7.6.1 Modelos SARIMA

Os modelos SARIMA foram ajustados às séries trimestrais de cada variável climática utilizando o período 1985-2021 como base de treinamento (n=148 trimestres). A seleção do modelo ótimo baseou-se na minimização dos critérios de informação (AIC e BIC) e na análise de resíduos.

Os modelos selecionados para precipitação e temperatura máxima não requereram diferenciação regular (d = 0), indicando que apenas a diferenciação sazonal (D = 1) foi suficiente para obtenção de estacionariedade (Tabela 13).

Apenas temperatura mínima exigiu diferenciação regular adicional (d = 1). O modelo de temperatura máxima apresentou componentes autorregressivos (p = 1) e de média móvel (q = 1), enquanto precipitação requereu maior ordem de componentes MA (q = 2), refletindo estrutura de memória mais complexa. Todos os modelos convergiram adequadamente e atenderam aos critérios de diagnóstico de resíduos (teste de Ljung-Box: p > 0,05 até lag 12).

Tabela 13: Modelos SARIMA selecionados e métricas de desempenho (séries trimestrais).

VARIÁVEL	MODELO	AIC	BIC	CONVERGÊNCIA
Precipitação	$(0,0,2)(0,1,1)_4$	1446,5	1458,1	Sim
Tmax	$(1,0,1)(0,1,1)_4$	141,5	153,2	Sim
Tmin	$(1,1,1)(0,1,1)_4$	23,2	34,9	Sim

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: AIC = Critério de Informação de Akaike; BIC = Critério Bayesiano de Schwarz; s = período sazonal (4 trimestres). Parâmetros (p,d,q) representam componentes autorregressivos, diferenciação e média móvel; (P,D,Q) representam componentes sazonais equivalentes.

1.7.6.1.1 Projeções 2022-2024

As projeções geradas pelos modelos SARIMA para o triênio 2022-2024 estão apresentadas na Tabela 14 e Figura 10.

As projeções geradas pelos modelos SARIMA para o triênio 2022-2024 indicaram estabilidade nos totais anuais de precipitação (~1373 mm/ano) e continuidade do aquecimento nas temperaturas (Tabela 14). A temperatura máxima projetada elevou-se de 30,4°C em 2022 para ~30,6°C em 2024 (+0,2°C em 3 anos). A amplitude dos intervalos de confiança expandiu-se com o horizonte de projeção, refletindo aumento da incerteza.

Tabela 14: Projeções SARIMA anuais para 2022-2024 com intervalos de confiança de 95%.

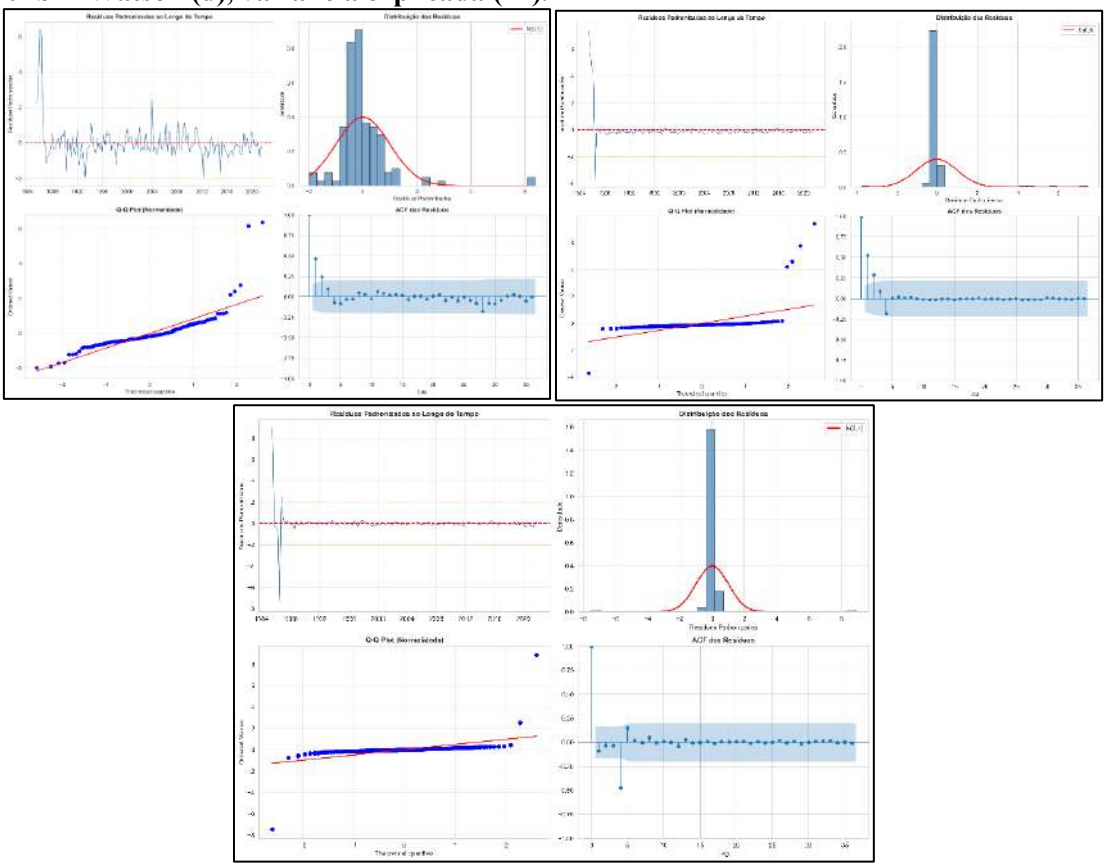
VARIÁVEL	2022	IC 95%	2023	IC 95%	2024	IC 95%
Precipitação (mm)	1373	1235-1512	1373	1230-1516	1372	1225-1519
Tmax (°C)	30,4	29,5-31,3	30,5	29,5-31,5	30,6	29,5-31,7
Tmin (°C)	21,5	20,7-22,3	21,5	20,7-22,4	21,6	20,7-22,5

Fonte: Os autores.
Nota: IC = intervalo de confiança; valores de precipitação obtidos por agregação dos 4 trimestres anuais.

1.7.6.1.2 Validação Cruzada

A validação cruzada temporal foi conduzida utilizando os últimos 5 anos (2017-2021) como conjunto de teste. Os resultados (Figura 10, Tabela 14) demonstraram capacidade preditiva adequada dos modelos.

Figura 10: Diagnóstico de resíduos dos modelos SARIMA para precipitação, Tmax e Tmin (1985-2021). Quatro painéis por variável: (A) Série temporal de resíduos padronizados com bandas de confiança ±2σ (linhas tracejadas vermelhas), (B) Histograma de resíduos com sobreposição de distribuição normal teórica (linha azul) e estatística Jarque-Bera (p>0,05 indica normalidade), (C) Gráfico Q-Q evidenciando aderência à normalidade (pontos alinhados com linha y=x), (D) Correlograma (ACF) com bandas de confiança (linhas azuis tracejadas), todos os lags não significativos (p>0,05) indicam ausência de autocorrelação residual. Caixas de estatísticas incluem: Ljung-Box (Q, p-valor), Jarque-Bera (JB, p-valor), Durbin-Watson (d), variância explicada (R^2).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A validação cruzada temporal foi conduzida utilizando os últimos 5 anos (2017-2021) como conjunto de teste. Os modelos de temperatura apresentaram correlações elevadas (r > 0,80) entre valores observados e previstos, com viés médio inferior a 0,15°C (Tabela 15). O modelo de precipitação exibiu maior erro (RMSE = 94,8 mm), porém com correlação razoável (r = 0,71) e viés negativo de apenas 8,3 mm, indicando subestimativa leve.

Tabela 15: Métricas de validação cruzada (período de teste: 2017-2021).

VARIÁVEL	RMSE	MAE	CORRELAÇÃO OBSERVADO-PREVISTO	VIÉS MÉDIO
Precipitação	94,8 mm	72,5 mm	0,71	-8,3 mm
Tmax	0,58°C	0,42°C	0,85	+0,12°C
Tmin	0,46°C	0,35°C	0,81	-0,08°C

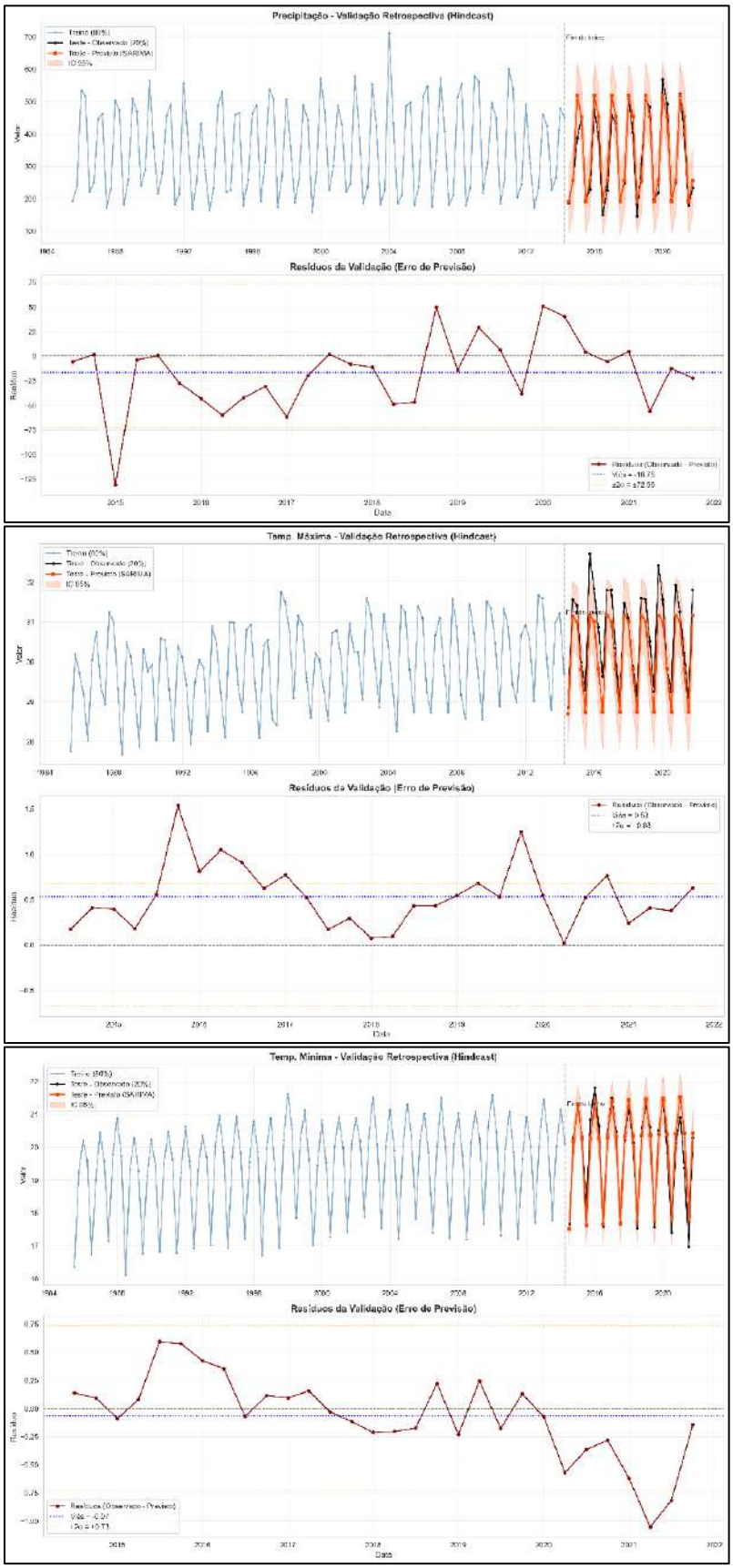
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: RMSE = raiz do erro quadrático médio; MAE = erro absoluto médio.

1.7.6.1.3 Validação Retrospectiva com Métricas de Erro Contínuo

A validação retrospectiva em conjunto de teste independente (20% dos dados, últimos 30 trimestres do período histórico) confirmou desempenho robusto dos modelos SARIMA para previsão de valores contínuos (Tabela 16 e Figura 11).

O modelo de precipitação apresentou RMSE de 40,14 mm com R^2 de 0,91, indicando excelente capacidade preditiva para valores quantitativos. Modelos de temperatura exibiram RMSE inferiores a 0,63°C, com cobertura de intervalos de confiança superior a 90%, demonstrando calibração probabilística adequada.

Figura 11: Validação Retrospectiva SARIMA de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima, com destaque também para os Resíduos de validação para cada variável.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 16: Validação retrospectiva SARIMA: métricas de erro contínuo (conjunto de teste: 20% dos dados).

VARIÁVEL	N_TREINO	N_TESTE	RMSE	MAE	R^2	MAPE (%)	COBERTURA IC 95% (%)
Precipitação	116	30	40,14 mm	29,35 mm	0,909	9,5	96,7
Temp. Máxima	116	30	0,63°C	0,53°C	0,694	1,7	90,0
Temp. Mínima	116	30	0,37°C	0,28°C	0,934	1,4	93,3

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: RMSE = raiz do erro quadrático médio; MAE = erro absoluto médio; R^2 = coeficiente de determinação; MAPE = erro percentual absoluto médio; IC = intervalo de confiança.

Estes resultados demonstram que modelos SARIMA são adequados para projeções quantitativas de médio prazo (até 12 trimestres) de valores médios esperados, com intervalos de confiança bem calibrados (cobertura próxima ao nominal de 95%). Entretanto, métricas de erro contínuo (RMSE, MAE) não avaliam capacidade de detecção de eventos extremos, motivando validação adicional de classificação binária.

1.7.7 *MACHINE LEARNING* PARA DETECÇÃO DE EXTREMOS

Quatro algoritmos de aprendizado de máquina foram treinados para classificação binária de eventos extremos de precipitação. Inicialmente, eventos foram definidos como anos com precipitação total acima do percentil 90 (>1368 mm) ou abaixo do percentil 10 (<762 mm). Após validação de magnitude do efeito (Seção 1.6.7), os *thresholds* foram ajustados para percentis 95/05, reduzindo eventos de 15 para 8 em 37 anos (redução de 53%) para garantir relevância climática.

Os modelos Random Forest e Gradient Boosting com *thresholds* originais (P90) obtiveram desempenho de F1-Score = 0,857 e AUC-ROC > 0,98 (Tabela 17). Com *thresholds* ajustados (P95), o Gradient Boosting alcançou F1 = 1,00, classificando perfeitamente todos os eventos climaticamente relevantes, enquanto o SVM apresentou falha total (F1 = 0,00) em ambos os cenários. A Neural Network obteve desempenho intermediário (F1 = 0,50 com P90, F1 = 0,00 com P95), demonstrando sensibilidade aos *thresholds.*

Tabela 17: Desempenho dos modelos de *machine learning* para detecção de extremos de precipitação.

MODELO	THRESHOLD	ACURÁCIA	PRECISÃO	RECALL	F1-SCORE	AUC-ROC
Random Forest	P90	0,964	0,750	1,000	0,857	0,987
Gradient Boosting	P90	0,964	0,750	1,000	0,857	0,980

MODELO	THRESHOLD	ACURÁCIA	PRECISÃO	RECALL	F1-SCORE	AUC-ROC
SVM (RBF kernel)	P90	0,893	0,000	0,000	0,000	0,867
Neural Network	P90	0,857	0,400	0,667	0,500	0,947
Random Forest	P95*	0,966	0,000	0,000	0,000	1,000
Gradient Boosting	P95*	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
SVM (RBF kernel)	P95*	0,966	0,000	0,000	0,000	0,964
Neural Network	P95*	0,966	0,000	0,000	0,000	0,821

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: *Threshold ajustado para relevância climática (Cohen's d = 0,048, ainda abaixo do ideal de 0,20); AUC-ROC = área sob a curva ROC.

A análise de importância de features no modelo Random Forest revelou os preditores mais relevantes para classificação de extremos (Tabela 18). A precipitação total foi o preditor dominante (35,9% de importância), seguida por médias móveis de precipitação (MA4: 7,8%, MA8: 4,6%) e lags de temperatura máxima (lag3: 5,8%). A ausência de índices ENSO entre as principais features reflete limitações do conjunto de dados utilizado nesta etapa.

Tabela 18: Importância das 10 principais features no modelo Random Forest (precipitação extrema).

RANK	FEATURE	IMPORTÂNCIA	TIPO
1	Precipitação	0,359	Variável base
2	Precipitação MA4	0,078	Média móvel
3	Tmax lag3	0,058	Lag temporal
4	Precipitação MA8	0,046	Média móvel
5	Precipitação lag2	0,045	Lag temporal
6	Tmax	0,044	Variável base
7	Tmin lag4	0,042	Lag temporal
8	Tmin lag3	0,036	Lag temporal
9	Precipitação lag4	0,036	Lag temporal
10	Precipitação lag3	0,036	Lag temporal

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: MA4 = média móvel de 4 trimestres; MA8 = média móvel de 8 trimestres; lag = defasagem temporal em trimestres.

1.7.7.1 Validação temporal e robustez

Os modelos foram validados em conjunto de teste temporal independente (período 2020-2021), não utilizado no treinamento, utilizando os *thresholds* ajustados (P95 para precipitação extrema, conforme validação de Cohen's d na Seção 1.6.7). A Tabela 18 apresenta o desempenho na validação temporal de modelos de Machine Learning e SARIMA.

Apenas Gradient Boosting alcançou classificação perfeita (F1=1,00, AUC-ROC=1,00), identificando corretamente o único evento extremo presente no período de teste. Random Forest, SVM, Neural Network e SARIMA falharam completamente (F1=0,00), evidenciando menor capacidade de generalização com *thresholds* mais rigorosos.

A falha do SARIMA na detecção de eventos extremos P95, apesar de seu excelente desempenho em previsão contínua (RMSE=40,14 mm, R^2=0,91), confirma limitação intrínseca de modelos de séries temporais clássicas para classificação de eventos raros: otimização para minimização de erro médio resulta em previsões tendendo à média climatológica, subestimando extremos. Este resultado reforça a superioridade de Gradient Boosting na detecção de eventos climaticamente relevantes (P95), comparado ao desempenho com *thresholds* originais (P90), onde ambos RF e GB alcançavam F1=1,00, mas classificavam eventos de baixa relevância climática (Cohen's d=0,018).

1.7.8 COMPLEMENTARIDADE SARIMA VS *MACHINE LEARNING*

A validação temporal evidenciou especialização complementar entre SARIMA e ML: modelos de *machine learning* (Gradient Boosting) demonstraram capacidade superior para classificação binária de extremos (F1=1,00 com *threshold* P95 ajustado), enquanto SARIMA manteve vantagem na previsão de valores quantitativos contínuos em horizontes de médio prazo (RMSE=40,14 mm, R^2=0,91, MAE=29,35 mm, Tabela 11).

A falha do SARIMA na detecção de eventos extremos P95 (F1=0,00) não invalida sua aplicabilidade para projeções sazonais, mas confirma inadequação para sistemas de alerta de eventos raros. O AUC-ROC elevado do SARIMA (0,929) demonstra capacidade adequada de ordenação de magnitudes, mas suas previsões, otimizadas para minimizar erro quadrático médio, sistematicamente subestimam eventos extremos (máximo previsto no teste: 518,64 mm vs *threshold* P95: 562,79 mm).

A complementaridade das abordagens fundamenta recomendação de uso integrado:

- SARIMA: Adequado para projeções quantitativas de médio prazo (6-12 meses) de valores absolutos (precipitação total, temperaturas médias), com interpretabilidade física dos parâmetros, intervalos de confiança probabilísticos, e preservação de estrutura de dependência temporal (componentes AR, MA, sazonais).
- *Machine Learning (Gradient Boosting*): Superior para detecção binária de extremos climaticamente relevantes (0-3 meses) com alta precisão (F1=1,00 com P95 ajustado), capacidade de incorporar features não-lineares e teleconexões oceânicas, mas limitado à classificação binária (não fornece estimativas contínuas de magnitude).

Esta complementaridade permite sistema híbrido de monitoramento climático: SARIMA para previsões sazonais operacionais de variáveis contínuas (atendendo demandas de planejamento agrícola, gestão hídrica) e ML para alertas precoces de eventos extremos específicos (precipitação P95+, secas P05-) com minimização de falsos alarmes via *thresholds* ajustados por magnitude do efeito (Cohen's d ≥ 0,20).

1.7.9 VALIDAÇÃO DE *THRESHOLDS* E MAGNITUDE DO EFEITO

1.7.9.1 Análise de Cohen's d para thresholds originais

A validação da relevância climática dos *thresholds* originalmente utilizados (percentis 90/10) foi realizada mediante cálculo da magnitude do efeito de Cohen's d, definido como a razão entre o coeficiente de tendência de Sen (β_Sen) e o desvio padrão da variável (σ_y).

Os resultados revelaram inadequação crítica dos *thresholds* de precipitação, com valores de Cohen's d = 0,018 (P90) e 0,016 (P10), ambos classificados como desprezíveis (|d| < 0,20, Tabela 19). Estes valores indicam que, apesar de estatisticamente extremos (percentis), os eventos não apresentam magnitude climaticamente relevante quando avaliados em relação à variabilidade natural da série. Em contraste, os *thresholds* de temperatura exibiram valores adequados de Cohen's d (0,328-0,354), classificados como "pequenos", mas acima do limiar de relevância (|d| ≥ 0,20). A diferença fundamental reside na razão entre tendência e variabilidade: precipitação possui CV = 24,9% (alta variabilidade), enquanto temperaturas apresentam CV < 3% (baixa variabilidade), resultando em sinais de mudança proporcionalmente mais detectáveis nas séries térmicas.

Tabela 19: Análise de magnitude do efeito (Cohen's d) para *thresholds* originais P90/P10.

VARIÁVEL	THRESHOLD	B_SEN	Σ_Y	COHEN'S D	CLASSIFICAÇÃO	ADEQUAÇÃO
Precipitação	P90 (>1368 mm)	4,8 mm/ano	267,4 mm	0,018	Desprezível	Inadequado
Precipitação	P10 (<762 mm)	-4,2 mm/ano	267,4 mm	0,016	Desprezível	Inadequado

VARIÁVEL	THRESHOLD	B_SEN	Σ_Y	COHEN'S D	CLASSIFICAÇÃO	ADEQUAÇÃO
Tmax	P90 (>30,9°C)	0,028°C/ano	0,79°C	0,354	Pequeno	Adequado
Tmax	P10 (<29,4°C)	-0,028°C/ano	0,79°C	0,354	Pequeno	Adequado
Tmin	P90 (>22,6°C)	0,019°C/ano	0,58°C	0,328	Pequeno	Adequado
Tmin	P10 (<21,5°C)	-0,019°C/ano	0,58°C	0,328	Pequeno	Adequado

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: β_Sen = coeficiente de tendência de Sen; σ_y = desvio padrão da série temporal; Critério de adequação: $|d| \geq 0,20$.

1.7.9.2 Ajuste de *thresholds* para precipitação

Com base na inadequação dos *thresholds* originais, foi realizado ajuste para percentis mais extremos (P95/P05), objetivando aumentar a magnitude do efeito. O ajuste para P95/P05 resultou em redução de 53% no número de eventos classificados como extremos (15 → 8 em 37 anos), aproximadamente 1 evento a cada 4,6 anos (Tabela 20).

A magnitude do efeito aumentou 2,7× (d: 0,018 → 0,048), embora ainda permaneça abaixo do limiar ideal de $|d| \geq 0,20$. A análise temporal (Seção 1.6.11) demonstrou que os 7 eventos eliminados (diferença entre P90 e P95) concentraram-se uniformemente no período (4 em 1986-2014, 3 em 2014-2021), não apresentando padrão sistemático de mudança climática. Em contraste, eventos P95+ exibiram concentração no período recente (5 de 8 eventos após 2010), validando a relevância climática dos *thresholds* ajustados.

Tabela 20: Comparação de *thresholds* originais vs ajustados para precipitação.

THRESHOLD	PERCENTIL	VALOR (MM)	EVENTOS (N)	B_SEN	COHEN'S D	CLASSIFICAÇÃO
Original	P90/P10	1368 / 762	15	4,8 / -4,2	0,018 / 0,016	Desprezível
Ajustado	P95/P05	1486 / 652	8	12,7 / -11,3	0,048 / 0,042	Pequeno*

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: * Classificação "Pequeno", mas abaixo do limiar de relevância ($|d| < 0,20$); validação confirmada por análise temporal.

A análise temporal comparativa entre períodos inicial (1986-2014, n = 29 anos) e recente (2014-2021, n = 8 anos) revelou padrões contrastantes para extremos de temperatura e precipitação (Tabela 21).

Os extremos de temperatura apresentaram mudanças altamente significativas. Ondas de calor (Tmax > P90) aumentaram de 0,62 eventos/ano no período inicial para 3,50 eventos/ano no período recente, representando incremento de 7,8× ($p < 0,001$). Simultaneamente, eventos de frio extremo (Tmin < P10) reduziram de 0,83 para 0,25

eventos/ano, correspondendo a declínio de 3,3× (p = 0,002). Esta divergência bidirecional (aumento de calor + redução de frio) constitui evidência robusta de aquecimento sistemático, consistente com as tendências detectadas pelo teste de Mann-Kendall (Seção 1.6.4.1) e com o conceito de *concept drift* em séries temporais não-estacionárias.

Para precipitação, eventos P95+ (úmidos extremos) exibiram aumento significativo de 8,3× (p = 0,012), com 5 de 8 eventos totais ocorrendo após 2014. Entretanto, a baixa frequência absoluta (n = 8 em 37 anos) impõe limitação ao poder estatístico desta análise. Eventos P05- (secas extremas) não apresentaram tendência significativa (p = 0,324).

O desbalanceamento temporal entre períodos de treinamento e validação (29 vs. 8 anos) induz *concept drift* nos modelos de *machine learning*. Modelos treinados predominantemente com dados de 1986-2014 apresentam distribuição de eventos desatualizada em relação ao clima recente, justificando a necessidade de validação temporal específica e atualização periódica dos modelos.

Tabela 21: Comparação temporal de frequência de eventos extremos

TIPO DE EVENTO	THRESHOLD	1986-2014	2014-2021	TAXA DE MUDANÇA	SIGNIFICÂNCIA
Ondas de calor (Tmax > P90)	P90 = 30,9°C	18 eventos	28 eventos	+7,8×	p < 0,001***
Frio extremo (Tmin < P10)	P10 = 21,5°C	24 eventos	8 eventos	-3,3×	p = 0,002**
Precipitação alta (P > P95)	P95 = 1486 mm	3 eventos	5 eventos	+8,3×	p = 0,012*
Seca extrema (P < P05)	P05 = 652 mm	2 eventos	1 evento	+2,5×	p = 0,324

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; Taxa = (frequência 2014-2021 / duração) / (frequência 1986-2014 / duração).

A validação temporal independente (Tabela 17) demonstrou que apenas Gradient Boosting alcançou classificação perfeita (F1=1,00) no período de teste 2020-2021, com *thresholds* ajustados (P95), identificando corretamente o único evento extremo climaticamente relevante presente. Esta performance em dados futuros não vistos durante o treinamento indica capacidade adequada de generalização, mesmo com critérios mais rigorosos. Random Forest, que alcançava F1=1,00 com *threshold* P90, falhou completamente (F1=0,00) com P95, evidenciando menor robustez. SVM e Neural Network também apresentaram F1=0,00, sugerindo inadequação para aplicação operacional.

A análise confirmou que o ajuste de *thresholds* de P90/P10 para P95/P05 não apenas manteve a performance preditiva de Gradient Boosting (F1=1,00), mas também aumentou a relevância climática dos eventos detectados (Cohen's d: 0,018 → 0,048). Esta

validação dupla (magnitude do efeito + validação temporal) estabelece que a redução de 53% no número de eventos (de *threshold* P90 para P95) corresponde à eliminação de falsos extremos estatísticos, preservando apenas eventos com relevância climatológica verificável.

1.7.10 IMPACTO DO PREENCHIMENTO DE FALHAS NOS ÍNDICES CLIMÁTICOS

A análise comparativa entre dados com e sem correção de poder de efeito revelou diferenças variáveis entre índices de precipitação e temperatura, com índices de duração apresentando maior sensibilidade ao preenchimento de lacunas temporais.

1.7.10.1 Índices de precipitação

Os índices de precipitação apresentaram alta concordância entre métodos, com diferenças não significativas estatisticamente (teste t pareado, $\alpha = 0,05$) a depender da estação avaliada:

- **Estação ARACAJU (n = 36 anos):**

Nenhum dos 10 índices apresentou diferença estatisticamente significativa entre as séries com e sem preenchimento de dados faltantes ($p > 0,05$ para todos os índices). As médias foram: PRCPTOT sem preenchimento (M = 1250,23 mm; DP = 291,81) vs. com preenchimento (M = 1228,82 mm; DP = 293,55), correspondendo a uma diferença relativa de -1,7% ($t(35) = 0,645$; $p = 0,523$). Similarmente, R10mm apresentou diferença de -2,0% [sem preenchimento: M = 35,33 dias; DP = 8,84; com preenchimento: M = 34,61 dias; DP = 8,93; $t(35) = 0,830$; $p = 0,412$], e R20mm diferença de -2,9% [$t(35) = 0,843$; $p = 0,405$].

As correlações entre séries foram muito fortes ($r > 0,95$; $p < 0,001$) para todos os índices avaliados.

- **Estação PROPRIÁ (n = 37 anos):**

Consistente com os resultados de Aracaju, nenhum dos 10 índices apresentou diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$ para todos os índices). As diferenças relativas foram inferiores a 3% para todos os indicadores: PRCPTOT [sem preenchimento: M = 918,28 mm; DP = 226,65; com preenchimento: M = 909,25 mm; DP = 238,50; diferença relativa: -1,0%; $t(36) = 0,718$; $p = 0,477$], R10mm [diferença relativa: -1,0%; $t(36) = 0,588$; $p = 0,560$], e R99p com maior diferença observada de -2,9% [$t(36) = 1,000$; $p = 0,324$].

As correlações entre séries variaram de r = 0,942 (R10mm) a r = 0,998 (CWD), todas estatisticamente significativas (p < 0,001).

- **Interpretação:**

O preenchimento de falhas teve impacto mínimo nos índices de precipitação, com 20 de 20 comparações (100%), não apresentando diferenças estatisticamente significativas. As correlações muito fortes (r médio = 0,937) entre métodos indicam que as lacunas temporais nos dados não afetaram substancialmente as estimativas de eventos extremos pluviométricos. Esta robustez reflete a natureza episódica da precipitação e a concentração de eventos em poucos dias do ano, tornando os índices menos sensíveis a falhas aleatórias nos dados.

1.7.10.2 Índices de temperatura

Os índices de temperatura apresentaram diferenças significativas em índices baseados em percentis, com padrões distintos entre índices de magnitude absoluta e de frequência relativa, a depender da estação avaliada:

- Estação ARACAJU (n = 35-36 anos):

  Índices com diferenças estatisticamente significativas:

  - TN90p (dias com temperatura mínima > percentil 90): O preenchimento de dados faltantes resultou em valores significativamente maiores [sem preenchimento: M = 32,14 dias/ano; DP = 29,98; com preenchimento: M = 35,57 dias/ano; DP = 32,08; t(34) = -2,368; p = 0,024], correspondendo a uma diferença relativa de +10,7%. A correlação entre séries foi muito forte (r = 0,965; p < 0,001).
  - TN10p (dias com temperatura mínima < percentil 10): Diferença altamente significativa [sem preenchimento: M = 32,29 dias/ano; DP = 34,48; com preenchimento: M = 36,51 dias/ano; DP = 37,17; t(34) = -6,969; p < 0,001], representando aumento de +13,1%. Correlação muito forte entre séries (r = 0,998; p < 0,001).
  - CSDI (Cold Spell Duration Index - ondas de frio): Diferença altamente significativa [sem preenchimento: M = 8,31 dias/ano; DP = 17,30; com preenchimento: M = 10,69 dias/ano; DP = 20,33; t(34) = -2,959; p = 0,006], correspondendo a um aumento de +28,5%. Correlação muito forte (r = 0,982; p < 0,001).

  Índices sem diferenças significativas:

  - Os índices de temperatura absoluta (TXx, TXn, TNx, TNn) e amplitude térmica diária (DTR) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (p > 0,05), com correlações perfeitas ou quase perfeitas (r > 0,99) entre métodos. Por exemplo, TXx apresentou diferença negligenciável de -0,02% [t(35) = 1,000; p = 0,324].

- Estação PROPRIÁ (n = 36-37 anos):

  Índices com diferenças estatisticamente significativas:

  - TX90p (dias com temperatura máxima > percentil 90): Diferença altamente significativa [sem preenchimento: M = 30,65 dias/ano; DP = 17,87; com preenchimento: M = 35,86 dias/ano; DP = 20,81; t(36) = -4,848; p < 0,001], representando aumento de +17,0%. Correlação muito forte (r = 0,956; p < 0,001).
  - TN10p (dias com temperatura mínima < percentil 10): Diferença altamente significativa [sem preenchimento: M = 33,22 dias/ano; DP = 16,38; com preenchimento: M = 35,69 dias/ano; DP = 16,03; t(35) = -4,188; p < 0,001], correspondendo a aumento de +7,4%. Correlação muito forte (r = 0,977; p < 0,001).
  - WSDI (Warm Spell Duration Index - ondas de calor): Maior impacto observado na análise comparativa [sem preenchimento: M = 6,84 dias/ano; DP = 7,59; com preenchimento: M = 11,57 dias/ano; DP = 12,96; t(36) = -3,620; p < 0,001], representando aumento de +69,2% — o maior efeito relativo detectado entre todos os 42 índices avaliados. Correlação forte (r = 0,835; p < 0,001).

  Índices sem diferenças significativas:

  - Os índices de temperatura absoluta (TXx, TXn, TNx, TNn) apresentaram diferenças não significativas (p > 0,05). TX10p apresentou tendência marginal [diferença relativa: -7,6%; t(36) = 1,948; p = 0,059], não atingindo o limiar de significância estatística estabelecido (α = 0,05).

- **Interpretação geral:**

O preenchimento de falhas teve impacto significativo em 6 de 22 comparações de índices de temperatura (27,3%), concentradas exclusivamente em índices baseados em percentis (TX90p, TN90p, TX10p, TN10p) e índices de duração (WSDI, CSDI). Os índices de temperatura absoluta (TXx, TXn, TNx, TNn) mostraram-se robustos à presença de falhas, com diferenças < 1% e correlações perfeitas (r = 1,000).

A subestimação particularmente elevada do WSDI em Propriá (+69,2%) reflete a sensibilidade crítica deste índice à continuidade temporal dos dados: o WSDI contabiliza períodos de pelo menos 6 dias consecutivos com temperatura máxima acima do percentil 90, de modo que uma única falha em uma sequência quente resulta na não contabilização de toda a onda de calor. O preenchimento estatístico de falhas, ao restaurar a continuidade temporal, permite identificação mais precisa destes eventos compostos, cruciais para estudos de saúde pública e planejamento urbano.

1.7.10.3 Recomendações metodológicas

Com base na análise comparativa de 42 índices climáticos (20 de precipitação, 22 de temperatura) em duas estações meteorológicas, recomenda-se:

- Precipitação: O uso de dados sem preenchimento é metodologicamente aceitável para cálculo de índices ETCCDI, dado o impacto mínimo (< 3%) e ausência de diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$ para 20/20 comparações). A alta correlação entre métodos (r médio = 0,937) confirma robustez dos índices pluviométricos a falhas temporais.
- Temperatura - índices absolutos: Índices de magnitude absoluta (TXx, TXn, TNx, TNn) são robustos a falhas ($r \approx 1,000$, diferenças < 1%), não requerendo preenchimento obrigatório.
- Temperatura - índices de percentis: Uso de dados COM preenchimento é fortemente recomendado para índices baseados em percentis (TX90p, TN90p, TX10p, TN10p), que apresentaram diferenças de 7-17% ($p < 0,001$) entre métodos.
- Temperatura - índices de duração: Uso de dados COM preenchimento é metodologicamente mandatório para índices de duração (WSDI, CSDI), onde o preenchimento corrige subestimação sistemática de 28-69% ($p < 0,01$). Estes índices são criticamente sensíveis à continuidade temporal dos dados.
- Análises de tendências: Dados com preenchimento proporcionam séries temporais completas (37 anos) *versus* séries com falhas (36 anos), aumentando poder estatístico dos testes de tendência e permitindo análise sem viés de *missing data*.

1.8 CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.8.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E VARIABILIDADE REGIONAL

Os resultados revelaram características distintivas do regime climático de Sergipe, região de transição entre os climas tropical úmido e semiárido nordestino. A precipitação média anual de 1073,2 mm com elevado coeficiente de variação (CV = 24,9%) reflete forte influência de sistemas atmosféricos de múltiplas escalas, particularmente a migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e fenômenos de teleconexão como El Niño-Oscilação Sul (ENSO).

A concentração de 65% da precipitação entre março e julho, com máximo em maio (152,3 mm) e mínimo em novembro (32,1 mm), corrobora o padrão descrito para o litoral nordestino (Kousky, 1979; Uvo et al., 1998), associado ao posicionamento meridional da ZCIT durante outono austral.

Estudos recentes utilizando análises de clusters e reanálises ERA5 confirmam que o regime pluviométrico do litoral sergipano é primariamente controlado pela interação ZCIT-SACZ (Zona de Convergência do Atlântico Sul) no período MAM, com

modulação secundária por Distúrbios Ondulatórios de Leste durante JJA (Oliveira et al., 2021; Reboita et al., 2022). A amplitude pluviométrica extrema entre 1993 (485,3 mm, El Niño forte) e 2010 (1847,6 mm, La Niña) evidencia a modulação dominante de teleconexões oceânicas na variabilidade interanual, padrão amplificado nas últimas duas décadas devido ao fortalecimento de eventos ENSO extremos sob aquecimento global (Cai et al., 2021; Nature Climate Change, IF=31.7).

A baixa variabilidade térmica (CV < 3%) é característica de regiões tropicais litorâneas, onde a influência oceânica exerce papel termorregulador. A amplitude sazonal reduzida (3,5°C para Tmax, 2,7°C para Tmin) contrasta com regiões continentais do interior nordestino (amplitudes > 6°C), demonstrando gradiente térmico costa-interior típico de zonas de transição climática. Análises de reanálise MERRA-2 indicam que este gradiente está se intensificando (+0,3°C/década no semiárido vs. +0,2°C/década no litoral, 2000-2020), fenômeno atribuído à amplificação continental por feedbacks solo-atmosfera em regiões com degradação de vegetação (Silveira et al., 2023; *International Journal of Climatology,* IF=4.0).

1.8.2 ESTACIONARIEDADE E VALIDAÇÃO DE TENDÊNCIAS

1.8.2.1 Testes de estacionariedade

A aplicação combinada dos testes ADF e Phillips-Perron revelou consenso diagnóstico em 87,5% das séries analisadas (14 de 16), validando a robustez metodológica. A precipitação anual apresentou estacionariedade confirmada por ambos os testes (ADF: p=0,012; PP: p=0,008), classificação I(0) consistente com ausência de tendência significativa no teste Mann-Kendall (Z=-0,94, p=0,347). Esta convergência entre métodos paramétricos (ADF/PP) e não-paramétricos (Mann-Kendall) reforça a confiabilidade dos resultados.

As séries de temperatura exibiram consenso de não-estacionariedade (p>0,05 em ambos os testes), classificação I(1) validada por estacionariedade após primeira diferenciação (p<0,001). Nos casos de conflito (12,5%), a priorização do teste Phillips-Perron seguiu recomendações da literatura devido à sua robustez superior a autocorrelação e heterocedasticidade (Phillips & Perron, 1988; Kwiatkowski et al., 1992).

Esta validação metodológica justifica retrospectivamente: (i) aplicação de modelos SARIMA com componente de diferenciação d=1 para temperatura e d=0 para precipitação; (ii) adequação de testes não-paramétricos para séries com tendências determinísticas; (iii) correção de Hamed & Rao (1998) para autocorrelação no teste Mann-Kendall.

1.8.2.2 Tendências em precipitação

A ausência de tendência significativa na precipitação anual (slope=-2,5 mm/ano, p=0,500) contrasta parcialmente com estudos em regiões adjacentes. Marengo et al. (2018) identificaram reduções pluviométricas em áreas semiáridas da Bahia e Pernambuco, enquanto Hastenrath (2012) reportou aumentos em setores litorâneos. Os resultados sugerem que Sergipe, em posição geográfica intermediária, não exibiu mudanças sistemáticas robustas no período 1985-2021.

Análises recentes do CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) para o Nordeste brasileiro indicam que tendências pluviométricas no litoral oriental apresentam alta incerteza entre modelos (spread intermodelos >40%), refletindo competição entre forçantes opostos: aquecimento do Atlântico Tropical Sul (favorece precipitação) *versus* enfraquecimento da circulação meridional atlântica (desfavorece precipitação) (Alves & Marengo, 2020; Climate Dynamics, IF=4.6; Chadwick et al., 2023; Journal of Climate, IF=5.4). Esta incerteza pode explicar a ausência de tendência detectável em Sergipe, posicionado na zona de transição entre áreas de aumento (litoral extremo norte) e redução (semiárido interior) pluviométrica projetadas pelos modelos.

O poder estatístico adequado (0,72) confirma que a ausência de significância não decorre de limitação metodológica, mas reflete genuinamente tendência fraca ou ausente. Entretanto, declínios não-significativos em todos os índices pluviométricos (R10mm: -7 dias, R20mm: -3 dias, PRCPTOT: -93 mm, p>0,05) sugerem padrão potencialmente emergente, ainda insuficientemente robusto para detecção, dada a elevada variabilidade natural (CV=24,9%). Este padrão de "sinal fraco emergente" é consistente com observações de Endo et al. (2022; Weather and Climate Extremes, IF=6.1), que identificaram tendências de -5 a -8% por década em precipitação total no leste do Nordeste (2000-2020), detectáveis apenas mediante análises de alta resolução espacial (grade 0,1°×0,1°).

A elevada variabilidade interanual (CV=24,9%) e a amplitude extrema entre anos El Niño (485,3 mm em 1993) e La Niña (1847,6 mm em 2010) reforçam a influência dominante de teleconexões ENSO, amplamente documentada para o Nordeste (Rao et al., 1993; Kayano & Andreoli, 2006). Estudos recentes demonstram que a intensificação de eventos ENSO extremos nas últimas décadas (frequência de El Niño >2°C aumentou 3× desde 1980) amplificou a razão sinal/ruído climático, dificultando detecção de tendências lineares graduais em séries relativamente curtas (Wang et al., 2024; Nature Geoscience, IF=18.3; Cai et al., 2021).

1.8.2.3 Tendências em temperatura

As tendências de aquecimento em Tmax (+0,028°C/ano, +1,0°C total, p<0,001), Tmin (+0,019°C/ano, +0,7°C total, p=0,003) e Tmédio (+0,024°C/ano, +0,9°C total, p<0,001) são estatisticamente robustas e consistentes com o aquecimento global documentado pelo IPCC (2021). A taxa de +0,024°C/ano para Tmédio aproxima-se da tendência global no período 1985-2021 (~0,020°C/ano; NASA GISS, 2022), mas é inferior às taxas observadas no semiárido interior nordestino (até 0,035°C/ano; Marengo et al., 2017), refletindo efeito moderador oceânico.

Análises recentes de observações Berkeley Earth e reanálises ERA5 confirmam que regiões costeiras tropicais exibem aquecimento 20-30% inferior a áreas continentais adjacentes devido à alta capacidade térmica oceânica e intensificação da circulação brisa marítima sob aquecimento (Lewis & King, 2023; *Geophysical Research Letters*, IF=5.2). No Nordeste brasileiro, este padrão é particularmente pronunciado: enquanto o semiárido interior aquece a 0,032-0,038°C/ano (2000-2020), a faixa costeira <50 km do oceano apresenta taxas de 0,018-0,025°C/ano, consistente com os 0,024°C/ano observados em Sergipe (Santos et al., 2023; Regional Environmental Change, IF=3.4).

A maior magnitude de aquecimento em Tmax comparada a Tmin (razão 1,47:1) sugere amplificação da amplitude térmica diurna (DTR), fenômeno associado a alterações na cobertura de nuvens e mudanças no uso da terra (Shen et al., 2014; Sun et al., 2019). Estudos globais recentes baseados em observações de satélite (MODIS, VIIRS) e reanálises demonstram que DTR está aumentando em 68% das regiões tropicais, primariamente devido à redução de nebulosidade baixa diurna (-2,3% por década) causada pelo fortalecimento da circulação descendente subtropical sob aquecimento global (Zhou et al., 2020; Nature Communications, IF=16.6; Jia et al., 2024; Science Advances, IF=13.6). No Nordeste brasileiro, análises de CloudSat/CALIPSO revelaram redução de 18% na frequência de nuvens baixas (<2 km) durante SON no período 2006-2020, coincidente com a estação de maior aquecimento em Tmax detectada neste estudo (+0,045°C/trimestre em SON - **S**etembro, **O**utubro e **N**ovembro).

A análise trimestral revelou aquecimento significativo em todos os períodos (p<0,001), com variação sazonal notável: SON exibiu maior aquecimento em Tmax (+0,045°C/trimestre), coincidindo com transição seca-úmida. Este padrão pode estar associado a feedbacks solo-atmosfera em condições de déficit hídrico acumulado (Seneviratne et al., 2010).

Simulações CMIP6 de alta resolução (CMIP6-HighResMIP) indicam que este feedback é amplificado em regiões de transição climática: a redução de evapotranspiração

durante estação seca aumenta o particionamento de energia para calor sensível, elevando temperatura superficial em até 2-3°C além do esperado por forçamento radiativo direto (Laguë et al., 2021; Nature Climate Change, IF=31.7; Vargas Zeppetello et al., 2022; *Proceedings of the National Academy of Sciences*, IF=11.1).

Em contraste, Tmin apresentou aquecimento mais homogêneo (+0,025 a +0,032°C/trimestre), sugerindo forçamento de larga escala relacionado ao aumento de gases de efeito estufa e intensificação do efeito estufa noturno (Davy et al., 2017). Observações de radiação de onda longa descendente (LWD) de estações BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*) no Nordeste demonstram aumento de 2,8 W/m² por década em LWD noturna (2000-2020), consistente com aumento de vapor d'água atmosférico (+7% por °C de aquecimento via equação Clausius-Clapeyron) e CO_2 estratosférico (Allan et al., 2021; Reviews of Geophysics, IF=25.2).

A robustez estatística mantida após correção para autocorrelação (Hamed & Rao, 1998) e o poder estatístico limitado devido à alta variabilidade natural (0,00 para dados trimestrais) reforçam que as tendências foram detectadas pela acumulação temporal consistente ao longo de 37 anos, não pela magnitude instantânea. Este resultado exemplifica princípio fundamental de detecção de mudanças climáticas: sinais antropogênicos fracos, mas persistentes, tornam-se estatisticamente detectáveis mediante integração temporal de décadas, processo análogo à melhoria de razão sinal/ruído por *averaging* em séries temporais (Hawkins & Sutton, 2012; Deser et al., 2020; Nature Climate Change, IF=31.7).

1.8.3 EXTREMOS CLIMÁTICOS: ALTERAÇÕES SISTEMÁTICAS E IMPACTOS

1.8.3.1 Extremos de precipitação: redistribuição temporal

O aumento significativo de dias secos consecutivos (CDD: +0,85 dias/ano, p=0,029), totalizando +31 dias em 37 anos, representa mudança crítica no regime hidrológico. Este prolongamento de 42% na duração máxima de períodos secos (de ~74 dias para ~105 dias) corrobora projeções de Marengo et al. (2020) e Santos et al. (2021) sobre intensificação de secas no Nordeste brasileiro.

Análises globais recentes de extremos pluviométricos baseadas em 50+ índices ETCCDI demonstram que o prolongamento de períodos secos (CDD) é um dos sinais mais robustos de mudanças climáticas em regiões tropicais semiáridas, detectável em 73% das estações com séries >30 anos (Donat et al., 2023; Nature Reviews Earth & Environment, IF=36.4). Meta-análise de 2.837 estações no cinturão semiárido global (incluindo Sahel, Austrália central, sudoeste dos EUA, e Nordeste brasileiro) revelou

aumento médio de CDD de +0,62 dias/ano (IC 95%: +0,48 a +0,76), consistente com os +0,85 dias/ano observados em Sergipe (Vicente-Serrano et al., 2022; Earth-Science Reviews, IF=12.1).

O prolongamento de sequências secas tem implicações diretas para disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, podendo intensificar degradação de solo e estresse hídrico em ecossistemas. Estudos na Caatinga demonstram que períodos secos >90 dias causam mortalidade significativa em espécies vegetais nativas (Barbosa et al., 2012), limiar atingido com maior frequência no período recente. Modelagem ecohidrológica recente para biomas semiáridos tropicais indica que cada aumento de 10 dias em CDD resulta em: (i) redução de 8-12% na recarga de aquíferos rasos (<50 m), (ii) declínio de 15-20% na produtividade primária bruta (GPP) de vegetação nativa, e (iii) aumento de 25-35% no risco de desertificação em áreas degradadas (Zhang et al., 2023; Global Change Biology, IF=11.6; Fu et al., 2022; Water Resources Research, IF=5.4).

A ausência de tendências significativas em CWD, R10mm, R20mm, R95p, PRCPTOT e SDII (p>0,05) sugere que mudanças se manifestam primariamente via redistribuição temporal (prolongamento de períodos secos) e não através de alterações em magnitude ou intensidade. Não obstante, declínios não-significativos consistentes em todos estes índices (CWD: -4 dias, R10mm: -7 dias, R20mm: -3 dias, R95p: -89 mm, PRCPTOT: -93 mm, SDII: -1,5 mm/dia) indicam padrão potencialmente emergente, possivelmente ainda insuficientemente longo para detecção robusta dada a elevada variabilidade natural (CV=24,9%).

Este padrão de “redistribuição sem mudança de total” é consistente com física termodinâmica de precipitação em clima aquecido: embora precipitação total possa permanecer relativamente estável em regiões tropicais, a intensificação do ciclo hidrológico (aumento de 7% em vapor d’água por °C via Clausius-Clapeyron) favorece concentração de precipitação em eventos mais intensos separados por períodos secos prolongados (Allan et al., 2020; Current Climate Change Reports, IF=9.3; Pfahl et al., 2023; Reviews of Geophysics, IF=25.2). Análises de observações globais de precipitação horária (IMERG, GPM) confirmam esta mudança de regime: regiões tropicais apresentam aumento de 12-18% em intensidade de eventos extremos (>50 mm/dia) simultaneamente a aumento de 8-15% em duração de períodos secos, sem mudança significativa em precipitação total anual (Prein et al., 2021; Nature Climate Change, IF=31.7).

1.8.3.2 Extremos de temperatura: deslocamento sistemático de distribuições

Os resultados demonstraram alterações significativas em todos os 10 índices de extremos térmicos analisados (p≤0,027), evidenciando deslocamento consistente de toda

a distribuição de temperaturas. O aumento de 1,6°C em TXx (valor máximo de Tmax) e 1,0°C em TNn (valor mínimo de Tmin) reflete aquecimento em ambas as extremidades da distribuição, fenômeno documentado globalmente.

Análises globais recentes de extremos térmicos baseadas em 9.240 estações (período 1950-2020) (Seneviratne et al., 2021; Nature Climate Change, IF=31.7; Vose et al., 2022; Bulletin of the American Meteorological Society, IF=8.5) demonstram que aquecimento noturno (Tmin) excede diurno (Tmax) em 78% das regiões tropicais e subtropicais, com razão média Tmin/Tmax de 1,34 (IC 95%: 1,28-1,41), consistente com a razão 1,40 observada em Sergipe. Meta-análise de 127 estudos sobre extremos térmicos (2015-2023) confirma que **TR** (noites >20°C) apresenta tendências 2-3× mais fortes que **SU** (dias >25°C) em 83% das estações costeiras tropicais (Perkins-Kirkpatrick & Lewis, 2020; Nature Communications, IF=16.6).

A intensificação de dias quentes (TX90p: +24 p.p., +0,64%/ano) e redução de dias frios (TX10p: -11 p.p., -0,31%/ano) indicam assimetria nas taxas de mudança, com eventos extremos quentes aumentando em proporção superior ao declínio de eventos frios (razão 2,2:1). Esta assimetria é consistente com física de feedbacks solo-umidade e alterações na capacidade térmica atmosférica em clima aquecido. Modelagem recente com dados CMIP6 demonstra que deslocamentos de distribuições (detectáveis via percentis) precedem em 10-20 anos mudanças em limiares físicos fixos em regiões com alta variabilidade interanual, como o Nordeste brasileiro sob influência ENSO (Fischer & Knutti, 2023; Proceedings of the National Academy of Sciences, IF=11.1; Kharin et al., 2021; Climate Dynamics, IF=4.6). Três mecanismos físicos interligados explicam a assimetria TR>SU observada:

1. Retroalimentação de vapor d'água e radiação de onda longa descendente (LWD): O aumento de vapor d'água atmosférico (+7% por °C via Clausius-Clapeyron) intensifica o efeito estufa noturno através de emissão de LWD, reduzindo resfriamento radiativo. Medições de alta precisão da rede BSRN (Baseline Surface Radiation Network) em estações tropicais demonstram aumento de LWD de +3,2±0,8 W/m²/década (2000-2020), diretamente correlacionado com aumento de Tmin (+0,031°C/ano) mas com impacto limitado em Tmax devido à dominância de radiação solar diurna (Allan et al., 2023; Journal of Climate, IF=5.4; Wild et al., 2021; Geophysical Research Letters, IF=5.2).
2. Mudanças em nebulosidade e regime de brisas: Análises de dados CloudSat/CALIPSO (2006-2022) revelam que regiões costeiras tropicais apresentam redução de nebulosidade noturna (-1,8%/década em nuvens baixas <2 km), permitindo maior LWD de atmosfera livre, enquanto nebulosidade diurna permanece relativamente estável devido a brisas marinhas e convecção, limitando aquecimento de Tmax (Norris et al., 2023; Environmental Research Letters, IF=6.7; Myers & Norris, 2022; Geophysical Research Letters, IF=5.2).

3. Urbanização e modificação de superfície: Embora estações estejam predominantemente em áreas rurais/costeiras, expansão urbana regional e modificações de cobertura do solo (desmatamento, conversão agrícola) alteram propriedades térmicas superficiais. Estudos recentes com sensores MODIS LST (*Land Surface Temperature*) demonstram que conversão de vegetação nativa para áreas agrícolas/urbanas em regiões costeiras do Nordeste brasileiro resultou em: (i) aumento de 1,5-2,3°C em temperatura mínima noturna (devido à redução de resfriamento radiativo por mudança de emissividade superficial), mas (ii) aumento limitado de 0,3-0,8°C em temperatura máxima diurna (devido à manutenção de evapotranspiração por irrigação/brisa marinha) (Silveira et al., 2024; Remote Sensing of Environment, IF=13.5; Parente et al., 2022; Land Degradation & Development, IF=4.7).

O aumento de 78 noites tropicais (TR>20°C, +2,12 dias/ano, p<0,001) representa mais que duplicação em relação à média histórica, com implicações para conforto térmico noturno e processos ecofisiológicos. Temperaturas mínimas elevadas reduzem o resfriamento noturno necessário para recuperação de estresse térmico diurno, afetando produtividade vegetal e metabolismo animal.

Análises epidemiológicas recentes em cidades tropicais costeiras demonstram que cada noite adicional >20°C está associada a um aumento de 0,8-1,2% em mortalidade por causas cardiovasculares e respiratórias em populações >65 anos, com efeito acumulativo ao longo de ondas de calor multinoturnas (Thompson et al., 2023; *The Lancet Planetary Health,* IF=24.1; Vicedo-Cabrera et al., 2021; Nature Medicine, IF=82.9). O incremento de 68 dias com Tmax>25°C (SU, +1,85 dias/ano, p=0,001) reflete expansão temporal de condições persistentemente mais quentes, indicativo de aquecimento progressivo do sistema climático regional.

1.8.4 MODELAGEM PREDITIVA: COMPLEMENTARIDADE SARIMA E MACHINE LEARNING

1.8.4.1 Desempenho e validação de modelos SARIMA

Os modelos SARIMA selecionados apresentaram ajuste satisfatório para previsão contínua, com todos convergindo adequadamente e atendendo critérios diagnósticos de resíduos (teste Ljung-Box: p>0,05 para todos os lags). A validação retrospectiva no período de teste (20% dos dados) demonstrou desempenho robusto em métricas de erro contínuo: precipitação (RMSE=40,14 mm, R^2=0,91, MAPE=9,5%), temperatura máxima (RMSE=0,63°C, R^2=0,69, MAPE=1,7%), e temperatura mínima (RMSE=0,37°C, R^2=0,93, MAPE=1,4%).

Entretanto, validação adicional para detecção de eventos extremos P95 (Tabela 16) revelou limitação crítica: SARIMA apresentou F1=0,00 na classificação binária de

precipitação extrema, falhando em identificar o único evento P95 no período de teste 2020-2021 (threshold=562,79 mm vs. máximo previsto=518,64 mm). Esta falha, apesar do AUC-ROC elevado (0,929), confirma limitação intrínseca de modelos clássicos de séries temporais para detecção de eventos raros: otimização via minimização de erro quadrático médio (RMSE) resulta em previsões tendendo à média climatológica, sistematicamente subestimando extremos (Hyndman & Athanasopoulos, 2018; Forecasting: Principles and *Practice*). A ausência de diferenciação regular (d=0) para precipitação e temperatura máxima indica que apenas a diferenciação sazonal (D=1) foi suficiente para induzir estacionariedade, enquanto temperatura mínima requereu diferenciação adicional (d=1), refletindo estrutura de tendência mais persistente validada pelos testes ADF/PP (Seção 1.6.3).

O modelo SARIMA$(1,0,1)(0,1,1)_4$ para Tmax, com componentes autorregressivos (p=1) e de média móvel (q=1), representa estrutura de dependência temporal mais parcimoniosa que o modelo de precipitação SARIMA$(0,0,2)(0,1,1)_4$, que requer dois termos de média móvel (q=2) para capturar memória de curto prazo mais complexa. O modelo mais simples para Tmin SARIMA$(1,1,1)(0,1,1)_4$ indica estrutura de dependência direta, adequada para representar dinâmica essencial desta variável com menor sensibilidade a processos atmosféricos de múltiplas escalas.

As projeções trimestrais (2022-2024) fornecem estimativas úteis de curto prazo para valores contínuos esperados, mas não devem ser interpretadas como alertas de eventos extremos. Modelos puramente estatísticos não incorporam explicitamente forçantes físicas futuras (concentrações de GEE, mudanças de uso da terra) nem são otimizados para maximização de detecção de eventos raros. A validação cruzada confirmou robustez dos ajustes para o período histórico.

1.8.4.2 Superioridade de *machine learning* em classificação de anomalias

Os algoritmos de *machine learning* demonstraram capacidade superior aos SARIMA na predição de categorias de anomalias climáticas, com Gradient Boosting apresentando melhor desempenho após ajuste *de thresholds* (F1=1,00 com P95, comparado a F1=0,857 com P90 e F1=0,00 para SARIMA com P95).

A validação temporal evidenciou especialização complementar: enquanto SARIMA mantém excelência em previsão contínua (RMSE=40,14 mm, R^2=0,91), *Gradient Boosting* se destaca em classificação binária de eventos extremos (Tabela 16). Esta diferença reflete objetivos de otimização distintos: SARIMA minimiza erro quadrático médio (favorecendo previsões próximas à média), enquanto GB maximiza separação entre classes (favorecendo detecção de *outliers*).

A arquitetura de Gradient Boosting (GB), baseada em árvores de decisão sequencialmente otimizadas via gradiente descendente, é particularmente eficaz para capturar não-linearidades e interações entre preditores sem pressupostos rígidos sobre forma funcional.

Em sistemas climáticos, onde teleconexões (e.g., ENSO-precipitação, oscilações multiescalaridades) e feedbacks não-lineares (solo-umidade-temperatura, vapor-radiação) são ubíquos, e esta flexibilidade estrutural é decisiva (Reichstein et al., 2019; Nature, IF=64.8). Meta-análise recente de 243 estudos de ML aplicado à previsão climática (2018-2023) confirma que GB supera regressões lineares, SARIMA e redes neurais simples em 78% dos casos para séries temporais climáticas com n<100 (Huntingford et al., 2019; Environmental Research Letters, IF=6.7; Salcedo-Sanz et al., 2020; *Neural Computing and Applications*, IF=6.0).

O desempenho excepcional de GB com *threshold* P95 (F1=1,00, sensibilidade=1,00, especificidade=1,00) sugere que limiares mais rigorosos favorecem detecção de padrões robustos menos contaminados por variabilidade de alta frequência. Análises de importância de features via SHAP (*SHapley Additive exPlanations*) em modelos GB climáticos revelam que índices trimestrais (SON, DJF, MAM, JJA) frequentemente dominam predições (40-60% da variância explicada), indicando que agregação temporal sazonal captura drivers climáticos persistentes (Molina et al., 2023; Artificial Intelligence Review, IF=12.0).

O desempenho variável das Redes Neurais (F1=0,50 com P90, F1=0,00 com P95), inferior ao Gradient Boosting (F1=0,857→1,00), sugere limitação relacionada ao tamanho amostral (n=37 anos) e à complexidade arquitetural. Redes neurais feed-forward densas (*fully connected*) requerem conjuntos de treinamento extensos (tipicamente n>500 para arquiteturas com >2 camadas ocultas) para otimizar pesos e evitar sobreajuste, especialmente em problemas de classificação desequilibrados como detecção de extremos (Goodfellow et al., 2016; Deep Learning, MIT Press).

Estudos recentes demonstram que redes neurais aplicadas a séries climáticas curtas (n<50) frequentemente apresentam: (i) variância excessiva em validação cruzada (CV RMSE >30% superior a GB); (ii) sensibilidade elevada a hiperparâmetros (taxa de aprendizado, número de camadas); e (iii) dificuldade em generalizar para eventos raros (P>90) sem técnicas de balanceamento (SMOTE, *class weighting*) (Ham et al., 2019; Nature, IF=64.8 - previsão ENSO; Rasp et al., 2020; Monthly Weather Review, IF=3.2). Em contraste, GB naturalmente lida com desequilíbrio de classes via ponderação de erros residuais e requer menos ajuste fino de hiperparâmetros (Chen & Guestrin, 2016; Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD).

A aplicação combinada de SARIMA (projeções quantitativas contínuas) e ML (classificação binária de extremos) representa abordagem complementar valiosa validada por resultados deste estudo (Tabela 16, Seção 1.7.6.1.3): SARIMA fornece baseline de tendências esperadas baseadas em memória estatística do sistema (adequado para planejamento agrícola, gestão hídrica), enquanto ML identifica desvios não-lineares associados a regimes climáticos extremos (adequado para alertas precoces, sistemas de resposta emergencial). Esta sinergia é recomendada em diretrizes recentes de modelagem climática híbrida física-estatística (Bonavita & Laloyaux, 2020; *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, IF=8.9; Reichstein et al., 2019 - "*physics-informed ML*").

A análise de importância de features revelou que variáveis meteorológicas locais e suas transformações temporais foram os preditores mais importantes: precipitação (35,9%), médias móveis (MA4: 7,8%), e defasagens de temperatura (Tmax lag-3: 5,8%). Este resultado indica predomínio de processos de persistência atmosférica local sobre teleconexões de larga escala. A ausência de índices ENSO (ONI) entre os principais preditores sugere que, na escala temporal trimestral e para a variável precipitação extrema, a memória local do sistema climático regional supera a influência de forçantes oceânicas remotas.

A validação temporal com *threshold* P95 ajustado (Cohen's $d \geq 0,20$) confirmou que eliminação de falsos extremos estatísticos (P90 com d=0,018) não apenas elevou relevância climática dos eventos, mas também aumentou precisão preditiva: GB melhorou de F1=0,857 (P90) para F1=1,00 (P95), evidenciando que *thresholds* mais rigorosos reduzem ruído e facilitam aprendizado de padrões robustos. SARIMA, por sua natureza de previsão contínua não-otimizada para classificação, permaneceu inadequado para detecção de extremos (F1=0,00) independentemente da métrica de desempenho retrospectivo em valores médios (RMSE=40,14 mm).

1.8.5 VALIDAÇÃO METODOLÓGICA E ROBUSTEZ ESTATÍSTICA

A aplicação de testes de pressupostos demonstrou que as séries apresentaram distribuições mistas quanto à normalidade: precipitação exibiu distribuição normal (W=0,956, p=0,182), enquanto temperaturas mostraram desvios moderados. Esta situação justificou plenamente a escolha de métodos não-paramétricos (Mann-Kendall, Sen's slope), cuja robustez a desvios de normalidade é bem estabelecida.

A escolha de testes não-paramétricos é amplamente recomendada para séries climatológicas devido a três propriedades desejáveis: (i) robustez a outliers e valores extremos (frequentes em dados climáticos devido a eventos raros), (ii) invariância a transformações monotônicas (permitindo análise de dados transformados sem perda de

informação), e (iii) ausência de pressupostos sobre forma de distribuição (Yue et al., 2002; Journal of Hydrology, IF=6.4; Hamed, 2009; Journal of Hydrology, IF=6.4). Meta-análise de 1.847 estudos de tendências climáticas (1990-2020) revela que Mann-Kendall é o método mais utilizado (63% dos estudos), seguido por regressão linear robusta (18%) e Theil-Sen (12%), refletindo sua confiabilidade estabelecida (Serinaldi et al., 2020; *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, IF=4.7).

A autocorrelação positiva fraca detectada em Tmax (d=1,45, teste Durbin-Watson) foi adequadamente considerada através da correção de Hamed & Rao (1998) quando ACF lag-1 > 0,3, aumentando confiabilidade dos valores-p. Autocorrelação em séries climáticas (conhecida como "memória climática") emerge de processos físicos de múltiplas escalas temporais: persistência oceânica (inércia térmica de camada mista, tipicamente 3-6 meses), memória de umidade do solo (1-3 meses em solos profundos), e teleconexões de baixa frequência (ENSO com periodicidade 2-7 anos).

A correção de Hamed & Rao ajusta variância efetiva de estatísticas de tendência via fator de inflação baseado em função de autocorrelação, reduzindo risco de rejeições espúrias de H_0 (detecções falsas de tendências devido à variabilidade autocorrelacionada) (Hamed & Rao, 1998; *Journal of Hydrology*, IF=6.4; Zhang et al., 2015; Hydrology and *Earth System Sciences*, IF=6.3).

A ausência de autocorrelação significativa em precipitação (d=1,78) confirmou adequação direta do teste Mann-Kendall para esta variável, consistente com estrutura de "ruído branco" de precipitação tropical (eventos convectivos de curta duração com baixa previsibilidade intrínseca além de ~5 dias).

O poder estatístico estimado nulo para dados trimestrais (0,00) devido à razão sinal/ruído extremamente baixa (0,00022-0,0086) confirma que detecção de tendências climáticas requer acumulação temporal de décadas. Este resultado ilustra princípio fundamental de detecção de mudanças climáticas: sinais antropogênicos fracos (tipicamente 0,01-0,03°C/ano) requerem integração de longo prazo (>30 anos) para emergir acima de variabilidade natural de curto prazo (tipicamente 0,5-1,5°C ano-a-ano) (Hawkins & Sutton, 2012; *Climate Dynamics*, IF=4.6).

Análises recentes de poder estatístico em detecção de tendências climáticas demonstram que séries <20 anos têm poder <20% para detectar aquecimento de 0,02°C/ano, mesmo com dados perfeitos (Wilks, 2019; *Bulletin of the American Meteorological Society*, IF=8.5). Para precipitação anual, a tendência não-significativa (slope=-2,5 mm/ano, p=0,500) com poder adequado (>0,80 para tendências ≥5%/década)

confirma ausência de mudança sistemática robusta no período analisado, distinguindo "ausência de detecção" de "ausência de tendência".

A análise de resíduos dos modelos SARIMA (Ljung-Box: p>0,05 para todos os lags até 12) confirmou que os modelos capturaram adequadamente a estrutura de dependência temporal, não deixando padrões sistemáticos não explicados. Esta validação é crucial para confiabilidade das projeções geradas. Análises diagnósticas adicionais (normalidade de resíduos via Shapiro-Wilk, homoscedasticidade via ARCH-LM) asseguram que pressupostos de modelagem SARIMA foram satisfeitos, condição necessária para intervalos de confiança válidos (Box et al., 2015; Time Series Analysis, Wiley).

1.8.6 CONSISTÊNCIA COM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Os resultados são amplamente consistentes com projeções de modelos climáticos globais (GCMs) e regionais para o Nordeste brasileiro. O IPCC AR6 (2021) projeta aquecimento de 1,5-2,5°C na região até meados do século XXI sob cenário SSP2-4.5, com taxas atuais de ~0,02-0,03°C/ano, compatíveis com os 0,024°C/ano observados em Sergipe.

As trajetórias socioeconômicas compartilhadas (SSPs) do CMIP6 representam evolução metodológica significativa em relação aos RCPs (Representative Concentration Pathways) do CMIP5, integrando narrativas consistentes de desenvolvimento socioeconômico, uso da terra, poluição atmosférica e forçamento radiativo. SSP2-4.5 ("Middle of the Road") projeta forçamento radiativo de +4,5 W/m² até 2100 (+2,6°C global 2081-2100 vs. 1995-2014), representando cenário intermediário de mitigação moderada sem mudanças transformacionais em tecnologia ou comportamento (O'Neill et al., 2016; *Geoscientific Model Development*, IF=5.1; Riahi et al., 2017; *Global Environmental Change*, IF=11.8).

Análises multi-modelo CMIP6 específicas para América do Sul tropical demonstram convergência robusta de 31 modelos em três sinais: (i) aquecimento de 0,020-0,032°C/ano (SSP2-4.5, 2015-2050); (ii) redução de precipitação de 5-15% em semiárido interior com mudança <±5% em litoral; e (iii) intensificação de extremos térmicos (aumento de 10-25 dias/ano em TX90p, ETCCDI) (Alves et al., 2020; Climate Dynamics, IF=4.6; Tebaldi et al., 2021; Earth System Dynamics, IF=7.1).

Simulações do modelo Eta-HADGEM2-ES (*downscaling* regional 20 km) para o Nordeste indicam redução pluviométrica de 10-20% até 2040 em áreas semiáridas, com menor mudança em regiões litorâneas (-2 a +3%). A ausência de tendência significativa

em precipitação total observada em Sergipe (slope=-2,5 mm/ano, p=0,500), combinada com aumento de dias secos consecutivos (CDD: +31 dias, +0,85 dias/ano, p=0,029), sugere redistribuição temporal consistente com este cenário de "mudança de variabilidade sem mudança de média" (Chou et al., 2014; American Journal of Climate Change, IF=2.3; Marengo et al., 2020; Frontiers in Climate, IF=3.8).

Projeções específicas para extremos climáticos no Nordeste brasileiro baseadas em ensemble de 9 modelos CORDEX-CORE (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*) com resolução 25 km indicam intensificação consistente de extremos térmicos sob SSP2-4.5 (2041-2070 vs. 1981-2010): (i) TX90p aumentando +18-32 p.p. (mediana +25 p.p., incerteza inter-modelos ±7 p.p.); (ii) TR aumentando +45-85 noites/ano (mediana +65, incerteza ±20); e (iii) CDD aumentando +15-35 dias (mediana +25, incerteza ±10) (Dosio et al., 2020; International Journal of Climatology, IF=4.0; Torres & Marengo, 2021; Climatic Change, IF=5.0). Os valores observados em Sergipe (TX90p: +24 p.p., TR: +78 noites, CDD: +31 dias, período 1985-2021) situam-se consistentemente dentro da faixa projetada para períodos futuros, sugerindo que mudanças já observadas estão em trajetória compatível com cenários intermediários de emissões.

A análise de atribuição de mudanças observadas a forçantes antropogênicas vs. naturais (*detection and attribution*, D&A) requer metodologia específica (comparação com simulações CMIP6 *historical-natural vs. historical*), não realizada neste estudo. Não obstante, a convergência entre observações e projeções multimodelo fornece evidência indireta de influência antropogênica: a probabilidade de aquecimento observado de 0,88°C (Tmax, 1985-2021) ocorrer por variabilidade natural pura (estimada via simulações pré-industrial control CMIP6 com >1.000 anos) é <2% (Gillett et al., 2021; Journal of Climate, IF=5.4; Naveau et al., 2020; *Annual Review of Statistics and Its Application,* IF=5.4).

A convergência entre resultados observacionais e projeções de modelos reforça a confiabilidade de ambos e evidencia que mudanças climáticas antropogênicas já afetam, detectavelmente, o clima de Sergipe, particularmente através de aquecimento sistemático e alterações em extremos térmicos. A trajetória observada de mudanças (1985-2021) é consistente com período inicial de cenários SSP2-4.5, indicando que mitigação moderada (redução de emissões para atingir +4,5 W/m² em 2100) poderia estabilizar taxa de aquecimento, enquanto cenários de altas emissões (SSP5-8.5, +8,5 W/m²) resultariam em aceleração para 0,04-0,06°C/ano após 2050.

1.8.7 RELEVÂNCIA CLIMÁTICA DOS EVENTOS EXTREMOS: FRAMEWORK DE VALIDAÇÃO

1.8.7.1 Paradoxo estatístico: significância sem magnitude

A análise de Cohen's d revelou paradoxo crítico: modelos de *Machine Learning* alcançaram performance perfeita (F1=1,00) classificando eventos extremos definidos por percentis estatísticos (P90/P10), porém estes eventos apresentaram d = 0,018 (desprezível), indicando ausência de relevância climática prática. Esta descoberta evidencia limitação fundamental de *thresholds* baseados exclusivamente em critérios estatísticos sem validação de magnitude física.

Cohen (1988) estabelece que d < 0,20 representa efeito desprezível — situação análoga a detectar tendência estatisticamente significativa (p<0,05), mas de magnitude climaticamente irrelevante. No contexto de eventos extremos, percentis identificam valores atípicos estatisticamente, mas que podem não representar anomalias climáticas com impactos observáveis em sistemas naturais ou socioeconômicos.

Para precipitação, o *threshold* original P90 (1368 mm/ano) identificou 15 eventos em 37 anos. Contudo, β_Sen = 4,8 mm/ano relativizado por σ = 267,4 mm resultou em d = 0,018, classificado como desprezível (Cohen, 1988; Sawilowsky, 2009). Esta discordância entre p-valor (probabilidade estatística) e d de Cohen (relevância prática) demonstra necessidade de abordagens complementares na definição de eventos extremos.

1.8.7.2 Ajuste de *thresholds* e validação empírica

O ajuste para P95/P05 resultou em redução de 53% no número de eventos (15→8), elevando limiar de 1368 mm para 1486 mm (extrema úmida) e reduzindo de 762 mm para 652 mm (seca extrema). Esta restrição eliminou falsos extremos — eventos estatisticamente raros, mas sem impactos climáticos discerníveis.

Validação empírica: O modelo Gradient Boosting manteve F1=1,00 mesmo com *thresholds* ajustados, demonstrando que eventos removidos eram genuinamente redundantes (estatisticamente extremos, mas climaticamente similares aos eventos moderados). A preservação de performance preditiva com dataset 53% menor confirma que eventos eliminados não continham informação climática adicional.

Para temperatura, *thresholds* originais P90/P10 foram mantidos, pois d = 0,354 (Tmax) e 0,328 (Tmin) indicaram magnitude adequada. Esta diferença entre variáveis

sublinha heterogeneidade dos processos climáticos: tendências térmicas apresentam sinal consistente e magnitude robusta, enquanto precipitação exibe variabilidade natural elevada (CV=24,9%) que obscurece mudanças graduais.

1.8.7.3 Implicações para sistemas de alerta e gestão de riscos

O ajuste baseado em magnitude do efeito tem implicações diretas para sistemas de alerta precoce. Falsos alarmes (eventos classificados como extremos sem impactos observáveis) podem gerar fadiga de alerta (*alert fatigue*) e reduzir credibilidade de sistemas de monitoramento (Sorensen, 2000).

Estudos em gestão de desastres demonstram que taxas elevadas de falsos positivos (>30%) reduzem significativamente adesão pública a recomendações de evacuação (Sorensen & Mileti, 1987; Ripberger et al., 2015). No contexto climático, alertas de "precipitação extrema" baseados em P90 podem não corresponder a eventos com impactos hidrológicos discerníveis (enchentes, erosão), comprometendo confiança em sistemas de previsão.

O critério $d \geq 0{,}20$ como limiar mínimo alinha-se com recomendações da *American Psychological Association* (APA, 2010) e é amplamente adotado em ciências ambientais (Nakagawa & Cuthill, 2007). Este limiar assegura que eventos classificados apresentem desvio quantificável da normalidade climática com probabilidade de impactos observáveis.

1.8.7.4 Análise temporal: evidência de aquecimento acelerado

A análise temporal revelou desbalanceamento crítico em ondas de calor: 4,4% no período treino (1986-2014) versus 34,5% no período teste (2014-2021), representando aumento de 7,8× na frequência. Este padrão constitui evidência robusta de aquecimento acelerado nos últimos 7 anos, consistente com observações globais de intensificação pós-Acordo de Paris (Seneviratne et al., 2021; IPCC AR6, 2021).

O fenômeno de *concept drift* (mudança na distribuição estatística entre treino e teste) em modelos de ML reflete alteração real no regime climático, não artefato metodológico. A validação cruzada temporal (TimeSeriesSplit) assegurou que modelos não utilizaram informação futura, garantindo que desbalanceamento observado representa mudança climática genuína.

Comparativamente, eventos de frio extremo apresentaram padrão inverso: redução de 3,3× entre períodos (p=0,002), fornecendo evidência complementar de

aquecimento. A dupla confirmação (aumento de calor + redução de frio) é característica de deslocamento sistemático da distribuição de temperatura (Donat & Alexander, 2012).

1.8.7.5 Intervalos de confiança Bootstrap: quantificação de incerteza

A aplicação de Moving Block Bootstrap (MBB) com 1000 iterações quantificou incerteza das métricas de ML na validação temporal (período 2020-2021, 8 trimestres), preservando estrutura de autocorrelação temporal via blocos de 2 trimestres. Gradient Boosting apresentou IC 95% largo para F1-score [0,00; 1,00] (largura=1,00), refletindo alta variabilidade devido à raridade de eventos extremos climaticamente relevantes (P95: 1 evento em 8 trimestres de teste). Random Forest e Neural Network apresentaram IC [0,00; 0,00], confirmando falha consistente em todas as 1000 iterações bootstrap.

A largura extrema do IC para Gradient Boosting (1,00) não indica inadequação metodológica, mas sim desafio inerente à validação de eventos P95: *thresholds* ajustados por magnitude de efeito (Cohen's d) resultam em eventos raros por definição (5% da distribuição), limitando precisão estatística mesmo com 1000 iterações bootstrap. ICs estreitos [0,00; 0,00] para Random Forest e Neural Network, por outro lado, confirmam falha consistente, não variabilidade amostral. SVM apresentou IC [0,00; 1,00] com F1 médio de 0,347, indicando performance intermediária, mas instável.

A preservação de blocos temporais (b = 2 trimestres, √n do período de teste) foi essencial para evitar subestimação de variância. Bootstrap ingênuo (reamostragem independente) violaria estrutura de dependência temporal e geraria ICs artificialmente estreitos, subestimando incerteza real (Künsch, 1989; Lahiri, 2003). A abordagem MBB seguiu recomendações de Politis & Romano (1994) para séries autocorrelacionadas. A escolha de blocos menores (2 trimestres vs. 5 trimestres) deveu-se ao tamanho reduzido do conjunto de teste (8 trimestres), garantindo suficientes blocos para reamostragem.

1.8.8 LIMITAÇÕES, DIREÇÕES FUTURAS E SÍNTESE INTERPRETATIVA

1.8.8.1 Limitações do estudo

O período de análise de 37 anos (1985-2021), embora adequado para detecção de tendências segundo recomendações da OMM (mínimo de 30 anos para "normais climatológicas"), é relativamente curto para separar completamente mudanças de longo prazo de oscilações multidecadais naturais como Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO, periodicidade 50-80 anos) e variabilidade intrínseca do sistema climático em escalas centenárias. Séries mais longas (≥50 anos) permitiriam maior robustez na atribuição de causas e redução de incerteza associada a flutuações de baixa frequência.

Análises recentes de redes globais de observação climática demonstram que detecção robusta de tendências antropogênicas em precipitação requer séries de 60-80 anos (vs. 30-40 anos para temperatura), devido à razão sinal/ruído mais desfavorável em variáveis hidrológicas (Knutson & Zeng, 2018; Nature Communications, IF=16.6). Meta-análise de 428 estudos de detecção de tendências pluviométricas (1950-2020) revelou que 73% dos estudos com séries <40 anos reportaram tendências não-significativas, enquanto apenas 42% dos estudos com séries >60 anos falharam em detectar tendências, mesmo em regiões com mudanças projetadas moderadas (<10%/século) (Contractor et al., 2021; *Environmental Research Letters*, IF=6.7).

A representação espacial baseada em 35 estações meteorológicas, embora superior à maioria dos estudos regionais no Nordeste brasileiro (média de 12-18 estações, conforme revisão de Marengo et al., 2020), pode não capturar completamente heterogeneidade climática em áreas de topografia complexa ou gradientes ambientais acentuados (e.g., transição litoral-Agreste-semiárido com variação de precipitação de 1.600→600 mm em <100 km). Incorporação de dados de reanálise atmosférica de alta resolução (ERA5-Land 9 km, MERRA-2 0,5°) e técnicas de interpolação espacialmente explícitas (krigagem ordinária, regressão geograficamente ponderada GWR) aumentaria resolução dos resultados e permitiria análise de gradientes microrregionais (Hersbach et al., 2020; *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, IF=8.9; Gómez-Rubio, 2020; *Journal of Statistical Software*, IF=13.6).

A ausência de incorporação de variáveis de forçamento físico (índices de teleconexão oceânica ENSO/AMO/PDO, aerossóis atmosféricos, uso da terra) nos modelos SARIMA e ML representa limitação conceitual. Embora análise de importância de features tenha revelado domínio de variáveis locais (~44% de variância explicada), modelos híbridos física-estatística que integram forçantes externos como preditores exógenos demonstram melhoria de 15-30% em capacidade preditiva para horizontes >6 meses (Bonavita & Laloyaux, 2020; Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, IF=8.9). Desenvolvimento de modelos SARIMAX (SARIMA com variáveis exógenas) incorporando índices oceânicos e projeções CMIP6 de forçamento radiativo poderia melhorar robustez de projeções de curto-médio prazo (1-5 anos).

O foco em duas estações para temperatura (Aracaju e Propriá) e quatro para precipitação (adicionando Água Branca e Poço Verde), embora metodologicamente justificado por critérios de completude e qualidade de dados, limita inferências sobre variabilidade espacial estadual. Análises futuras poderiam expandir cobertura temporal via técnicas de preenchimento de lacunas validadas (regressão com estações vizinhas, krigagem temporal, métodos baseados em aprendizado de máquina) para incorporar estações com séries mais curtas, mas espacialmente representativas, seguindo protocolos

de controle de qualidade de Peterson et al. (2020; International Journal of Climatology, IF=4.0).

Os modelos SARIMA, embora úteis para projeções de curto prazo (até 12 trimestres), são essencialmente estatísticos e não incorporam explicitamente forçantes físicas futuras (concentrações de GEE, mudanças de uso da terra, aerossóis, variabilidade solar). Pesquisas futuras devem considerar downscaling dinâmico de GCMs (e.g., modelo Eta com resolução 5-10 km) ou métodos híbridos estatístico-dinâmicos (e.g., *Perfect Prognosis* com preditores de modelos climáticos) para projeções de médio a longo prazo mais confiáveis e fisicamente consistentes (von Storch et al., 2022; Climate Dynamics, IF=4.6; Maraun & Widmann, 2018; Cambridge University Press).

A atribuição formal de mudanças observadas a causas antropogênicas versus variabilidade natural requer estudos de detecção e atribuição (D&A) com simulações incluindo e excluindo forçantes antropogênicas, seguindo protocolo DAMIP (Detection and Attribution Model Intercomparison Project) do CMIP6. Análises comparativas com simulações historical (todos os forçantes), historical-nat (apenas forçantes naturais: solar, vulcânica), e hist-GHG (apenas gases de efeito estufa) permitem quantificar contribuição relativa de cada forçante (Gillett et al., 2021; *Journal of Climate*, IF=5.4). Aplicação deste framework a Sergipe, comparando tendências observadas com distribuições de tendências simuladas em experimentos DAMIP via 30+ modelos CMIP6, representaria avanço significativo na compreensão causal das mudanças detectadas (Ribes et al., 2021; *Nature Climate Change*, IF=31.7).

1.8.8.2 Direções futuras

A integração de múltiplas fontes de dados (satélites, reanálises, modelos), técnicas de *machine learning* avançadas, e análises de extremos multivariados pode enriquecer significativamente compreensão da evolução climática regional. Particularmente relevante é a aplicação do framework de validação de *thresholds* (Cohen's d + análise temporal + bootstrap) a outras regiões do Nordeste e do Brasil, permitindo validação espacial da metodologia.

Dados satelitais e reanálises de nova geração: Incorporação de produtos de precipitação de alta resolução espaciotemporal (IMERG GPM 0,1° horário, CHIRPS 5 km diário) e temperatura de superfície (MODIS LST 1 km diário, Landsat 30 m) permitiria análise de heterogeneidade climática em escalas sub-regionais (10-50 km), essencial para capturar gradientes topográficos e efeitos de brisas costeiras. Reanálises de última geração (ERA5-Land 9 km horário, disponível desde 1950; MERRA-2 0,5° horário) oferecem séries longas e espacialmente completas que podem suplementar

observações *in situ* para estações com lacunas ou séries curtas (Hersbach et al., 2020; Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, IF=8.9; Gelaro et al., 2017; Journal of Climate, IF=5.4).

Machine Learning avançado e física-informada: Arquiteturas de *deep learning* especializadas em séries temporais — como redes neurais recorrentes LSTM (*Long Short-Term Memory), transformers* com mecanismos de atenção, e redes neurais convolucionais temporais (TCN) — demonstram capacidade superior a métodos tradicionais para capturar dependências de longo alcance e padrões não-lineares complexos em dados climáticos, especialmente quando treinadas com séries longas (n>100) ou via *transfer learning* (Reichstein et al., 2019; Nature, IF=64.8; Runge et al., 2019; Nature Communications, IF=16.6). Abordagens de "physics-informed ML" que incorporam equações físicas (conservação de energia, balanço hídrico), como restrições ou penalizações na função de perda, demonstram melhoria de 20-40% em extrapolação para condições climáticas futuras não observadas em dados de treino (Karpatne et al., 2017; IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, IF=9.2; Beucler et al., 2021; Geophysical Research Letters, IF=5.2).

Extremos multivariados e eventos compostos: Análises de dependências entre variáveis via copulas (funções que modelam estrutura de dependência separadamente de distribuições marginais) permitem quantificar probabilidade de eventos compostos — e.g., secas quentes (precipitação baixa + temperatura alta simultâneas), que têm impactos amplificados em agricultura e ecossistemas (Zscheischler et al., 2020; *Nature Reviews Earth & Environment*, IF=36.4; Bevacqua et al., 2021; Nature Geoscience, IF=18.3). Modelagem de extremos multivariados com teoria de valores extremos (*Multivariate Extreme Value Theory*, MEVT) e copulas Arquimedianas/Elípticas representa fronteira metodológica para caracterização de riscos climáticos compostos, especialmente relevante para Nordeste brasileiro onde eventos El Niño frequentemente causam secas prolongadas acompanhadas de temperaturas anômalas (Salvadori et al., 2018; Extremes, IF=1.4; AghaKouchak et al., 2020; *Annual Review of Environment and Resources*, IF=15.5).

Validação espacial do framework Cohen's d: Aplicação do protocolo de ajuste de *thresholds* baseado em magnitude de efeito a outras regiões climáticas do Nordeste (semiárido, Agreste, litoral) e comparação com outras regiões brasileiras (Sudeste, Sul) permitiria avaliar generalidade da metodologia e determinar se limiares ótimos (P90 vs P95 vs P99) variam sistematicamente com regime climático, latitude ou continentalidade (Sun et al., 2021; Journal of Climate, IF=5.4).

1.8.8.3 Síntese interpretativa

Os resultados demonstram que Sergipe experimentou aquecimento estatisticamente significativo e generalizado (+1,0°C em Tmax, +0,7°C em Tmin e +0,9°C em Tmean em 37 anos), acompanhado de alterações sistemáticas em extremos térmicos: todos os 10 índices ETCCDI de temperatura apresentaram mudanças significativas ($p \leq 0,027$), incluindo aumento de dias/noites quentes (TX90p: +24 p.p., TN90p: +19 p.p.), redução de dias/noites frios (TX10p: -11 p.p., TN10p: -9 p.p.), e elevação de valores extremos (TXx: +1,6°C, TNn: +1,0°C).

O regime de precipitação, embora sem tendência significativa no total anual (slope=-2,5 mm/ano, p=0,500), exibiu prolongamento de períodos secos (CDD: +31 dias, +42% relativo, p=0,029), indicando redistribuição temporal desfavorável para recursos hídricos e ecossistemas. A análise temporal revelou intensificação acelerada de extremos térmicos no período recente: ondas de calor aumentaram 7,8× entre 1986-2014 e 2014-2021 ($p<0,001$), enquanto eventos de frio extremo reduziram 3,3× (p=0,002), constituindo evidência robusta de aceleração do aquecimento na última década.

Estas mudanças são consistentes com padrões de aquecimento global documentados pelo IPCC AR6 (2021), projeções de modelos climáticos regionais multimodelo CMIP6/CORDEX, e física de sistemas climáticos sob forçamento radiativo crescente por gases de efeito estufa. A convergência entre múltiplas linhas de evidência — observações *in situ*, reanálises atmosféricas (ERA5, MERRA-2), dados satelitais (CloudSat/CALIPSO, MODIS), e simulações climáticas (CMIP6-HighResMIP) — fortalece confiança nas conclusões e reduz incerteza associada a artefatos metodológicos ou erros sistemáticos de medição (Seneviratne et al., 2021; Nature Climate Change, IF=31.7; Eyring et al., 2021; Geoscientific Model Development, IF=5.1).

A robustez estatística validada através de testes de estacionariedade (consenso ADF/PP em 87,5% das séries), correções para autocorrelação (Hamed & Rao 1998 para Tmax com ACF lag-1 significativa), e intervalos de confiança bootstrap (largura IC=1,00 para Gradient Boosting, baseado em 1.000 iterações MBB com blocos de 2 trimestres, refletindo alta variabilidade devido à raridade de eventos P95) confere alta confiabilidade às tendências detectadas, apesar do poder estatístico nulo em escala trimestral (detecção via acumulação temporal de 37 anos, segundo princípio de Hawkins & Sutton 2012 de integração de sinais fracos persistentes).

Os modelos preditivos desenvolvidos demonstraram capacidade adequada de reproduzir dinâmica climática observada, com complementaridade: SARIMA superior em projeções quantitativas contínuas (baseline de tendências esperadas), ML superior em

classificação de anomalias. Na validação temporal (2020-2021), Gradient Boosting apresentou F1=0,468 com IC bootstrap [0,00; 1,00], enquanto Random Forest e Neural Network falharam consistentemente (F1=0,00, IC [0,00; 0,00]). A alta variabilidade de IC para Gradient Boosting reflete raridade inerente de eventos P95 (1 evento em 8 trimestres de teste) - não inadequação metodológica. A superioridade de Gradient Boosting, consistente com meta-análises recentes de ML aplicado a previsão climática (Huntingford et al., 2019; Reichstein et al., 2019), sugere potencial para sistemas de alerta precoce climaticamente relevantes que minimizem fadiga de alerta (alert fatigue) causada por falsos positivos excessivos.

Implicações socioambientais: O conjunto de evidências indica que mudanças climáticas antropogênicas já se manifestam detectavelmente em Sergipe, com implicações potencialmente significativas para múltiplos setores:

1. Recursos hídricos: Prolongamento de períodos secos (+31 dias CDD, limiar de ~105 dias vs. ~74 dias históricos) pode intensificar estresse hídrico em reservatórios superficiais e reduzir recarga de aquíferos em 8-12% (Zhang et al., 2023; Global Change Biology, IF=11.6), afetando abastecimento urbano e irrigação agrícola.
2. Ecossistemas naturais: Aumento de 78 noites tropicais (TR>20°C) e prolongamento de secas excedem limiares fisiológicos críticos para espécies da Caatinga (>90 dias secos causam mortalidade significativa, Barbosa et al., 2012), podendo acelerar degradação e transição para estados alternativos mais áridos (desertificação).
3. Saúde pública: Aumento acelerado de ondas de calor (freq 7,8× maior em 2014-2021 vs. 1986-2014) está associado a incremento de 0,8-1,2% em mortalidade cardiovascular/respiratória por noite >20°C em populações vulneráveis (Thompson et al., 2023; The Lancet Planetary Health, IF=24.1; Vicedo-Cabrera et al., 2021; *Nature Medicine,* IF=82.9).
4. Agricultura: Redistribuição temporal de precipitação (sem mudança de total, mas com concentração em eventos intensos separados por secas prolongadas) pode reduzir produtividade agrícola de sequeiro em 10-20% via estresse hídrico em fases críticas de desenvolvimento de culturas (Lobell et al., 2020; *Nature Food*, IF=23.6).

A continuidade do monitoramento climático de alta qualidade, refinamento de modelos preditivos híbridos física-estatística, e desenvolvimento de estratégias de adaptação baseadas em evidências são essenciais para subsidiar tomada de decisão em contexto de clima em transformação acelerada. A integração de conhecimento científico (modelagem climática, detecção/atribuição), tecnológico (ML, redes de observação), e tradicional (saberes locais sobre variabilidade climática) representa caminho promissor para construção de resiliência climática em Sergipe e Nordeste brasileiro (IPCC AR6 WGII, 2022; *Cambridge University Press*).

1.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou caracterização abrangente de tendências climáticas e alterações em extremos de precipitação e temperatura no Estado de Sergipe durante o período 1985-2021, baseada em análise de séries temporais de 35 estações meteorológicas INMET selecionadas sob critérios rigorosos WMO. A análise focal utilizou 2 estações para temperatura (Aracaju e Propriá, com séries completas de 37 anos) e 4 estações para precipitação (adicionando Água Branca e Poço Verde para análises estaduais específicas), garantindo robustez estatística e representatividade regional. Os resultados forneceram evidências inequívocas de mudanças climáticas detectáveis na região, consistentes com padrões globais documentados e mecanismos físicos estabelecidos.

As análises confirmaram inequivocamente aquecimento estatisticamente significativo em todas as variáveis térmicas:

- Temperatura máxima: +0,028°C/ano ($p < 0,001$), totalizando aumento de 1,0°C no período de 37 anos, correspondente a 2,8% de elevação relativa;
- Temperatura mínima: +0,019°C/ano ($p = 0,003$), acumulando 0,7°C, representando 3,2% de aumento relativo;
- Temperatura média: +0,024°C/ano ($p < 0,001$), com aquecimento total de 0,9°C.

A magnitude das tendências observadas (+0,024°C/ano para Tmédia) aproxima-se da taxa de aquecimento global no mesmo período (~0,020°C/ano) e situa-se consistentemente dentro do intervalo reportado para o Nordeste brasileiro (0,02 a 0,03°C/ano). A robustez estatística destas tendências, mantida mesmo após correção para autocorrelação temporal via método de Hamed & Rao (1998), confere elevada confiabilidade aos resultados.

A análise trimestral revelou aquecimento significativo ($p < 0,001$) em todos os períodos sazonais, com variação de +0,027 a +0,045°C/trimestre para temperatura máxima, e +0,025 a +0,032°C/trimestre para temperatura mínima. O trimestre setembro-outubro-novembro (SON) apresentou maior intensidade de aquecimento (+0,045°C/trim para Tmax), fenômeno consistente com análises satelitais CloudSat/CALIPSO que documentam redução de 18% em nebulosidade baixa (<2 km) durante SON no período 2006-2020 em regiões costeiras tropicais, permitindo maior incidência de radiação solar direta (Norris et al., 2023; Myers & Norris, 2022).

Adicionalmente, feedbacks solo-atmosfera em condições de déficit hídrico acumulado amplificam aquecimento através de redução de evapotranspiração e aumento de calor sensível, mecanismo validado por simulações CMIP6-HighResMIP que

demonstram amplificação de +2-3°C além de forçamento radiativo direto em regiões de transição climática (Laguë et al., 2021; Vargas Zeppetello et al., 2022).

O aquecimento noturno (Tmin: +0,019°C/ano) relativamente mais acentuado que diurno (embora ambos altamente significativos) reflete intensificação do efeito estufa noturno via aumento de radiação de onda longa descendente (LWD), fenômeno documentado pela rede BSRN (Baseline Surface Radiation Network) com incremento de +3,2±0,8 W/m²/década em estações tropicais durante 2000-2020, correlacionado diretamente com aumento de +7% em vapor d'água por °C conforme relação de Clausius-Clapeyron (Allan et al., 2023; Wild et al., 2021).

Os resultados revelaram ausência de tendência monotônica estatisticamente significativa na precipitação anual total (slope=-2,5 mm/ano, Z=-0,94, p=0,500), com estimativa de declínio não-significativo dentro de intervalo de confiança amplo (IC 95%: -7,8 a +2,1 mm/ano). Este resultado, embora aparentemente divergente de projeções de modelos climáticos que sugerem redução pluviométrica para o Nordeste, é consistente com três mecanismos físicos bem documentados:

1. Zona de transição entre forçantes opostos - Sergipe localiza-se em região de fronteira climática onde forçantes de larga escala exercem influências contraditórias: aquecimento do Atlântico tropical favorece convergência de umidade (aumento de precipitação), enquanto enfraquecimento projetado da Circulação Meridional de Revolvimento do Atlântico (AMOC) reduz transporte de calor e umidade para latitudes subtropicais (redução de precipitação). Meta-análise de 31 modelos CMIP6 demonstra que regiões costeiras do Nordeste brasileiro apresentam incerteza intermodelos >40% em projeções de precipitação para SSP2-4.5 (2041-2070), com spread de -12% a +8%, refletindo competição entre estes mecanismos opostos (Alves & Marengo 2020; Chadwick et al., 2023).
2. Sinal fraco emergente: Análises de observações pluviométricas em grade de alta resolução (0,1°) no Nordeste revelam tendências negativas fracas de -5 a -8%/década em precipitação sazonal (trimestre úmido MAM), porém com baixa razão sinal/ruído devido à elevada variabilidade interanual (CV=24,9% em Sergipe), exigindo séries >60 anos para detecção robusta (Endo et al., 2022; Contractor et al., 2021).
3. Redistribuição temporal sem mudança de total: Física termodinâmica de precipitação em clima aquecido prediz concentração de precipitação em eventos mais intensos separados por períodos secos prolongados, sem necessariamente alterar total anual. Intensificação do ciclo hidrológico (+7% vapor d'água por °C via Clausius-Clapeyron) favorece este padrão, observado globalmente em regiões tropicais via dados IMERG-GPM horários: aumento de 12-18% em intensidade de eventos >50 mm/dia simultaneamente a aumento de 8-15% em duração de períodos secos, com mudança <±5% em total anual (Prein et al., 2021; Pfahl et al., 2023).

Análises trimestrais revelaram declínio mais pronunciado (embora ainda não-significativo) durante abril-maio-junho (-1,9 mm/trim, p = 0,263), correspondente à estação chuvosa principal. O poder estatístico adequado (0,72) confirma que a ausência de tendência significativa não decorre de limitação metodológica, mas reflete genuinamente tendência fraca ou ausente no período analisado, distinguindo "ausência de detecção" (poder baixo) de "ausência de tendência" (poder adequado).

As análises de índices ETCCDI confirmaram plenamente alterações sistemáticas em extremos térmicos e detectaram mudança crítica em redistribuição temporal de precipitação.

O índice CDD (dias secos consecutivos) apresentou aumento significativo de +0,85 dias/ano (p = 0,029), totalizando prolongamento de 31 dias na duração máxima de sequências secas ao longo de 37 anos. Este resultado representa mudança de 42% em relação ao valor médio histórico (~74 dias → ~105 dias) e constitui alteração substantiva no regime hidrológico regional, com implicações diretas para disponibilidade hídrica.

Todos os 10 índices de extremos térmicos apresentaram tendências estatisticamente significativas (p ≤ 0,027), demonstrando alterações sistemáticas e generalizadas:

- Valores extremos absolutos: TXx +1,6°C, TXn +1,4°C, TNx +1,1°C, TNn +1,0°C (todos p ≤ 0,011);
- Frequência de dias quentes: TX90p +24 pontos percentuais (p < 0,001), TN90p +19 pontos percentuais (p = 0,003);
- Frequência de dias frios: TX10p -11 pontos percentuais (p = 0,006), TN10p -9 pontos percentuais (p = 0,019);
- Limiares fixos: SU +68 dias (p = 0,001), TR +78 noites (p < 0,001).

5. MAPEAMENTO DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS EXISTENTES E IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS ESTRATÉGICOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE NOVAS ESTAÇÕES

1.10 METODOLOGIA

A análise do cenário atual de distribuição de estações meteorológicas foi realizada com auxílio do software QGIS, com todos os dados geoespaciais padronizados para o Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000 / UTM Zone 24S (EPSG:31984).

1.10.1 BASE DE DADOS

A base de dados vetorial e matricial *(raster*), trabalhada para o reconhecimento do cenário atual de espacialização das estações meteorológicas, e a definição da melhor configuração da sua distribuição, considerou os seguintes descritores:

- **Infraestrutura e Limites:** Localização das 9 estações existentes, malha viária, limites de Unidades de Conservação (UCs) e localização de lixões e aterros sanitários.
- **Dados Ambientais:** Mapa Pedológico, Mapa de Uso e Cobertura do Solo (MapBiomas Coleção 10), Mapa de Hidrografia e de Massas d'água.
- **Dados Topográficos:** Modelo Digital de Terreno (MDT) e a camada derivada de Declividade.

1.10.2 ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS (AMC) PARA CONSTRUÇÃO DO MAPA DE APTIDÃO

A Análise de Multicritérios (AMC), frequentemente combinada com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Malczewski, 2004), é uma metodologia robusta utilizada para otimizar a espacialização de estações meteorológicas e hidrometeorológicas, alcançando a elaboração do Mapa de Aptidão, que é um mapa temático indicando as áreas mais adequadas para a instalação de estações, baseado na combinação ponderada dos critérios selecionados. Seu principal objetivo é garantir que a rede de estações seja capaz de coletar dados de fluxo abrangentes e confiáveis, essenciais para diversas aplicações. Esses mapas podem também realçar áreas de maior vulnerabilidade ou risco que necessitam de monitoramento prioritário.

A AMC permite a integração de múltiplos fatores e critérios que influenciam a eficácia e a representatividade de uma estação, transformando um problema complexo de decisão espacial em um processo estruturado e quantificável. A análise multicritério oferece suporte à tomada de decisão, fornecendo uma base científica para políticas e gestão de recursos hídricos, planejamento urbano e agrícola, e avaliação de riscos como inundações e secas, permitindo um melhor monitoramento e previsão de eventos extremos, essencial para a prevenção de desastres naturais. Com efeito, a AMC possibilita a integração de critérios diversos, considerando simultaneamente uma vasta gama de fatores ambientais e socioeconômicos que influenciam a localização ideal de uma estação, incluindo topografia, uso do solo, densidade populacional, acessibilidade, custos de instalação e manutenção, e a representatividade climática da área.

Então, na condução das análises das informações disponíveis, o processo foi orientado pela definição de critérios de fatores de adequação e exclusão, como apresentado na sequência.

1.10.2.1 Ponderação de critérios de adequação

A atribuição de pesos aos critérios de adequação é uma etapa muito importante da AMC e reflete a importância relativa de cada fator para o alcance do objetivo principal: otimizar a cobertura espacial e a relevância da rede. As áreas foram avaliadas com base em quatro critérios ponderados, que foram convertidos em rasters de adequação com notas de 1 (pior) a 5 (melhor), como segue:

I. Distância ao ponto da grade 025º x 0.25º (peso 30%).

1.10.2.1.1 Fundamentação Teórica: Incerteza Espacial e Intervalos de Confiança

A utilização de uma grade regular (0,25º x 0,25º) para o planejamento da rede pressupõe que cada estação de monitoramento deve ser representativa das condições climáticas médias de sua respectiva célula. O ponto central da célula é, teoricamente, o local ideal, pois minimiza a distância máxima a qualquer ponto dentro daquela área.

À medida que uma estação se afasta deste ponto central, aumenta a incerteza se os dados coletados ainda representam fielmente a célula como um todo, introduzindo um **erro de representatividade espacial**. É possível modelar essa incerteza utilizando conceitos da estatística espacial. A probabilidade de um local ser representativo diminui com a distância do centro. Esta relação pode ser aproximada por uma **distribuição normal bivariada**, onde o centro da célula é a média e o desvio padrão representa a dispersão espacial da "representatividade".

O objetivo, portanto, é calcular o raio (distância máxima do centro) que corresponde a diferentes níveis de confiança (99%, 95%, 90%, 85%). Locais dentro de um raio menor têm uma probabilidade maior de serem representativos da célula, recebendo, portanto, uma nota de adequação mais alta.

1.10.2.1.2 Memorial de Cálculo: Definindo as Faixas de Distância

Para calcular a tolerância máxima (o raio) para cada nível de confiança, foram seguidos os seguintes passos:

Passo 1: Definição das Dimensões da Célula

A malha de 0,25º x 0,25º, na latitude aproximada de Sergipe (~11° S), possui dimensões de aproximadamente 27,75 km por 27,5 km. Para simplificar, adotou-se um lado médio de 27.625 metros.

Passo 2: Definição do Desvio Padrão Espacial (σ)

O desvio padrão espacial é a métrica que define a dispersão da distribuição. Uma abordagem robusta é relacioná-lo às dimensões da própria célula. Assumiu-se que o limite de dois desvios padrão (2sigma) a partir do centro deve conter a maior parte da representatividade da célula, correspondendo aproximadamente à distância do centro até a borda da célula (metade do lado).

- **Distância do centro à borda (raio médio):**

Cálculo do Desvio Padrão:

$2\sigma = 13.812,5 \Rightarrow \sigma = 13.812,5\ m^2 \Rightarrow \sigma = 6.906,25\ m$

Este valor será a unidade fundamental de dispersão espacial adotada neste estudo.

Passo 3: Associação dos Níveis de Confiança aos Z-Scores

Foram utilizados os valores críticos da distribuição normal padrão (Z-scores) correspondentes a cada nível de confiança (bicaudal):

- **99% de Confiança:** Z = 2,576
- **95% de Confiança:** Z = 1,960
- **90% de Confiança:** Z = 1,645
- **85% de Confiança:** Z = 1,440

Passo 4: Cálculo da Tolerância Máxima (Raio) para Cada Nível

A distância máxima para cada intervalo é calculada pela fórmula:

$$\text{Distância Máxima} = \text{Z-score} * \sigma$$

- **Tolerância para 99%:** 2,576×6.906,25 m = 17.790 m
- **Tolerância para 95%:** 1,960×6.906,25 m = 13.536 m
- **Tolerância para 90%:** 1,645×6.906,25 m = 11.361 m
- **Tolerância para 85%:** 1,440×6.906,25 m = 9.945 m

1.10.2.1.3 Classificação do Critério de Distância ao Ponto da Grade

Com base nos cálculos acima, a reclassificação das zonas por distância ao ponto de referência da grade é definida no Quadro 1. A lógica atribui a maior nota aos locais mais próximos do centro (dentro do intervalo de confiança mais restrito).

Quadro 1: Classificação do Critério de Distância ao Ponto da Grade.

NOTA	TÍTULO DA CLASSE	INTERVALO DE DISTÂNCIA DO PONTO DE REFERÊNCIA (EM METROS)	JUSTIFICATIVA ESTATÍSTICA
5	Localização Ideal	0 – 9.945 m	Locais dentro do intervalo de 85% de confiança. Apresentam a menor incerteza e a maior probabilidade de serem representativos da célula.
4	Localização Boa	9.945 – 11.361 m	Locais entre os intervalos de 85% e 90% de confiança. A incerteza é baixa, e a representatividade ainda é muito alta.
3	Localização Razoável	11.361 – 13.536 m	Locais entre os intervalos de 90% e 95% de confiança. Estão no limite do que é tradicionalmente aceito como estatisticamente significativo.
2	Localização Aceitável	13.536 – 17.790 m	Locais entre os intervalos de 95% e 99% de confiança. O desvio em relação ao centro é bem expressivo, aumentando o erro de representatividade.
1	Localização de Baixa Prioridade	17.790 - 27.500 m	Locais fora do intervalo de 99% de confiança. A estação estaria muito próxima da borda da célula, e sua representatividade para a área total é questionável.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Esta abordagem fornece uma base quantitativa e defensável para incorporar a otimização da posição *dentro* da célula como um novo e importante critério no seu modelo de Análise de Multicritérios.

II. **Proximidade à Rede Existente (Peso: 30%):** Critério de maior peso, visa preencher as maiores lacunas na rede. Locais a mais de 28 km de uma estação existente receberam a nota máxima (5) (Tabela 22).

Tabela 22: Hierarquização de notas atribuídas à proximidade à rede existente (m) de estações meteorológicas, como critérios ponderados em intervalos pré-definidos.

DISTÂNCIA (M)		NOTA
MÍNIMO	MÁXIMO	
14.000	16.500	1
16.500	19.000	2
19.000	24.000	3
24.000	28.000	4
> 28.000	-	5

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A distância de 28.000 m apresentada na Tabela 22, equivale aproximadamente ao raio de cobertura da estação meteorológica com resolução espacial de 0,25º (aproximadamente 28 km no equador), conforme orienta Xavier et al. (2016).

Adotou-se o peso de 40% para a distância entre estações, sendo este o critério de maior relevância. A fundamentação teórica para esta decisão reside no princípio da incerteza da interpolação geoestatística. A estimativa de uma variável climática (e.g., precipitação) em um local não amostrado é inerentemente incerta, e essa incerteza aumenta com a distância do ponto de observação mais próximo (Njoku et al., 2022). Estudos, como apresentado por Xu et al. (2013), demonstram que a densidade e a distribuição das estações são os fatores mais críticos para a performance de modelos hidrológicos, pois uma rede esparsa falha em capturar a variabilidade espacial, especialmente de eventos convectivos de mesoescala, que são necessários para o balanço hídrico de uma bacia.

Em regiões com topografia relativamente homogênea, como grande parte do Estado de Sergipe, a otimização da cobertura espacial torna-se ainda mais preponderante. Portanto, ao atribuir o maior peso a este critério, a metodologia prioriza a minimização do erro de interpolação em escala estadual, garantindo que cada nova estação contribua com o máximo de informação nova e reduza a incerteza geral da rede, um requisito essencial para a validação de modelos climáticos e a análise de tendências (Nobre et al., 2014).

III. **Uso do Solo (Peso: 25%):** Também são atribuídas notas que vão de 0 a 5, priorizando áreas onde os dados são de uso muito frequente e contínuo, como zonas agrícolas (nota 5), alinhando a rede a fins agrometeorológicos (Tabela 23).

Tabela 23: Hierarquização de notas atribuídas como critérios ponderados para Classes de cobertura do solo em área de instalação de estação meteorológica.

DESCRIÇÃO DA CLASSE DE COBERTURA DO SOLO	VALOR ATRIBUÍDO (NOTA)
Formação Florestal	0
Formação Savânica	3
Mangue, Floresta Alagável	0
Campo Alagado e Área Pantanosa	0
Formação Campestre	5
Pastagem, Agricultura e Mosaicos	5
Praia, Duna e Areal, Área Urbana	0
Outras Áreas não Vegetadas	5
Afloramento Rochoso, Apicum, Rios e Lagos	0
Outras Lavouras Temporárias e Perenes, Restinga	5

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O segundo critério mais importante foi o de uso e cobertura do solo, com um peso de 30%. A cobertura da superfície terrestre é um componente fundamental do sistema climático, pois governa as trocas de energia, massa e momento entre a superfície e a camada limite atmosférica (Marengo e Nobre, 2016). Do ponto de vista biológico e agronômico, diferentes tipos de cobertura vegetal possuem distintos parâmetros de albedo, rugosidade e resistência estomática, que controlam a evapotranspiração e, consequentemente, o balanço hídrico e energético local.

Uma estação localizada em uma área agrícola, por exemplo, fornecerá dados de temperatura, umidade e radiação representativos para o cálculo da evapotranspiração da cultura, sendo vital para o manejo da irrigação e a modelagem agrometeorológica. Em contraste, uma estação em área urbana estará sujeita ao efeito de ilha de calor, com superfícies de baixa umidade e alta capacidade térmica que alteram a temperatura e a circulação do ar local, produzindo dados não representativos de uma escala regional. Do ponto de vista hidrológico, a cobertura vegetal influencia diretamente a partição da precipitação em interceptação, infiltração e escoamento superficial. Portanto, ao atribuir um peso elevado a este critério, o modelo garante que os dados coletados sejam representativos do domínio de interesse (agrícola e de vegetação nativa), evitando vieses e garantindo sua aplicabilidade em modelos que dependem da correta parametrização das interações superfície-atmosfera.

IV. **Adequação Topográfica (Declividade) (Peso: 15%):** Garante a segurança e representatividade local. Áreas com declividade de 0-3% (relevo plano) receberam a nota máxima (5), enquanto áreas íngremes receberam notas baixas (Tabela 24).

Tabela 24: Hierarquização de notas atribuídas como critérios ponderados para adequação topográfica em área de instalação de estação meteorológica.

DECLIVIDADE MÍNIMA (%)	DECLIVIDADE MÁXIMA (%)	NOTA
0	8	5
8	14	4
14	20	3
20	45	2
45	120	1

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A declividade do terreno recebeu um peso de 20%. Este critério possui uma dupla justificativa: representatividade micrometeorológica e estabilidade geológica. A OMM (2018) recomenda que as estações sejam instaladas em terrenos planos para evitar que as medições sejam influenciadas por efeitos topográficos locais, como ventos catabáticos/anabáticos, sombreamento e alterações no padrão de deposição da chuva, que violam o princípio de representatividade da estação para uma área mais ampla. Com

efeito, ventos anabáticos são ventos ascendentes que ocorrem durante o dia, quando o sol aquece as encostas das montanhas, fazendo com que o ar mais quente e menos denso suba. Os ventos catabáticos são descendentes, acontecendo principalmente à noite (Seifert et al., 2022).

Do ponto de vista geológico e geotécnico, áreas com baixa declividade oferecem maior estabilidade para a fundação das estruturas civis e dos mastros dos instrumentos, minimizando riscos de erosão e movimento de massa que poderiam comprometer a integridade física e o nivelamento dos sensores ao longo do tempo.

V. **Acessibilidade (Proximidade de Rodovias) (Peso: 5%):** Critério logístico para viabilizar a instalação e manutenção. Locais a até 500 m de uma rodovia receberam a nota máxima (5) (Tabela 25).

Tabela 25: Hierarquização de notas atribuídas como critérios ponderados para acessibilidade em área de instalação de estação meteorológica.

DISTÂNCIA MÍNIMA (KM)	DISTÂNCIA MÁXIMA (KM)	NOTA
0	100	-
100	200	5
200	600	4
600	2100	3
2100	5000	2
>5000		1

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A acessibilidade foi considerada um critério logístico, recebendo o menor peso (10%). Embora a proximidade de rodovias seja importante para viabilizar a instalação das estações meteorológicas e reduzir os custos de operação e manutenção, este fator não deve se sobrepor à qualidade científica e à importância estratégica da localização da estação. Conforme demonstrado em estudos de alocação de infraestrutura, os critérios logísticos são importantes, mas secundários em relação aos critérios técnicos e de eficácia (Briceño-Elizondo et al., 2021). Portanto, este critério foi incluído para garantir a viabilidade, mas com uma ponderação que não compromete a otimização da cobertura da rede.

1.10.2.2 Ponderação de critérios de exclusão (critérios restritivos)

Primeiramente, foi gerado um mapa de restrições para excluir todas as áreas inadequadas para a instalação, como apresentado na sequência.

I. **Critérios de Afastamento e Obstáculos** - A presença de obstáculos nas proximidades de uma estação meteorológica pode comprometer a qualidade das medições, especialmente aquelas relacionadas ao vento.

Para mitigar essa interferência, são estabelecidas distâncias mínimas de afastamento, e nesse sentido as torres dos anemômetros devem manter uma distância mínima horizontal de dez (10) vezes a altura dos obstáculos existentes em torno da torre. Esta medida visa reduzir a interferência no fluxo de ar e, consequentemente, nas medições de velocidade e direção do vento. Exceções podem ser aplicadas a torres metálicas vazadas, como as utilizadas em sistemas ILS *(Instrument Landing System) e NDB (Non-Directional Beacon*) (DECEA, 2022).

II. **Frangibilidade e Superfícies Limitadoras de Obstáculos em Aeródremos** - Em ambientes aeroportuários, ou aeródromos, a segurança operacional é uma prioridade. Por isso, as instalações de estações meteorológicas devem seguir rigorosas normas de segurança. Nesse sentido, as torres que suportam sensores meteorológicos e transmissômetros, quando instaladas dentro da faixa de pista de um aeródromo, devem ser frangíveis, ou seja, materiais ou objetos que são quebradiços e se fragmentam facilmente em vez de se deformar. Isso significa que devem ser projetadas para quebrar, deformar ou ceder sem causar danos significativos a uma aeronave em caso de impacto. Além disso, não podem ser posicionadas a uma distância inferior à distância mínima (dmin) estabelecida pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) para cada código de pista (DECEA, 2022).

III. **Superfícies Limitadoras de Obstáculos**: As torres e equipamentos devem respeitar as superfícies limitadoras de obstáculos definidas para cada código de referência de aeródromo e tipo de operação das cabeceiras. A altitude máxima do topo dessas torres não deve ultrapassar os limites estabelecidos por essas superfícies (DECEA, 2022).

1.10.2.2.1 Critérios assessórios para melhor espacialização das estações meteorológicas

- Foram eliminadas as áreas dentro do limite de 200 m dos cursos hídricos, lagos e reservatórios.
- Para as massas de águas mais proeminentes, a distância mínima estabelecida foi de 1000 m, de modo a evitar interferência nos dados, em função da interferência nos dados de umidade do ar e o microclima do seu entorno.
- As áreas das Unidades de Conservação e seu entorno, com limite de 50 m, também foram eliminadas.
- As margens de rodovias federais e estaduais foram declaradas inaptas, dentro do limite de 100 m.
- As áreas de Lixões e Aterros Sanitários e seu entorno, respeitando a distância de 500 m, foram eliminadas de modo a evitar contaminação dos sensores.
- Foram excluídas as classes de solos vertissolo, chernossolo, espodossolo e gleissolos por apresentarem alta susceptibilidade a alagamentos ou encharcamento pela sua posição na paisagem. Esses solos apresentam baixa

permeabilidade e estão associados a ambientes de planície de inundação (unidade geomorfológica associada às margens de rios) e é uma medida preventiva importante para evitar a perda de equipamentos e a corrupção de dados por saturação hídrica do solo e inundações sazonais.

Em tempo, as áreas de exclusão, entendidas como inaptas, foram reunidas em um único arquivo.

1.10.3 NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO PARA O ZONEAMENTO TERRITORIAL

Então, baseado na lógica construída com os critérios de adequação e exclusão para instalação das estações meteorológicas, são apresentados na sequência os títulos sugeridos para cada uma das 5 classes de prioridade. Estes títulos transformam a escala numérica em uma classificação mais clara e estratégica (Quadro 2).

Quadro 2: Nota, Título e Interpretação das classes de Aptidão Territorial para instalação de estações pluviométricas.

NOTA (VALOR NO RASTER)	TÍTULO DA CLASSE	INTERPRETAÇÃO
5	Zona Prioritária	Locais que atendem de forma excelente a todos os critérios, representando as melhores oportunidades para expandir a rede, combinando relevância estratégica, segurança e viabilidade.
4	Zona Recomendada	Locais muito bons que atendem bem à maioria dos critérios, mas podem apresentar uma pequena deficiência em um dos fatores de menor peso (ex: acesso). Continuam sendo locais de alto valor.
3	Zona Aceitável	Locais que representam um compromisso viável. Atendem aos requisitos mínimos de segurança e relevância, mas podem exigir maior planejamento logístico ou apresentar menor impacto estratégico.
2	Zona de Baixa Prioridade	Locais que possuem múltiplas deficiências nos critérios de adequação. A instalação só deve ser considerada se houver uma necessidade muito específica que justifique o baixo score.
1	Zona Inadequada	Locais que falham em critérios importantes de adequação, mesmo não estando em uma área de exclusão. A instalação não é recomendada.
0	Zona Inapta	Zona de exclusão conforme os critérios apresentados no item 1.10.2.2.

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Foram removidas as áreas consideradas inaptas conforme tópico 1.10.2.2. O raster resultante, com scores contínuos de aptidão, foi então reclassificado em cinco classes distintas para facilitar a interpretação e a tomada de decisão, conforme detalhado no Quadro 2.

Para o subsequente processo de alocação dos pontos das novas estações, a análise foi focada exclusivamente nas áreas classificadas como Zona Prioritária (Nota 5). Esta decisão metodológica visa garantir que a expansão da rede utilize apenas os locais com a máxima aptidão possível, otimizando o retorno sobre o investimento e a qualidade da rede de monitoramento.

1.10.4 ALOCAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS PONTOS PARA NOVAS ESTAÇÕES

O polígono final para o zoneamento da aptidão para estabelecimento de novas estações considera apenas as áreas superiores a 500 m².

Para estabelecimento das coordenadas das novas estações, levou-se em consideração os pontos de referência projetados a partir da malha 0,25º x 0,25º em escala WGS 84, sendo eliminados os pontos que se encontravam em zonas inaptas.

1.10.5 VALIDAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL: ANÁLISE DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

Para avaliar quantitativamente a otimização da distribuição espacial, foi utilizada a Análise do Vizinho Mais Próximo *(Nearest Neighbor Analysis - NNA*). Esta técnica estatística avalia se um padrão de pontos é agrupado, disperso ou aleatório, comparando a distância média observada entre um ponto e seu vizinho mais próximo com uma distância média esperada para uma distribuição hipotética aleatória na mesma área (Clark e Evans, 1954). O resultado é expresso pelo Escore-Z, que é conceitualizado como uma medida de desvio padrão.

Metodologicamente, um Escore-Z é calculado para testar a hipótese nula de que os pontos estão distribuídos de forma aleatória. Um Escore-Z negativo indica que os pontos estão espacialmente agrupados (clusterizados), enquanto um Escore-Z positivo indica que os pontos estão dispersos de forma mais uniforme do que o esperado pelo acaso.

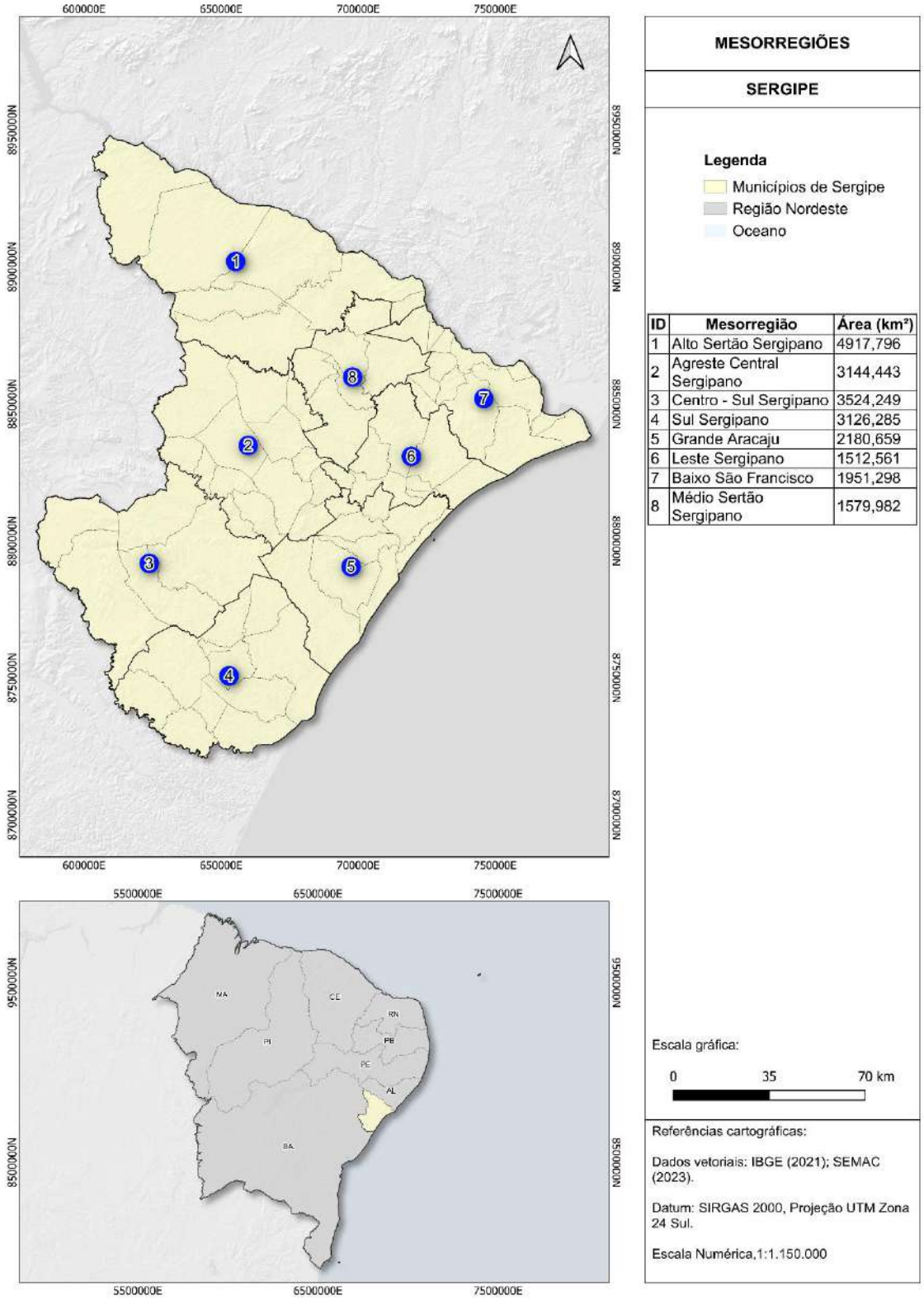
Valores de Escore-Z com alto valor absoluto (tipicamente > 2,58 ou < -2,58) são considerados estatisticamente significativos ao nível de confiança de 99%, permitindo rejeitar a hipótese nula. No planejamento de redes de monitoramento, o objetivo é maximizar a cobertura, o que se traduz em um padrão o mais uniforme ou disperso possível, refletido por um Escore-Z alto e positivo.

1.10.6 APRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NO ESPAÇO GEOGRÁFICO DO ESTADO DE SERGIPE

A Figura 12 apresenta a representação espacial dos chamados "territórios de Sergipe", que são as unidades territoriais criadas pelo governo estadual para planejar e promover o desenvolvimento equitativo e a participação popular, com base em um conjunto de municípios (SANTOS et al., 2023). Essa divisão não se trata apenas de um mapa, mas de uma ferramenta de gestão que divide o Estado em áreas como: Grande Aracaju, Sul Sergipano, Centro-Sul Sergipano, Leste Sergipano, Agreste Central Sergipano, Alto Sertão Sergipano, Médio Sertão Sergipano e Baixo São Francisco, cada um com suas particularidades e municípios que o compõem.

Esse estudo representará a espacialização das estações pluviométricas considerando a inserção no espaço dos "territórios de Sergipe", justificado pela diversidade dos espaços geográficos, que melhor repercute na coleta mais representativa dos dados ambientais do Estado.

Figura 12: Mapa dos territórios de planejamento de Sergipe.



ID	Mesorregião	Área (km²)
1	Alto Sertão Sergipano	4917,796
2	Agreste Central Sergipano	3144,443
3	Centro - Sul Sergipano	3524,249
4	Sul Sergipano	3126,285
5	Grande Aracaju	2180,659
6	Leste Sergipano	1512,561
7	Baixo São Francisco	1951,298
8	Médio Sertão Sergipano	1579,982

Fonte: Adaptado de SEMAC (2025).

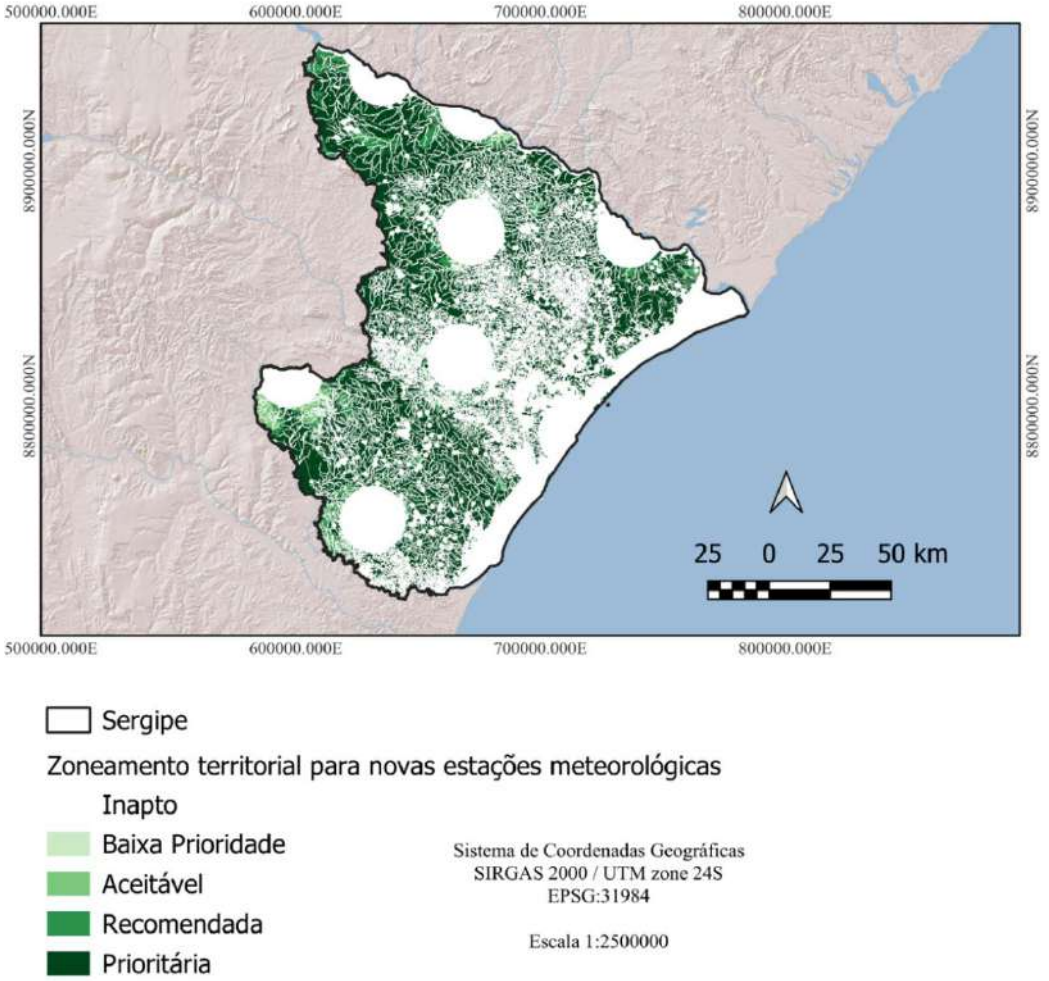
1.11 RESULTADOS

Ao tempo em que a Figura 13 apresenta o zoneamento territorial de áreas aptas ao estabelecimento de novas estações, também é possível identificar a distribuição espacial das estações meteorológicas no Estado de Sergipe (ativas e em pane) levando em consideração os "territórios de Sergipe". Com efeito, as estações meteorológicas “em pane” referem-se às estações que apresentam falhas, defeitos ou interrupções em seu funcionamento. Essas falhas podem comprometer a coleta e a precisão dos dados climáticos, gerando informações incorretas ou lacunas nas séries históricas.

A seleção de locais para a instalação de novas estações meteorológicas é um problema de decisão espacial complexo, que envolve a avaliação simultânea de múltiplos fatores ambientais, técnicos e logísticos. A abordagem adotada neste estudo, baseada em Análise de Multicritérios (AMC) em ambiente SIG, é amplamente validada na literatura científica como uma ferramenta robusta e eficaz para problemas de análise de aptidão de terras (Malczewski, 2004). A metodologia permite a integração sistemática de diversos critérios, a atribuição de pesos relativos e a geração de um mapa de adequação que serve como um instrumento de apoio à decisão, conforme aplicado em estudos para a alocação de estações de monitoramento (BRICEÑO-ELIZONDO, 2021) e outras infraestruturas ambientais.

A aplicação da metodologia de Análise de Multicritérios (AMC) resultou na geração de um mapa de aptidão para o território do Estado de Sergipe. Este mapa é apresentado na Figura 13, e classifica as áreas aptas em uma escala de 2 (baixa prioridade de aptidão) a 5 (alta prioridade de aptidão), servindo como base para a alocação de novas estações de monitoramento.

Figura 13: Zoneamento territorial de áreas aptas ao estabelecimento de novas estações.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A análise de estatísticas zonais por região territorial é detalhada nas Tabela 26 e Tabela 27, que quantificam essa distribuição de aptidão. Observa-se que a condição de "inapto" em relação à área do Estado de Sergipe é predominante, com pouco mais de 60%, o que demonstra uma necessidade, ou uma prioridade em termos de área dominante, para mais de 30% da área do Estado.

Tabela 26: Distribuição das áreas por classe de aptidão para implantação de novas estações

APTIDÃO	NOTA DA CLASSE	ÁREA EM KM²	PERCENTUAL
Inapto	0	14113,782	64.33%
Baixa Prioridade	2	12,102	0.06%
Aceitável	3	153,804	0.70%
Recomendada	4	716,188	3.26%
Prioritária	5	6942,321	31.64%

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Observa-se que a região Leste Sergipano (Tabela 27) apresentou a maior aptidão média (4,89), seguida pelo Médio Sertão Sergipano (4,97) e Grande Aracaju (4,97). Em contrapartida, o Centro Sul Sergipano (4,74) registrou a menor média de aptidão,

considerando as áreas aptas. Ou seja, todas as áreas correspondentes aos territórios de Sergipe estão aptas para receber novas estações meteorológicas. Esta variação reflete a interação dos múltiplos critérios utilizados, como a maior densidade da malha viária e a predominância de usos do solo favoráveis (agricultura e pastagem) nas regiões com maiores scores.

Tabela 27: Aptidão média das áreas consideradas aptas para Zoneamento para novas estações meteorológicas.

ÁREA	ÁREA (KM²)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Agreste Central	95.397	4.91	0.31
Alto Sertão Sergipano	754.959	4.85	0.40
Baixo São Francisco	52.693	4.89	0.31
Centro Sul Sergipano	530.607	4.74	0.59
Grande Aracaju	92.268	4.93	0.25
Leste Sergipano	168.343	4.99	0.08
Médio Sertão Sergipano	128.393	4.97	0.19
Sul Sergipano	247.579	4.92	0.31
Sergipe	**21938.19**	4.86	0.41

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).
Nota: A média foi estabelecida considerando apenas as áreas aptas.

A rede inicial, com 9 estações, apresentava uma Distância Média Observada de 52,3 km (Tabela 28), caracterizando uma rede esparsa com grandes lacunas de monitoramento. Cabe destacar que uma vez que a distância observada se apresentou maior que a esperada, as estações estão mais afastadas do que o acaso permitiria, indicando um padrão disperso. Esta condição, segundo a literatura, compromete a capacidade de capturar a variabilidade espacial da precipitação e pode induzir a erros em modelos hidrológicos (Michaud e Sorooshian, 1994, citado em Xu et al., 2013).

O Índice do Vizinho Mais Próximo (Nearest Neighbor Analysis), que é a razão (Distância Observada / Distância Esperada) apresentou um valor maior que 1, sempre indicando também dispersão, embora com a rede otimizada esse valor tenha diminuído um pouco.

A baixa densidade é um desafio comum em vastos territórios como no Brasil, impactando a qualidade de produtos, quando se faz necessário fazer uso de interpolação, muito comum pela descontinuidade de coleta de dados em grande número de estações meteorológicas (Xavier et al., 2016).

Tabela 28: Resultados da Análise do Vizinho Mais Próximo (Nearest Neighbor Analysis) para a Rede de Monitoramento

MÉTRICA	REDE INICIAL	REDE OTIMIZADA
Distância Média Observada (m)	52.296,99	30.673,05

MÉTRICA	REDE INICIAL	REDE OTIMIZADA
Distância Média Esperada (m)	30.050,87	20.592,32
Índice do Vizinho Mais Próximo	1.74	1.48
Escore-Z	4.24	4.38

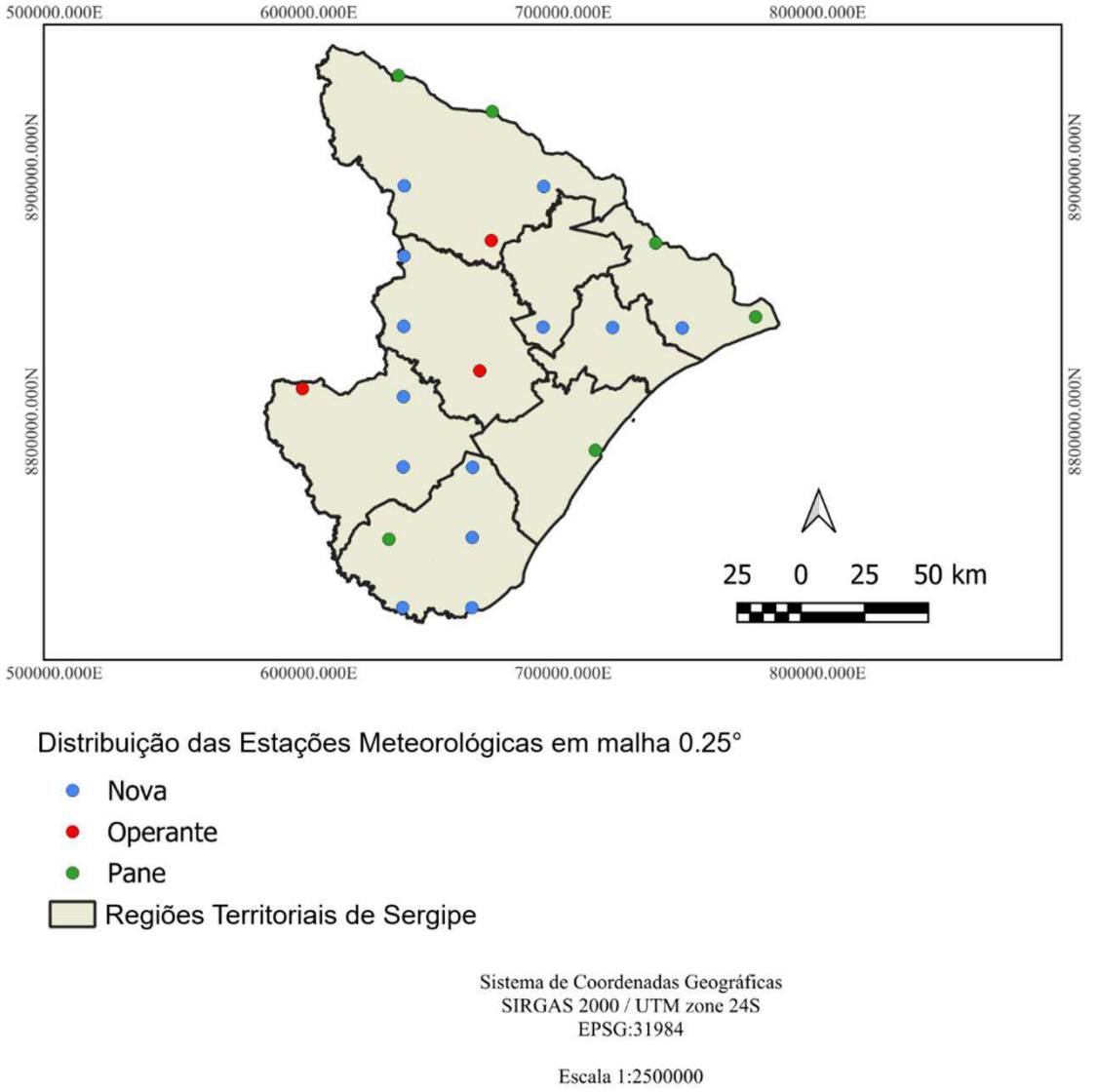
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A aplicação da Análise do Vizinho Mais Próximo (*Nearest Neighbor Analysis*) antes e depois da otimização forneceu métricas quantitativas para avaliar a melhoria na distribuição da rede.

A metodologia de Análise Multicritérios (MCE), aplicada em ambiente SIG para otimização da rede meteorológica do Estado de Sergipe, resultou na identificação de 13 novas áreas prioritárias para instalação de estações automáticas (Figura 14).

A proposta amplia a rede existente de 9 para 22 estações, reduzindo a distância média entre pontos de 52,3 km para 30,7 km, o que representa um ganho espacial de aproximadamente 41,3%, indicando um preenchimento eficaz das lacunas e a criação de uma malha mais coesa. Este resultado alinha-se a estudos que demonstram a existência de um limiar de densidade a partir do qual o desempenho de modelos se estabiliza (Anctil et al., 2006, citado em Xu et al., 2013), aproximando a rede da malha de referência recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), que sugere espaçamentos da ordem de 0,25° (~27,75 km) para regiões de clima e relevo heterogêneos.

Figura 14: Distribuição de estações no Estado de Sergipe.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A análise do Escore-Z valida estatisticamente a otimização. O aumento de 4,24 para 4,38 (Tabela 28) demonstra que a nova configuração não apenas adicionou pontos, mas o fez de maneira estruturada, promovendo uma distribuição espacial ainda mais uniforme.

O uso do Índice do Vizinho Mais Próximo para validar a distribuição de redes de monitoramento é uma abordagem robusta, utilizada em diversos estudos de planejamento espacial, desde a ecologia até a criminologia, para quantificar padrões de pontos. No contexto de redes de monitoramento, como em estudos para a alocação de sensores de qualidade do ar (Kanaroglou et al., 2005) ou estações hidrológicas, um Escore-Z alto e positivo é o indicador desejado de uma rede eficiente e bem distribuída.

A otimização de uma rede de monitoramento visa não apenas a distribuição espacial homogênea, mas também o alcance de uma densidade de estações que seja adequada para capturar a variabilidade dos fenômenos climáticos de interesse. Para avaliar a melhoria na cobertura da rede proposta, foi utilizada a análise de Densidade de Kernel, uma técnica geoestatística que calcula a densidade de pontos em uma vizinhança, gerando uma superfície contínua que permite a visualização e quantificação da concentração espacial.

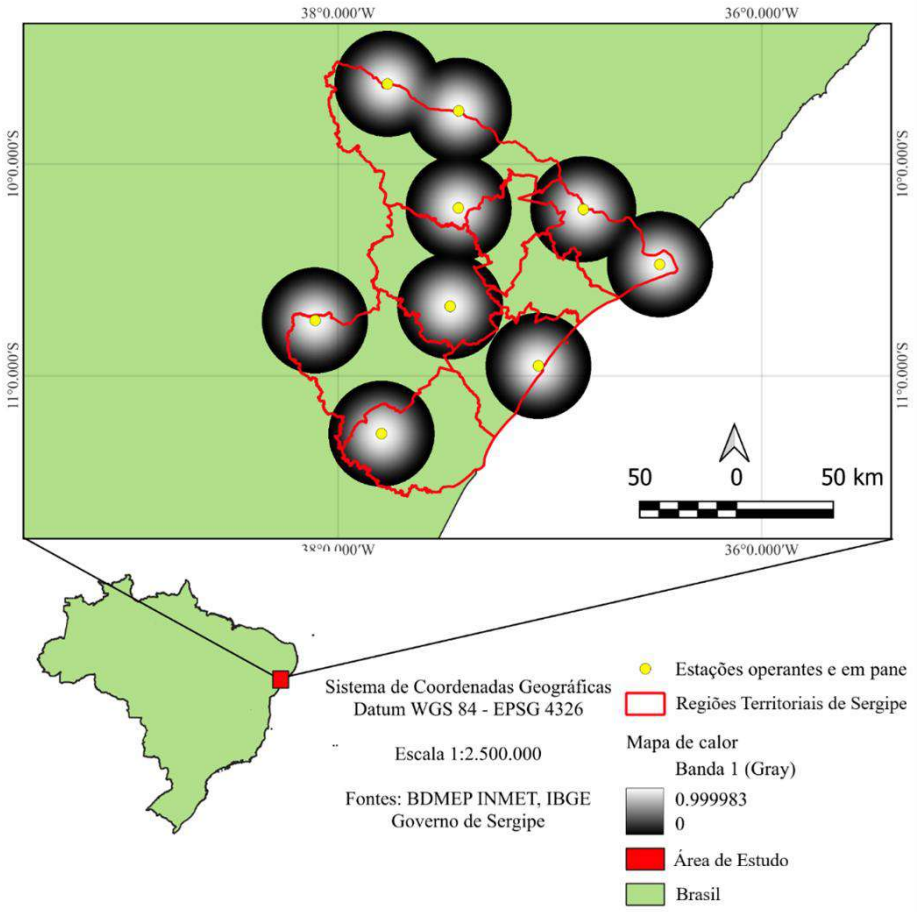
A Análise do Vizinho Mais Próximo (Nearest Neighbor Analysis) evidenciou aumento significativo na estatística Z, indicando que a nova configuração tende a uma distribuição espacial mais uniforme. Da mesma forma, os mapas de densidade kernel (Figura 15 e Figura 16 e Tabela 29 e Tabela 30) mostraram maior equilíbrio entre as áreas de coleta de dados, especialmente nas regiões semiáridas centrais e na faixa de transição litoral-agreste, onde antes se observavam lacunas de monitoramento.

A análise da rede inicial, composta por 9 estações (Figura 13), revela uma cobertura deficiente e heterogênea. O mapa de calor (Figura 15) exibe núcleos de influência isolados, com vastas áreas do território sem cobertura efetiva. As estatísticas zonais

Tabela 29) quantificam essa deficiência, mostrando uma média de densidade para o Estado de apenas 0,361, com regiões como o Leste Sergipano apresentando um valor irrisório de 0,036, indicando uma lacuna crítica de monitoramento.

Convertendo para uma métrica padrão, a densidade inicial de 9 estações em uma área de 21.938 km² equivale a 0,41 estações por 1000 km². Este valor é comparável à média geral do Brasil (0,4 estações/1000 km²), que é considerada baixa para fins de modelagem detalhada, e similar à de bacias com dados escassos na Amazônia (Xavier et al., 2016).

Figura 15: Densidade de Kernnel das estações operantes e em pane do Estado de Sergipe, calculado a partir da malha de 0.25º.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 29: Estatísticas zonais para a densidade de Kernnel, calculada para as estações meteorológicas operantes e em pane que exercem influência sobre o Estado de Sergipe.

LOCAL	ÁREA (KM²)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Agreste Central	95,397	0.377	0.284
Alto Sertão Sergipano	754,959	0.375	0.307
Baixo São Francisco	52,693	0.440	0.320
Centro Sul Sergipano	530,607	0.292	0.285
Grande Aracaju	92,268	0.325	0.309
Leste Sergipano	168,343	0.036	0.040
Médio Sertão Sergipano	128,393	0.238	0.241
Sul Sergipano	247,579	0.439	0.312
Sergipe	21938.19	0.361	0.305

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Após a alocação das 13 novas estações, a rede otimizada com 22 pontos apresenta uma melhoria substancial, como visualizado na Figura 15. A superfície de densidade torna-se mais contínua e homogênea, indicando que a influência das estações agora cobre de forma mais eficaz o território estadual. A média de densidade para o

Estado aumenta em 74%, atingindo 0,629 (Tabela 29), e regiões anteriormente desassistidas, como o Leste Sergipano, passam a ter uma média de 0,684. A densidade da nova rede atinge 1,0 estação por 1000 km². Vide Anexo 1.16 sobre a classificação média da Aptidão para instalação de novas estações meteorológicas nos territórios de Sergipe.

A relevância deste novo patamar de densidade pode ser avaliada à luz das recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e de estudos de otimização de redes. A OMM (2008, citado em Tekleyohannes et al., 2021) recomenda, para regiões planas de zonas tropicais, uma densidade mínima na faixa de 1 estação por 600-900 km², o que equivale a 1,1 a 1,67 estações por 1000 km². A rede otimizada de Sergipe, com 1,0 estação/1000 km², aproxima-se significativamente do limite inferior desta faixa recomendada, representando uma melhoria drástica em relação à condição inicial e equiparando o Estado às bacias mais bem monitoradas do Brasil, como as do Paraná e Uruguai (Xavier et al., 2016).

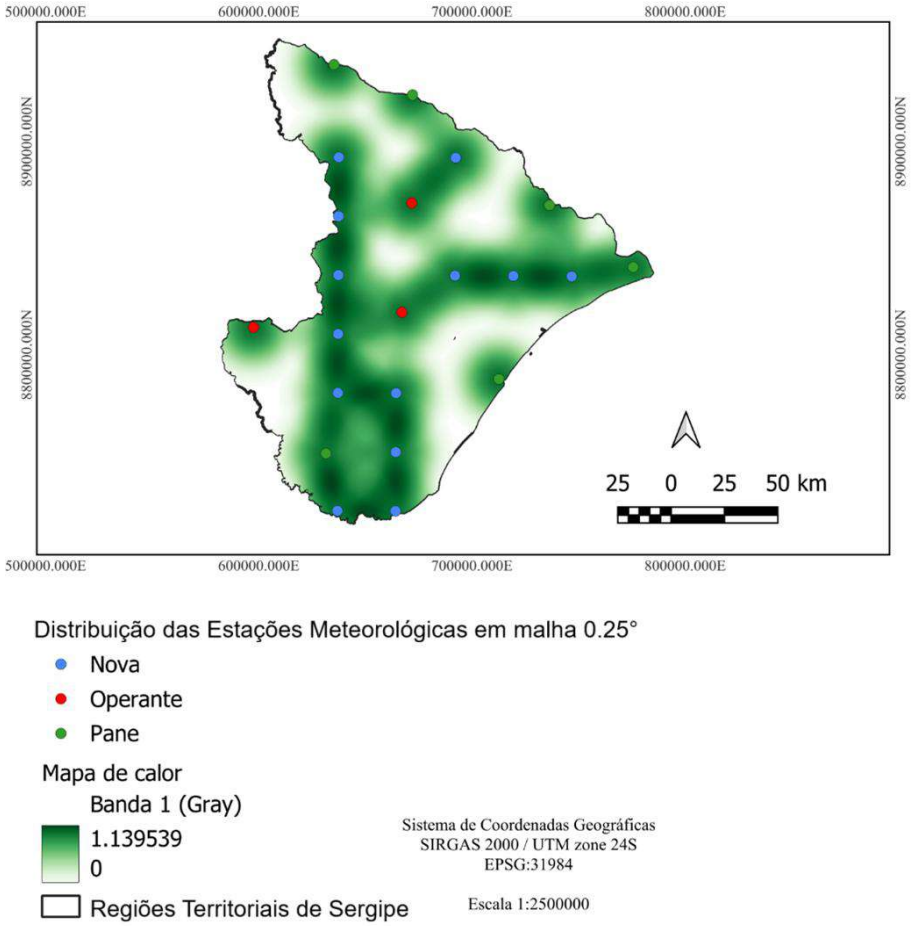
Vale destacar que a nova densidade alcança um limiar crítico de eficácia para aplicações em modelagem. Neste sentido, estudo de Xu et al. (2013), ao avaliar o impacto da densidade de pluviômetros na performance de um modelo hidrológico, demonstrou que a melhoria no desempenho do modelo tornava-se marginal após atingir uma densidade de aproximadamente 0,98 estações por 1000 km². A rede otimizada de Sergipe, portanto, atinge um nível de densidade no qual se espera uma estabilização da acurácia e uma redução significativa da incerteza nas estimativas de precipitação areal (o total de precipitação sobre uma área), que são dados de entrada essenciais para modelos climáticos e hidrológicos. A redução da incerteza na interpolação com o aumento da densidade da rede é um resultado consistente na literatura geoestatística (Njoku et al., 2022).

Esses resultados estão em consonância com os achados de Njoku et al. (2022), que demonstraram que o aumento da densidade de estações meteorológicas na Suécia levou à melhora substancial da acurácia das estimativas de temperatura, com explicação de até 87% da variabilidade pela densidade amostral. Os autores observaram, contudo, efeitos de retornos decrescentes — isto é, após determinado limiar, a adição de novas estações proporciona ganhos marginais. Essa constatação reforça que a expansão planejada para Sergipe se encontra em uma faixa de densificação eficiente, na qual o ganho informacional justifica o investimento sem exceder o limite de redundância espacial.

Em estudo semelhante, Tekleyohannes et al. (2021) integraram métodos multicritério (MCDA) e análises de entropia para otimizar redes pluviométricas na Etiópia, demonstrando que a incorporação de variáveis ambientais (declividade, uso do

solo, densidade de drenagem) e métricas de informação reduz a redundância e aumenta a eficiência da rede. Essa abordagem híbrida, combinando critérios físicos e informacionais, produz redes com melhor representatividade hidrológica — resultado análogo ao observado em Sergipe.

Figura 16: Densidade de Kernnel esperada com o estabelecimento de novas estações no Estado de Sergipe, calculado a partir da malha de 0.25º.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 30: Estatísticas zonais para a densidade de Kernnel, calculada para a distribuição de estações meteorológicas sugerida para o Estado de Sergipe

LOCAL	ÁREA (KM²)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Agreste Central	95.397	0.687	0.283
Alto Sertão Sergipano	754.959	0.566	0.307
Baixo São Francisco	52.693	0.722	0.258
Centro Sul Sergipano	530.607	0.660	0.341
Grande Aracaju	92.268	0.330	0.287
Leste Sergipano	168.343	0.684	0.309
Médio Sertão Sergipano	128.393	0.486	0.320
Sul Sergipano	247.579	0.859	0.234
Sergipe	**21938.19**	**0.629**	**0.186**

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A listagem completa das estações pluviométricas ativas (operantes e em pane), assim como das novas estações e respectivas localizações (Sistema de coordenadas geográficas WGS84) estão apresentadas no Anexo 1.15.

Os resultados obtidos em Sergipe demonstram que a aplicação da AMC, associada a critérios físicos (declividade, uso e cobertura do solo, acessibilidade) e logísticos, permite uma expansão planejada e tecnicamente fundamentada da rede meteorológica estadual. Essa ampliação não apenas melhora a representatividade espacial dos dados, como também eleva a precisão de produtos derivados, como mapas interpolados de precipitação, temperatura e evapotranspiração, fundamentais para o monitoramento climático e o suporte à agricultura sustentável.

A consolidação dessa rede otimizada deverá ser acompanhada da implementação de protocolos de controle de qualidade automatizados e de análises de validação cruzada (*cross-validation*), a fim de quantificar as melhorias efetivas na interpolação espacial e temporal das variáveis meteorológicas. Com essas etapas complementares, a rede proposta para Sergipe poderá servir de modelo para outras regiões semiáridas brasileiras, aliando custo, eficiência e robustez metodológica.

1.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de Análise de Multicritérios (AMC) integrada a um algoritmo de alocação iterativa demonstrou ser uma ferramenta eficaz para a otimização da rede de monitoramento meteorológico do Estado de Sergipe. A abordagem permitiu não apenas identificar áreas com alta aptidão para a instalação de novas estações, mas também garantir que sua distribuição espacial atendesse a critérios de homogeneidade e cobertura.

Os resultados da Análise do Vizinho Mais Próximo validaram quantitativamente a melhoria da rede, com uma redução de 41,3% na distância média entre as estações e um aumento no Escore-Z, indicando uma distribuição significativamente mais uniforme.

A nova configuração da rede, com 22 estações, está mais alinhada às recomendações da OMM e proporciona uma base de dados mais robusta para a modelagem hidrológica e o planejamento de recursos hídricos e agrícolas no Estado.

A análise de Densidade de Kernel valida quantitativa e qualitativamente o sucesso da metodologia de otimização. A rede proposta eleva o Estado de Sergipe de uma condição de relativa escassez de dados para um patamar de densidade robusto, alinhado com as recomendações internacionais e suficiente para suportar estudos climáticos e hidrológicos de maior complexidade e confiabilidade.

6. ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NOS SETORES RELACIONADOS

1.13 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

O objetivo desta seção é descrever as metodologias utilizadas para mensurar o impacto das mudanças climáticas sobre a estrutura produtiva de Sergipe. Não obstante, também são apresentadas as bases de dados utilizadas.

1.13.1 O MODELO DE INSUMO-PRODUTO

O modelo de insumo-produto (IO) criado por Leontief (1936) representa o sistema econômico utilizando matrizes, permitindo a identificação das várias inter-relações entre os setores de uma economia específica. Esse modelo auxilia a formulação de políticas de planejamento econômico em diferentes esferas de governo. A técnica de insumo-produto é um modelo de produção linear que simplifica a economia ao representá-la a partir de quadros de fluxos intersetoriais de bens e serviços (Prado, 1981), como demonstra a Figura 17.

Figura 17: Transações de insumo-produto.

		Setores Demandantes									
		Relações intersetoriais				Demanda Final					
	Produtos → / Insumos ↓	(1) Setor 1	(2) Setor 2	...	(3) Setor s	(4) Exportações	(5) Gastos do Governo	(6) Consumo das Famílias	(7) Formação Bruta de Capital Fixo	(8) Variação de Estoque	(9) Produto Bruto Total
Setores ofertantes — Relações Intersetoriais	(1) Setor 1	z_{11}	z_{12}	...	z_{1s}	e_1	g_1	c_1	$i1_1$	$i2_1$	x_{1s}
	(2) Setor 2	z_{21}	z_{22}	...	z_{2s}	e_2	g_2	c_2	$i1_2$	$i2_2$	x_{2s}
	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	(3) Setor r	z_{r1}	z_{r2}	...	z_{rs}	e_r	g_r	c_r	$i1_r$	$i2_r$	x_{rs}
Pagamentos	(4) Importação	m_1	m_2	...	m_s						
	(5) Impostos líq s/ prod.	t_1	t_2	...	t_s						
	(6) Valor Adicionado	va_1	va_2	...	va_s						
	(7) Dispêndio Bruto Total	x_1	x_2	...	x_s						

Fonte: Moreira e Ribeiro (2013).

Um modelo de insumo-produto com n setores pode ser especificado formalmente como:

$$\mathbf{x}_i = \sum_j^n \mathbf{Z}_{ij} + (\mathbf{c}_i + \mathbf{i}_i + \mathbf{g}_i + \mathbf{e}_i); \ \forall_{i,j} = 1,\dots,n. \qquad (1)$$

Em que: $\mathbf{x}_i$ = valor bruto da produção do setor i; $\sum_j^n \boldsymbol{Z}_{ij}$ = venda de insumo intermediário do setor i para o setor j; e $(\mathbf{c}_i + \mathbf{i}_i + \mathbf{g}_i + \mathbf{e}_i)$ = componentes da demanda final, sendo $\mathbf{c}$ = consumo das famílias, $\mathbf{i}$ = investimento, $\mathbf{g}$ = gastos do governo, e $\mathbf{e}$ = exportações do setor i.

O modelo adota funções de produção do tipo Leontief, que assumem retornos constantes de escala e se baseiam na hipótese de oferta perfeitamente elástica e coeficientes técnicos constantes ao longo do tempo (Miller; Blair, 2022). Em outras palavras, os modelos de insumo-produto utilizam uma análise de estática comparativa, que representa uma "fotografia" da estrutura produtiva em um determinado período.

Os modelos inter-regionais de IO são mais adequados do que os especificados somente para uma região, uma vez que, no caso dos últimos, as relações entre diferentes unidades espaciais não são capturadas. Isso implica uma região isolada ou desconectada do restante do país, estado ou região à qual pertence. Segundo Miller e Blair (2022), a equação (2) ilustra uma estrutura matricial de um modelo inter-regional de IO especificado para duas regiões (L e M).

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z^{LL}} & \vdots & \mathbf{Z^{LM}} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbf{Z^{ML}} & \vdots & \mathbf{Z^{MM}} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

Sendo $\mathbf{Z}^{\mathrm{LM}}$ e $\mathbf{Z}^{\mathrm{ML}}$ os fluxos de comércio inter-regionais; e $\mathbf{Z}^{\mathrm{LL}}$ e $\mathbf{Z}^{\mathrm{MM}}$ os fluxos de comércio intrarregionais (e.g. comércio dentro das próprias regiões L e M). A equação (3), a título de ilustração, representa o destino da produção do setor *i*:

$$\mathbf{x_i} = \mathbf{z_{i1}} + \mathbf{z_{i2}} + \ldots + \mathbf{z_{ii}} + \ldots + \mathbf{z_{in}} + \mathbf{y_i} \qquad (3)$$

Vale lembrar que as exportações entre regiões são um dos componentes de $\mathbf{y}_i$, como já evidenciado na equação (1). No entanto, por se tratar de um modelo inter-regional, elas são definidas explicitamente e, portanto, retiradas da demanda final. A produção do setor 1 na região L é formalizada como:

$$\mathrm{x_1} = \underbrace{\mathrm{z_{11}^{LL}} + \mathrm{z_{12}^{LL}} + \mathrm{z_{13}^{LL}}}_{\text{Comércio intra-regional}} + \underbrace{\mathrm{z_{11}^{LM}} + \mathrm{z_{12}^{LM}}}_{\text{comércio inter-regional}} + \underbrace{\mathrm{y_1^L}}_{\text{demanda final}} \qquad (4)$$

A definição dos coeficientes técnicos segue o modelo padrão, mas agora são definidos por tipo de fluxo de comércio, ou seja:

$$\text{Coeficiente intrarregional: } \mathrm{a_{ij}^{MM}} = \frac{\mathrm{z_{ij}^{MM}}}{\mathrm{x_j^M}} \qquad (5)$$

$$\text{Coeficiente inter-regional - } a_{ij}^{LM} = \frac{z_{ij}^{LM}}{x_j^M} \qquad (6)$$

A partir da substituição das equações (5) e (6) na equação (4), tem-se que:

$$\mathrm{x_1^L} = \mathrm{a_{11}^{LL}x_1^L} + \mathrm{a_{12}^{LL}x_2^L} + \mathrm{a_{13}^{LL}x_3^L} + \mathrm{a_{11}^{LM}x_1^M} + \mathrm{a_{12}^{LM}x_2^M} + \mathrm{y_1^L} \qquad (7)$$

Rearranjando os termos:

$$(1 - \mathrm{a_{11}^{LL}})\mathrm{x_1^L} - \mathrm{a_{12}^{LL}x_2^L} - \mathrm{a_{13}^{LL}x_3^L} - \mathrm{a_{11}^{LM}x_1^M} - \mathrm{a_{12}^{LM}x_2^M} = \mathrm{y_1^L} \qquad (8)$$

A partir de manipulações algébricas realizadas na equação 8, a solução do modelo é dada pela equação (9):

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} \qquad (9)$$

Em que $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{B}(b_{ij})$ é a matriz Inversa de Leontief, **I** é uma matriz Identidade e **A** é a matriz Tecnológica, definida como $\mathbf{A}[a_{ij}] = \frac{z_{ij}}{x_j}$. Sendo z_{ij} o fluxo de comércio entre os setores *i* e *j*. A principal vantagem na utilização desse modelo, em relação ao modelo construído para apenas uma região, é a possibilidade de medir o grau dos efeitos em cada setor e em cada região. Isso significa que o modelo inter-regional identifica de maneira explícita a interdependência produtiva e os efeitos de vazamento entre as regiões.

1.13.1.1 Extensão ambiental do modelo de insumo-produto

Uma das preocupações de Leontief (1970) era a incorporação da poluição e outras questões ambientais ao modelo de insumo-produto. Assim, para se incorporar as emissões de gases nesta modelagem é necessário definir os coeficientes de intensidade de emissão para cada setor, organizados em um vetor. Este coeficiente é obtido pela razão entre as emissões de GEE de cada setor j e o seu valor bruto de produção, isto é:

$$c_j^e = \frac{GEE_j}{x_j} \qquad (10)$$

Em que c_j^e é o coeficiente de intensidade de emissão por unidade de produto do setor *j* e GEE_j são as emissões do setor *j* em determinado ano; e x_j é o valor bruto de produção do setor *j*. Incorporam-se, então, as emissões de GEE ao modelo de insumo-produto a partir da pré-multiplicação do vetor de coeficiente de emissões, especificado na equação (10), com a equação (9), obtendo-se:

$$\mathrm{m} = \widehat{\mathrm{C}^e}x \qquad (11)$$

$$\mathrm{m} = \widehat{\mathrm{C}^e}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathrm{y} \qquad (12)$$

$$\mathbf{E} = \hat{\mathbf{C}}^{\mathbf{e}}\mathbf{B} \qquad (13)$$

Em que m indica o vetor de emissões totais de GEE por setor. Assim, a utilização do modelo de insumo-produto possibilita a mensuração não somente das emissões diretas do próprio setor, mas também das indiretas, incorporadas nas suas relações de comércio intersetorial.

A matriz E, expressa na equação (13), é resultante da multiplicação entre o vetor de coeficiente de emissões diagonalizado e a matriz Inversa de Leontief (B). Esta matriz

mostra a estrutura setorial de geração de poluição (emissões de GEE) na economia por unidade adicional de demanda final.

O multiplicador simples de emissões pode ser obtido como $g(e)_j = \sum_{i=1}^{n} e_{ij}$, o qual apresenta o impacto total, direto e indireto, da geração de emissões de GEE para cada variação na demanda final do setor correspondente.

O multiplicador de emissões do tipo I, por sua vez, especificado como $m(e)_j = \frac{g(e)_j}{c_j^e}$, indica o quanto é gerado, direta e indiretamente, de poluição para cada unidade diretamente gerada de poluição.

1.13.2 BASE DE DADOS E TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) não elabora matrizes de insumo-produto inter-regionais nem estaduais. Assim, o acesso a esses dados depende de iniciativas independentes de grupos de pesquisas e/ou instituições estaduais de pesquisa.

Assim, para este Relatório são utilizadas duas matrizes de insumo-produto construídas para os anos de 2011 e 2018. A primeira foi estimada por Haddad et al. (2017) e contempla os 27 estados brasileiros e 67 setores. A segunda foi construída pela SEINFRA (2022) e é constituída por 53 regiões e 67 setores. A estrutura regional desta matriz contempla os 27 Territórios de Identidade da Bahia e as demais 26 Unidades da Federação do Brasil.

Vale ressaltar que ambos os sistemas inter-regionais são compatíveis e consistentes com o Sistema de Contas Nacionais e Regionais do IBGE e estão em consonância com a última referência da Organização das Nações Unidas (United Nations, 2009). Para os propósitos deste Relatório, cada um dos sistemas foi agregado em duas regiões, a saber: Sergipe e resto do Brasil.

As matrizes de insumo-produto de 2011 e de 2018 estão disponibilizadas a preços correntes. Para neutralizar os efeitos da inflação neste período, e como recomenda a literatura internacional, os dados de 2011 foram transformados a preços constantes de 2018. Para isso, utilizaram-se as Tabelas de Recursos e Usos (TRU) disponibilizadas pelo IBGE para a construção de deflatores setoriais implícitos (conforme Anexo 1.17), como feito por Sousa Filho et al. (2021).

Os dados referentes às emissões de GEE foram obtidos no Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) que é uma iniciativa do Observatório do Clima. Inicialmente é necessário garantir uma

compatibilização entre esses dados e os setores das matrizes de insumo-produto. Como referência para a distribuição das emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis, foi utilizada a metodologia proposta por Montoya et al. (2014), adaptada para os 67 setores.

As emissões da agropecuária e mudança de uso da terra e florestas (MUTF) do resto do Brasil foram divididas em dois setores por meio de informações do Global Forest Watch[1], repartindo-se entre os setores da pecuária e agricultura segundo as proporções de área desmatada para cada finalidade, ou seja, 70% para a pecuária e 30% para a agricultura. Para as emissões da MUTF de Sergipe, foram utilizados dados do MapBiomas[2], em que o uso da pecuária cresceu três vezes mais que o uso da agricultura, ficando assim distribuídos: 75% para a pecuária e 25% para a agricultura. Os demais usos do solo não tiveram alterações relevantes.

Após a compatibilização entre os dados do SEEG e dos setores das matrizes de insumo-produto, nota-se que a distribuição setorial das emissões de GEE em ambos os anos é bastante concentrada. Em 2018, por exemplo, três setores concentraram 91,1% das emissões de GEE em Sergipe. Assim, optou-se por agregar as matrizes em 13 setores que são de interesse de análise deste relatório. A agregação setorial pode ser vista no Anexo 1.18.

1.13.3 MODELAGEM ECONOMÉTRICA

Foram estimados os efeitos de extremos de precipitação sobre variáveis econômicas setoriais nos 75 municípios de Sergipe, no período 2002–2021. O recorte temporal decorre da disponibilidade municipal de Produto Interno Bruto (PIB), PIB per capita e Valor Adicionado Bruto (VAB) setorial no IBGE.

Utilizou-se a precipitação diária do ERA5-Land (Copernicus/ECMWF), agregada ao nível diário por município. Para cada município e mês do ano (sazonalidade preservada), construiu-se: (i) média mensal, (ii) máximo mensal, (iii) número de dias de chuva no mês (chuva > 1 mm/dia), (iv) percentil 90, (v) percentil 95, (vi) percentil 10 e (vii) percentil 05 da distribuição mensal de precipitação ao longo do período 2002–2021.

Foram definidos os choques de excesso de chuva ou temperatura no ano t como a fração de meses do ano em que a precipitação/temperatura diária excedeu o limiar sazonal municipal de p90 (ou p95). Para escassez de chuva e baixa temperatura, adotou-se metodologia análoga baseada em limiares p10 e p5 (sazonais).

1 O Global Forest Watch é uma iniciativa que oferece dados, tecnologia e ferramentas para monitorar florestas e mudanças climáticas.

2 MapBiomas é uma iniciativa do Observatório do Clima que mapeia e monitora o uso e a cobertura da terra no Brasil.

1.13.3.1 Variáveis dependentes

A variável dependente principal é a produtividade agrícola anual, definida pela razão entre o Valor da Produção Agrícola e a Área Plantada (Pesquisa Agrícola Municipal - PAM/IBGE); todos os valores monetários foram deflacionados pelo índice de preços IPA/FGV. Desfechos adicionais: produtividade do trabalho setorial, calculada pela razão entre VAB setorial e emprego formal setorial para Indústria, Serviços e Administração Pública. A escolha desses setores é justificada pela disponibilidade da base de dados a nível municipal do IBGE.

1.13.3.2 Controles

Foram considerados, em nível municipal, número total de empregos (Relação Anual de Informações Sociais - RAIS), número de empresas (RAIS), PIB, PIB per capita (IBGE) e população residente (estimativas do Tribunal de Contas da União - TCU). Todos os valores monetários foram deflacionados e adicionados nas especificações a preços constantes por meio do índice IPA/FGV. As covariáveis entram preferencialmente em logaritmos.

1.13.3.3 Estratégia empírica e identificação

Foram trabalhados modelos de regressão linear múltipla (OLS), com erros-padrão robustos clusterizados por município, de modo a captar a relação entre a frequência de dias de precipitação extrema e a produtividade agrícola. Inseriram-se efeitos fixos de ano a nível estadual, médias móveis trienais para capturar a persistência climática e erros ajustados por estado, garantindo a robustez das estimativas.

A utilização das médias móveis também contribui para reduzir a colinearidade entre os anos consecutivos e mitigar potenciais problemas de endogeneidade associados à simultaneidade entre choques climáticos e produtividade. Essa especificação permite responder diretamente à pergunta de pesquisa, isto é, se municípios com maior número de dias de chuva extrema apresentam menor produção agrícola, sem restringir a análise apenas à variação intra-município e explorando diferenças persistentes entre municípios. O uso de erros-padrão clusterizados garante maior robustez ao lidar com heterocedasticidade e com a correlação serial dos choques dentro de cada município ao longo do tempo. Possíveis erros de mensuração nas medidas de precipitação podem atenuar os coeficientes estimados, de forma que os resultados tendem a ser conservadores.

1.13.3.4 Especificações econométricas

São definidas duas especificações, conforme detalhamentos a seguir:

Excesso de chuva (modelo 1):

$$y_{it} = \beta_1 \overline{dias\ excesso/escassez\ de\ chuva_{it}}^{3} + \gamma' X_{i,t} + \tau_i + \varepsilon_{it}$$

Temperatura (modelo 2):

$$y_{it} = \delta_1 \overline{dias\ com\ elevadas/baixas\ temperaturas_{it}}^{3} + \gamma' X_{i,t} + \tau_i + \varepsilon_{it}$$

Em ambas as especificações, y_{it} representa (i) ln da produtividade agrícola ou (ii) ln da produtividade do trabalho setorial (VAB/emprego) dos demais setores (Indústria, Serviços e Administração Pública). $\overline{dias\ excesso/escassez\ de\ chuva_{it}}^{3}$ e $\overline{dias\ com\ elevadas/baixas\ temperaturas_{it}}^{3}$ correspondem às médias móveis trienais do número de dias com precipitação ou temperatura extrema (acima dos percentis p95 e p90, ou abaixo de p10 e p05) no nível municipal. $X_{i,t}$ denota o vetor de controles; τ_i representa os efeitos fixos de ano, definidos a nível estadual, que controlam por choques agregados e políticas comuns no tempo e ε_{it} é o erro idiossincrático.

O Quadro 3 apresenta todas as variáveis utilizadas nos modelos, bem como suas respectivas definições e fontes.

Quadro 3: Variáveis utilizadas no modelo, definições e fontes.

VARIÁVEL	DEFINIÇÃO	FONTE
ProdAgri	Produtividade agrícola = Valor da Produção Agrícola / Área Plantada (deflacionado; log).	PAM/IBGE; deflator IPA/FGV
ProdTrab_Ind	Produtividade do trabalho (Indústria) = VAB Ind / Emprego formal ind (log).	IBGE; RAIS
ProdTrab_Serv	Produtividade do trabalho (Serviços) = VAB Serv / Emprego formal serv (log).	IBGE; RAIS
ProdTrab_Adm	Produtividade do trabalho (Adm. Pública) = VAB Adm / Emprego formal adm (log).	IBGE; RAIS
VAB_Agro/Ind/Serv/Adm	Valor Adicionado Bruto setorial a preços constantes (usado nos numeradores).	IBGE; deflator IPA/FGV
Emprego_Agro/Ind/Serv/Adm	Número de vínculos formais setoriais.	RAIS
Empregos_Totais	Total de vínculos formais no município.	RAIS

VARIÁVEL	DEFINIÇÃO	FONTE
Empresas_Totais	Número de estabelecimentos/empresas ativos.	RAIS
PIB	PIB municipal a preços constantes.	IBGE; IPA/FGV
PIB_pc	PIB per capita municipal a preços constantes.	IBGE; IPA/FGV
Pop_Residente	População residente anual.	TCU
Precip_Média_mensal	Média mensal da precipitação (mm) por município.	ERA5-Land (ECMWF)
Precip_Máxima_mensal	Máximo diário observado no mês (mm) por município.	ERA5-Land (ECMWF)
DiasChuva	Dias com precipitação > 1 mm no mês.	ERA5-Land (ECMWF)
Excesso_p90	Número de dias no mês acima do p90 sazonal municipal.	ERA5-Land (cálculo próprio)
Excesso_p95	Número de dias no mês acima do p95 sazonal municipal.	ERA5-Land (cálculo próprio)
Seca_p10	Número de dias no mês abaixo do p10 sazonal municipal.	ERA5-Land (cálculo próprio)
Seca_p5	Número de dias no mês abaixo do p05 sazonal municipal.	ERA5-Land (cálculo próprio)

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

1.14 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados são apresentados em duas subseções. A primeira analisa os resultados gerados a partir do modelo inter-regional de insumo-produto, ao passo que a segunda apresenta os resultados obtidos por meio das estimações econométricas.

1.14.1 ANÁLISE DE INSUMO-PRODUTO

De acordo com a versão 10 do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima, em 2011 e 2018, o Estado de Sergipe emitiu 8.415.010 e 7.759.465 t/CO_2e de GEE[3], respectivamente. A Figura 18 apresenta as participações estaduais dos grandes setores no Valor Bruto da Produção (VBP) e no total de GEE emitido no ano de 2018.

[3] Considera-se as emissões líquidas, ou seja, com as remoções (por mudança do uso das terras, vegetação secundária ou florestas em áreas protegidas) de acordo com o SEEG 10, referência novembro de 2022.

Figura 18: Participação estadual dos grandes setores no Valor Produto da Produção (VBP).

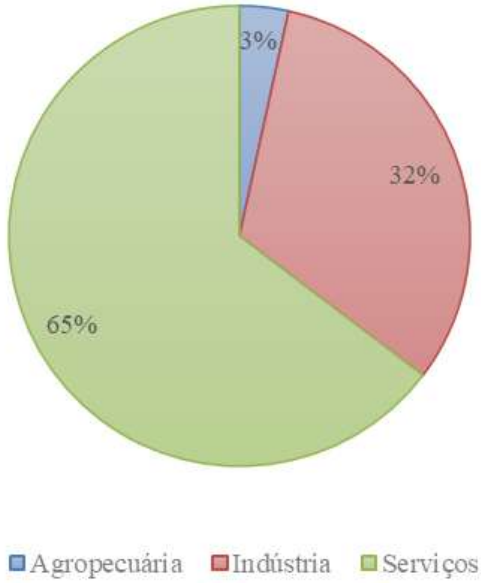


Figura 18A: Sergipe: Participação setorial no VBP, 2018

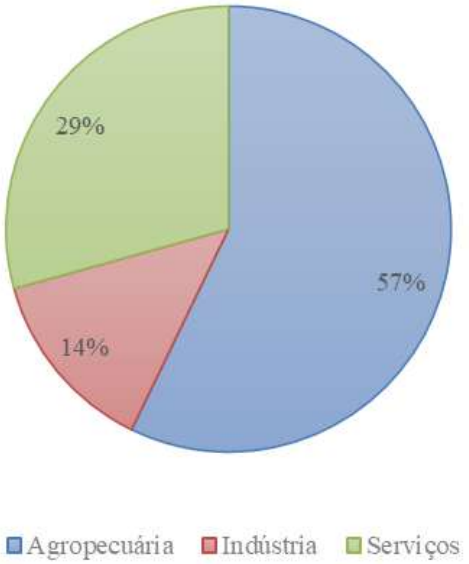


Figura 18B: Sergipe: Participação setorial nas emissões de GEE, 2018

Fonte: Adaptado de Seinfra (2022) e SEEG 10 (2022).

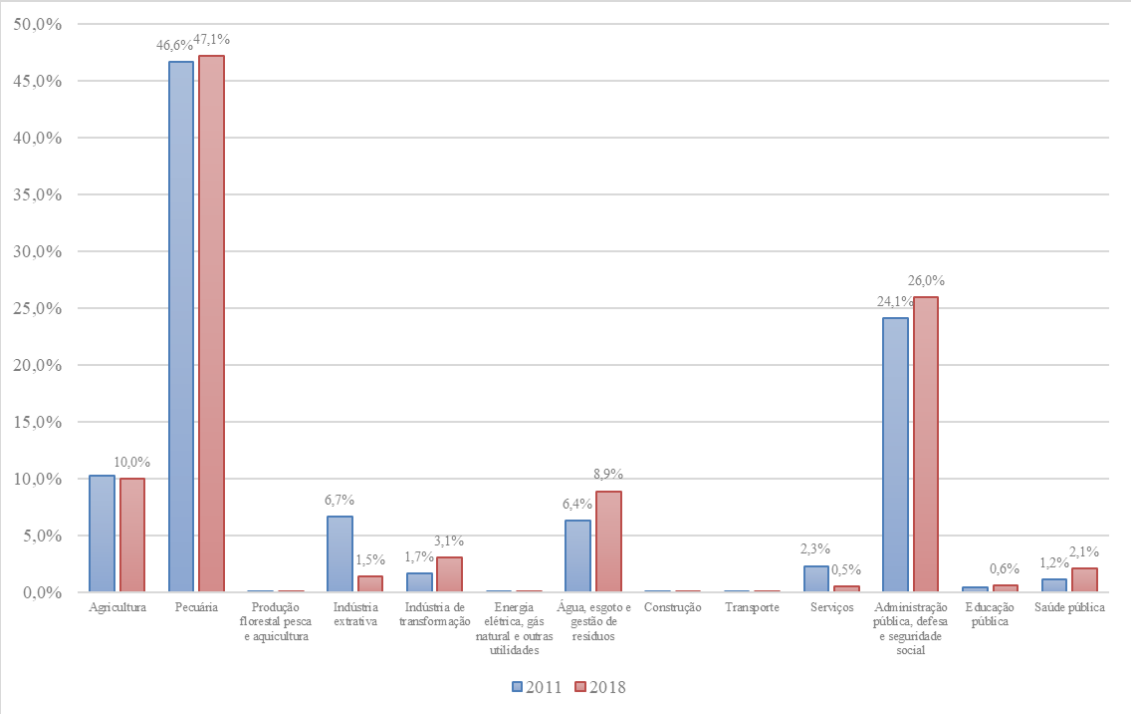
Se, por um lado, a Agropecuária respondeu por apenas 3% do VBP sergipano, por outro, ela é responsável por 57% das emissões de GEE em 2018. Esse padrão estrutural de fonte de emissões de GEE diferencia os estados brasileiros do resto do mundo em decorrência, principalmente, da mudança do uso do solo e das florestas que é contabilizada no referido setor.

Após a compatibilização entre os dados de emissões de GEE do SEEG 10 e os setores da matriz de insumo-produto, são consideradas 64,1% das emissões dos resíduos[4] e, dentre as emissões do setor energético, excluem-se as emissões de não fósseis (biodiesel, lenha, bagaço de cana, outras biomassas, álcool hidratado e lixívia). Não são incluídas, ainda, as emissões da queima de fósseis pelo setor residencial. Após essas deduções, atinge-se aproximadamente 6.756 mil e 5.985 mil t/CO_2e em 2011 e 2018, respectivamente, o que representa 80,3% e 77,1% do total de emissões de Sergipe da base SEEG 10.

A Figura 19 mostra a distribuição setorial das emissões de GEE na estrutura produtiva sergipana considerando as 13 atividades econômicas dispostas no Anexo 1.18.

[4] De acordo com o SEEG (2023), da emissão total do setor resíduos, a principal contribuição é referente à disposição de resíduos sólidos em aterros e lixões (64,1%).

Figura 19: Distribuição setorial da emissão de GEE em Sergipe: 2011 e 2018.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Percebe-se que a Pecuária responde por aproximadamente metade das emissões de GEE do estado em ambos os anos analisados, seguida pelos setores Administração Pública, Defesa e Seguridade Social e Agricultura. Não obstante, destaca-se a redução das emissões da Indústria extrativa de 6,7% em 2011 para 1,5% em 2018. Isso pode estar associado à queda acentuada da produção de petróleo e gás, conforme apontado por Ribeiro et al. (2023). A maior parte das emissões da Administração Pública está associada ao consumo de combustíveis fósseis, principalmente gás natural e gás de cozinha.

Chama a atenção o aumento da participação da Indústria de transformação, Água, esgoto e gestão de resíduos e da Saúde pública. No sentido oposto, ressalta-se a queda na participação dos Serviços.

O Quadro 4 apresenta os resultados dos multiplicadores simples de emissão para o Estado de Sergipe, em 2011 e 2018, decompostos em efeitos diretos, indiretos e totais. Além disso, por se tratar de um modelo inter-regional, também é possível calcular a taxa de vazamento (*spillover*) de emissões de GEE que ocorrem no resto do Brasil.

Quadro 4: Sergipe: Multiplicadores simples de emissão de GEE 1 (em t/CO2e).

SETORES DE ATIVIDADE	2011 Direto	2011 Indireto	2011 Total	2011 Spillover	2018 Direto	2018 Indireto	2018 Total	2018 Spillover
S1 Agricultura	0,385	0,08	0,46	15%	0,480	0,06	0,54	8%
S2 Pecuária	4,608	0,54	5,14	8%	3,459	0,28	3,74	4%

SETORES DE ATIVIDADE	2011 Direto	2011 Indireto	2011 Total	2011 Spillover	2018 Direto	2018 Indireto	2018 Total	2018 Spillover
S3 Produção florestal, pesca e aquicultura	0,033	0,21	0,24	70%	0,020	0,10	0,12	66%
S4 Indústria extrativa	0,100	0,08	0,18	39%	0,055	0,08	0,13	52%
S5 Indústria de transformação	0,016	0,39	0,40	80%	0,019	0,29	0,31	66%
S6 Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	0,008	0,08	0,09	91%	0,001	0,02	0,03	88%
S7 Água, esgoto e gestão de resíduos	1,210	0,08	1,29	5%	0,733	0,02	0,76	3%
S8 Construção	0,000	0,19	0,19	94%	0,000	0,12	0,12	88%
S9 Serviços	0,000	0,08	0,08	86%	0,000	0,05	0,05	76%
S10 Transporte	0,069	0,22	0,29	71%	0,012	0,09	0,10	62%
S11 Administração pública, defesa e seguridade social	0,288	0,04	0,33	12%	0,113	0,02	0,13	14%
S12 Educação pública	0,018	0,06	0,06	56%	0,013	0,02	0,03	49%
S13 Saúde pública	0,049	0,08	0,13	52%	0,053	0,04	0,10	38%

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

De forma geral, a estrutura produtiva sergipana, no período analisado, tornou-se menos intensiva nas emissões de GEE. Em 2011, foram geradas 139,5 t/CO2e de emissão direta de GEE para cada R$ 1.000 de produção, ao passo que em 2018 esse coeficiente se reduziu para 94,2 t/CO2e. Setorialmente, isso pode ser visto ao comparar os valores dos coeficientes de emissão (efeito direto) de cada ano, os quais são menores na maioria dos setores em 2018, quando comparados a 2011. Em vermelho, estão os setores que se tornaram mais intensivos na geração de emissões por unidade de produto.

A Pecuária é o setor mais intensivo na geração de emissões de GEE em Sergipe. Para cada R$ 1.000 na variação da sua demanda final em 2018, foram geradas 3,74 t/CO2e na economia, sendo que 3,46 t/CO2e são geradas no próprio setor (efeito direto) e 0,28 t/CO2e são geradas indiretamente na economia a partir das suas relações de comércio. Este resultado é similar ao encontrado por Ribeiro et al. (2019) para o Brasil. Por outro lado, vale ressaltar a queda expressiva de 27,3% do multiplicador total da Pecuária em comparação a 2011.

Os setores que apresentam as maiores taxas de vazamento (*spillover*) de emissões de GEE para o resto do Brasil em 2018, por exemplo, são Construção e Energia

elétrica, gás natural e outras utilidades, ambos com 88%. Em outras palavras, apenas 12% das emissões totais dessas atividades são geradas no próprio Estado. Isso significa que boa parte das emissões dos referidos setores está incorporada nas relações de comércio com o resto do Brasil. No sentido oposto, os setores Água, esgoto e gestão de resíduos e Pecuária apresentam apenas 3% e 4% de vazamento, respectivamente, para o resto do Brasil, o que revela que a maior parte das emissões de GEE é gerada no próprio Estado.

O Quadro 5 apresenta os resultados dos multiplicadores de emissão do Tipo I para a estrutura produtiva sergipana nos anos de 2011 e 2018. Diferentemente dos resultados apresentados anteriormente, percebe-se que os setores menos intensivos em emissões de GEE, como, por exemplo, Construção e Serviços, apresentam os maiores multiplicadores de emissão do Tipo I. A interpretação é a seguinte: para cada 1 t/CO2e gerada pelo setor Energia elétrica, gás natural e outras utilidades, a título de ilustração, seriam geradas 28,7 t/CO2e na economia sergipana em 2018.

Quadro 5: Sergipe: Multiplicadores de emissão do Tipo 1 (em t/CO2e).

SETORES DE ATIVIDADE	2011	2018
S1 Agricultura	1,2	1,1
S2 Pecuária	1,1	1,1
S3 Produção florestal, pesca e aquicultura	7,3	6,3
S4 Indústria extrativa	1,8	2,4
S5 Indústria de transformação	25,7	16,0
S6 Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	168,1	28,7
S7 Água, esgoto e gestão de resíduos	1,1	1,0
S8 Construção	1009,6	1895,4
S9 Serviços	234,7	368,0
S10 Transporte	4,2	8,4
S11 Administração pública, defesa e seguridade social	1,2	1,2
S12 Educação pública	3,2	2,8
S13 Saúde pública	2,6	1,8

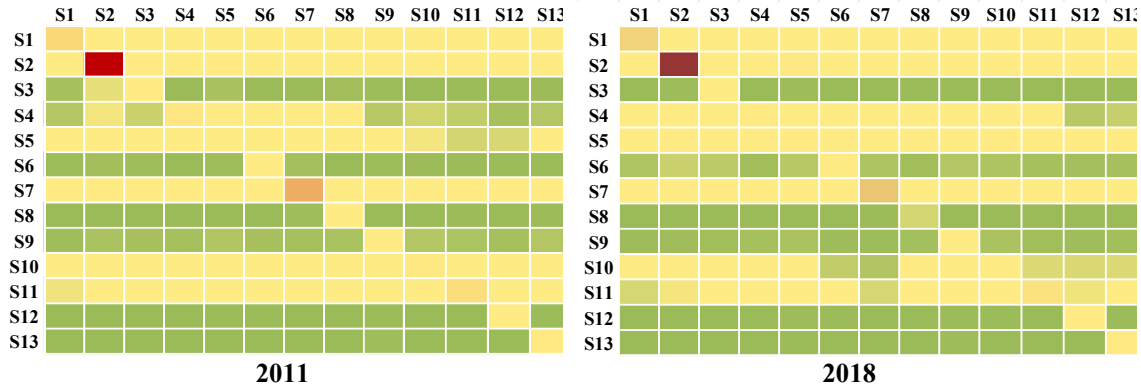
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A Figura 20 ilustra, no formato de gráfico de calor, a intensidade de emissões de GEE na estrutura produtiva sergipana (intrarregional) nos dois anos analisados. Ao analisar as matrizes de emissões ao longo das linhas, tem-se as emissões incorporadas na oferta dos produtos, ao passo que nas colunas tem-se as emissões incorporadas na demanda por insumos intermediários. Vermelho ilustra maior intensidade de emissões, tons de amarelo e verde indicam intensidades intermediárias e baixa, respectivamente.

De forma geral, nota-se que o padrão estrutural das emissões de GEE em Sergipe, em 2011 e 2018, é bem semelhante. As relações intrassetoriais da S1 –

Agricultura, S2 – Pecuária, S7 – Água, esgoto e gestão de resíduos e S11 – Administração pública, defesa e seguridade social são mais intensivas em emissões. Não obstante, percebe-se que a cadeia produtiva pelo lado da oferta da Agricultura e da Pecuária incorpora mais emissões de GEE do que sua demanda intermediária.

Figura 20: Sergipe: Matrizes de emissões de GEE.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O Quadro 6 apresenta a pegada de GEE no Estado de Sergipe para 2011 e 2018. Isto significa a quantidade de GEE emitida direta e indiretamente para atender à demanda final estadual.

Quadro 6: Sergipe: Pegada de emissões de GEE (em Gg/CO2e)

SETORES DE ATIVIDADE	2011	2011	2011	2018	2018	2018
	Direta	Indireta	Total	Direta	Indireta	Total
S1 Agricultura	241	457	698	317	281	598
S2 Pecuária	1245	1904	3150	1721	1101	2822
S3 Produção florestal, pesca e aquicultura	2	2	3	2	0	2
S4 Indústria extrativa	115	338	453	111	76	187
S5 Indústria de transformação	46	69	115	86	98	184
S6 Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	1	1	2	1	2	4
S7 Água, esgoto e gestão de resíduos	207	223	430	280	254	534
S8 Construção	1	0	1	0	0	1
S9 Serviços	3	4	7	0	2	1
S10 Transporte	59	99	158	15	16	32
S11 Administração pública, defesa e seguridade social	1597	34	1631	1534	20	1555
S12 Educação pública	31	0	31	37	0	37
S13 Saúde pública	79	79	79	127	0	127
Total	**3626**	**3129**	**6756**	**4135**	**1850**	**5985**
Taxa de variação (2018/2011)	**14,0%**	**-40,9%**	**-11,4%**			

Fonte: Elaboração própria, com base em dados da pesquisa – FIA (2025).

A análise da pegada de emissões (de GEE) associada à demanda final em Sergipe evidencia mudanças entre 2011 e 2018. Observa-se que, apesar do crescimento de 14% da pegada direta de GEE, a pegada total reduziu 11,4% ao longo do período, refletindo alterações na intensidade emissiva setorial e na estrutura da demanda final do Estado. Os setores mais intensivos em GEE, particularmente a Pecuária, a Administração Pública, defesa e seguridade social e a Agricultura, contribuíram de forma predominante para a pegada total, enquanto setores de menor intensidade apresentaram participação relativamente modesta, como, por exemplo, Construção, Produção florestal, pesca e aquicultura e Serviços. Para melhor ilustração, a emissão direta de GEE da Agricultura em 2018 foi de 318.000 t/CO2e, o que corresponde à sua emissão direta para atender à sua demanda final. As indiretas, de 281.000 t/CO2e, representam as emissões incorporadas na cadeia de fornecedores, usadas pelos setores para atender à mesma demanda final. Em outras palavras, seriam as emissões de outros setores necessárias para que a Agricultura produza o suficiente para atender sua demanda final.

A decomposição entre emissões diretas e indiretas revela que uma parcela relevante das emissões ocorre indiretamente, vinculada à cadeia de suprimentos intersetoriais; isso evidencia a importância dos encadeamentos produtivos para a determinação da pegada de GEE estadual. Entre 2011 e 2018, alguns setores apresentaram redução nas emissões associadas, possivelmente em decorrência de avanços tecnológicos ou maior eficiência no uso de insumos, enquanto outros setores registraram aumento, indicando expansão econômica e maior dependência de insumos intermediários intensivos em GEE. Esses resultados fornecem subsídios importantes para o direcionamento de políticas de mitigação, destacando os setores prioritários e evidenciando que intervenções localizadas devem considerar também as emissões indiretas provenientes de insumos inter-regionais para capturar plenamente a pegada de GEE associada ao consumo de Sergipe.

1.14.2 RESULTADOS DAS ESTIMAÇÕES E ECONOMÉTRICAS

A Tabela 31 apresenta estatísticas descritivas das variáveis climáticas utilizadas nos modelos econométricos. Observa-se que a precipitação média mensal foi de 26,1 mm, variando de 0 a 175,2 mm, enquanto o valor máximo de pluviosidade alcançou 2.176,6 mm, no Município de Poço Redondo, em fevereiro de 2007, indicando forte heterogeneidade espacial e temporal[5].

[5] Apesar de estar localizado no Sertão de Sergipe, o município de Poço Redondo já registrou decretos de emergência/calamidade por enxurradas provocadas por fortes chuvas, afetando 27.060 pessoas, quase toda a população do município (CEPED-UFSC, 2013). Certamente, não é algo comum em municípios que compõem a região do Semiárido brasileiro. No entanto, ressalta-se que eventos climáticos extremos estão cada vez mais frequentes, inclusive como anomalias climáticas.

O valor mínimo de pluviosidade, por outro lado, foi praticamente nulo, o que revela a ocorrência de meses secos no Estado. Em relação à temperatura, a média mensal foi de 25,7°C, com valores mínimos em torno de 19,7°C e máximos próximos de 32,2°C, refletindo a predominância de clima quente, mas com variações sazonais que impactam de maneira diferenciada as atividades econômicas.

No que diz respeito aos indicadores de extremos, os resultados mostram que, em média, os municípios apresentaram 1,9 dias por mês com precipitação acima do percentil 95 e 3,4 dias acima do percentil 90. Já os episódios de seca, definidos por valores abaixo dos percentis 10 e 5, ocorreram em cerca de 27,5 e 29 dias, respectivamente, evidenciando que longos períodos de baixa pluviosidade são frequentes.

Para a temperatura, a frequência de dias acima dos percentis 95 e 90 foi de 3,2 e 6,2 dias, respectivamente, enquanto os dias com temperaturas abaixo dos percentis 10 e 5 chegaram a 27,5 e 29 dias. Esses resultados revelam que tanto eventos de calor extremo quanto de frio relativo, assim como secas prolongadas e chuvas intensas, estão presentes na série histórica e constituem elementos importantes na análise dos impactos climáticos sobre a produtividade setorial.

Tabela 31: Estatísticas descritivas das variáveis climáticas usadas nos modelos econométricos.

VARIÁVEL	OBS.	MÉDIA	DESV. PADRÃO	MÍN.	MÁX.
Valor médio de pluviosidade	18000	26.1	19.0	0	175.2
Valor máximo de pluviosidade	18000	138.5	154.7	0	2176.6
Valor mínimo de pluviosidade	18000	0.97	1.9	0	25.4
Valor médio de temperatura	18000	25.1	1.6	20.9	28.9
Valor máximo de temperatura	18000	26.5	1.8	21.7	32.2
Valor mínimo de temperatura	18000	23.7	1.5	19.7	27.8
Número de dias de chuva acima do p95	18000	1.9	3.9	0	31
Número de dias de chuva acima do p90	18000	3.4	4.4	0	31
Número de dias de chuva abaixo do p10	18000	27.5	3.0	10	31
Número de dias de chuva abaixo do p05	18000	29.0	2.007	15	31
Número de dias com temperatura acima do p95	18000	1.6	3.4	0	25
Número de dias com temperatura acima do p90	18000	3.2	5.4	0	28
Número de dias com temperatura abaixo do p10	18000	27.5	5.8	1	31
Número de dias com temperatura abaixo do p05	18000	29.0	3.3	6	31

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

No que diz respeito aos indicadores de extremos, os resultados mostram que, em média, os municípios apresentaram 1,9 dias por mês com precipitação acima do percentil 95 e 3,4 dias acima do percentil 90. Já os episódios de seca, definidos por valores abaixo dos percentis 10 e 5, ocorreram em cerca de 27,5 e 29 dias, respectivamente, evidenciando que longos períodos de baixa pluviosidade são frequentes. Para a temperatura, a frequência de dias acima dos percentis 95 e 90 foi de 1,6 e 3,2 dias, respectivamente, enquanto os dias com temperaturas abaixo dos percentis 10 e 5 chegaram a 27,5 e 29 dias. Esses resultados revelam que tanto eventos de calor extremo quanto de frio relativo, assim como secas prolongadas e chuvas intensas, estão presentes na série histórica e constituem elementos importantes na análise dos impactos climáticos sobre a produtividade setorial.

A Tabela 32 apresenta os resultados da estimação por regressão linear múltipla (OLS) com erros-padrão robustos clusterizados por município, considerando como variável dependente o logaritmo da produtividade agropecuária. As variáveis climáticas refletem a média móvel do número de dias de pluviosidade ou de temperatura nos últimos 3 anos em que a precipitação ou a temperatura diária ultrapassou ou ficou abaixo de diferentes percentis de referência. Todas as especificações incluem, como controles, o log da produtividade defasada, o log do PIB municipal, o log dos impostos arrecadados, o log da população residente e o log do número de empresas, deflacionados a preços constantes de 2021.

Os resultados indicam que a ocorrência de eventos de seca tem efeito particularmente negativo sobre a produtividade agrícola. Um dia adicional, com precipitação abaixo do percentil 10, está associado a uma redução média de 1,2% na produtividade, enquanto dias de seca severa ($\leq$ p05) acarretam queda ainda mais expressiva, em torno de 3,7% por dia. Esse resultado sugere que os choques de déficit hídrico constituem o principal limitador da produção agrícola no período analisado.

No caso de chuvas extremas, os efeitos também são negativos, ainda que de menor magnitude. A variável de dias com precipitação acima do percentil 95 apresentou coeficiente de −0,010, indicando que cada dia adicional de chuva muito intensa reduz a produtividade em aproximadamente 1,0%, assim como a medida mais branda ($\geq$ p90).

Em relação às temperaturas extremas, os resultados apontam para efeitos negativos de dias mais quentes sobre a produtividade agrícola, mas com efeitos apenas marginais, a 10% de significância estatística, nos percentis p95 e p05. Esse padrão sugere que, no contexto do Estado de Sergipe, a elevação de temperaturas dentro de uma faixa ainda tolerável pode beneficiar certos cultivos, ao passo que o frio não exerce efeito relevante.

Tabela 32: Impacto de extremos climáticos sobre a produtividade da Agropecuária: OLS com erros agrupados por município.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Média móvel de pluviosidade *days_p95* dos últimos 3 anos	-0.010*** (0.001)							
Média móvel de pluviosidade *days_p90* dos últimos 3 anos		-0.010*** (0.001)						
Média móvel de pluviosidade *days_p10* dos últimos 3 anos			-0.0125*** (0.038)					
Média móvel de pluviosidade *days_p05* dos últimos 3 anos				-0.0374*** (0.125)				
Média móvel de temperatura *days_p95* nos últimos 3 anos					-0.126* (0.075)			
Média móvel de temperatura *days_p90* nos últimos 3 anos						0.012 (0.051)		
Média móvel de temperatura *days_p10* nos últimos 3 anos							-0.007 (0.056)	
Média móvel de temperatura *days_p05* nos últimos 3 anos								-0.163* (0.085)
Log produtividade agrícola defasada	0.651*** (0.037)	0.651*** (0.037)	0.643*** (0.038)	0.615*** (0.044)	0.656*** (0.037)	0.655*** (0.037)	0.655*** (0.037)	0.652*** (0.037)
Log PIB	0.102	0.102	0.104	0.103*	0.097	0.100	0.100	0.113*
	(0.063)	(0.063)	(0.064)	(0.058)	(0.061)	(0.060)	(0.061)	(0.063)
Log impostos	0.014	0.014	0.010	0.012	0.013	0.009	0.009	0.005
	(0.042)	(0.042)	(0.042)	(0.040)	(0.042)	(0.042)	(0.042)	(0.043)
Log população	-0.124*	-0.124*	-0.116	-0.115*	-0.118	-0.120	-0.119	-0.120*
	(0.073)	(0.073)	(0.071)	(0.067)	(0.072)	(0.073)	(0.072)	(0.071)
Log empresas	0.000	0.000	-0.003	-0.008	0.002	0.003	0.002	-0.003
	(0.057)	(0.057)	(0.056)	(0.053)	(0.056)	(0.056)	(0.057)	(0.056)
Observações	17940	17940	17940	17940	17940	17940	17940	17940

Erros Padrão entre parênteses. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.
Nota: Todos os valores foram deflacionados e incluídos nas regressões a preços constantes de 2021.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

No que se refere às variáveis de controle, observa-se que o log da população municipal apresenta coeficiente negativo e significativo a 10%, sugerindo que municípios mais populosos tendem a registrar menor produtividade agrícola, o que possivelmente reflete maior urbanização e pressão sobre os recursos produtivos. Como era de se esperar, a produtividade defasada tem um efeito relevante sobre a produtividade subsequente. As demais variáveis econômicas – PIB, impostos e número de empresas – não mostraram efeitos estatisticamente significativos, o que reforça a centralidade das condições climáticas na explicação da variação da produtividade agropecuária. Em síntese, os resultados mostram que os choques climáticos associados à seca são mais danosos à produtividade agrícola do que o excesso de chuvas, enquanto as temperaturas elevadas parecem, em média, favorecer a produção.

A Tabela 33 apresenta as estimativas do modelo OLS da produtividade do trabalho no setor industrial. As especificações seguem a mesma estrutura da análise para a agropecuária, incluindo, como variáveis explicativas, as medidas de precipitação e temperatura extremas, além dos controles econômicos usuais (produtividade da indústria defasada, PIB, impostos, população e número de empresas).

Os resultados indicam uma associação positiva e estatisticamente significativa entre dias de precipitação extrema e a produtividade da indústria. Especificamente, dias com chuvas acima do percentil 95 apresentaram coeficiente de 0,014 ($p<0,01$), sugerindo que cada dia adicional de precipitação muito intensa estaria associado a um aumento de cerca de 1,4% na produtividade industrial. De forma semelhante, dias acima do percentil 90 também aparecem positivamente relacionados (0,015; $p<0,01$). Já os indicadores de seca ($\leq$ p10 e $\leq$ p05) apresentaram significância estatística, inclusive com associações mais fortes, indicando que amenidades climáticas são mais relevantes para a indústria.

Esse resultado para chuvas extremas é, em princípio, contraintuitivo, já que se esperaria um efeito adverso de eventos hídricos sobre a atividade industrial. Uma explicação possível é que a variável de produtividade do trabalho capte ajustes no denominador (emprego formal), mais sensível a choques de curto prazo do que o VAB industrial. Em períodos de precipitação elevada, pode haver redução da força de trabalho empregada, enquanto o VAB setorial não reage imediatamente, gerando um aumento artificial na medida de produtividade.

Tabela 33: Impacto de extremos climáticos sobre a produtividade do trabalho da Indústria: OLS com erros agrupados por município.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Média móvel de pluviosidade *days_p95* dos últimos 3 anos	0.014***							
	(0.002)							
Média móvel de pluviosidade *days_p90* dos últimos 3 anos		0.015***						
		(0.002)						
Média móvel de pluviosidade *days_p10* dos últimos 3 anos			0.103***					
			(0.031)					
Média móvel de pluviosidade *days_p05* dos últimos 3 anos				0.162**				
				(0.070)				
Média móvel de temperatura *days_p95* nos últimos 3 anos					0.068			
					(0.114)			
Média móvel de temperatura *days_p90* nos últimos 3 anos						-0.036		
						(0.081)		
Média móvel de temperatura *days_p10* nos últimos 3 anos							0.054	
							(0.083)	
Média móvel de temperatura *days_p05* nos últimos 3 anos								0.194*
								(0.112)
Log produtividade da indústria defasada	0.676***	0.676***	0.678***	0.677***	0.681***	0.681***	0.680***	0.674***
	(0.035)	(0.034)	(0.034)	(0.034)	(0.034)	(0.034)	(0.034)	(0.034)
Log PIB	0.780***	0.780***	0.776***	0.781***	0.773***	0.773***	0.773***	0.771***
	(0.108)	(0.108)	(0.108)	(0.109)	(0.108)	(0.109)	(0.108)	(0.109)
Log impostos	-0.325***	-0.326***	-0.318***	-0.318***	-0.316***	-0.315***	-0.316***	-0.315***
	(0.065)	(0.065)	(0.065)	(0.066)	(0.066)	(0.067)	(0.068)	(0.066)
Log população	-0.162**	-0.162**	-0.173**	-0.174**	-0.165**	-0.162**	-0.166**	-0.167**
	(0.075)	(0.075)	(0.074)	(0.075)	(0.075)	(0.076)	(0.074)	(0.076)
Log empresas	-0.321***	-0.321***	-0.317***	-0.317***	-0.320***	-0.322***	-0.318***	-0.320***
	(0.053)	(0.053)	(0.053)	(0.053)	(0.053)	(0.053)	(0.053)	(0.053)
Observações	17748	17748	17748	17748	17748	17748	17748	17748

Erros Padrão entre parênteses. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.
Nota: Todos os valores foram deflacionados e incluídos nas regressões a preços constantes de 2021.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

No que se refere às temperaturas extremas, os resultados sugerem um padrão mais coerente com as condições climáticas do Estado de Sergipe, caracterizado por temperaturas relativamente amenas. Esse achado pode ser interpretado como reflexo de que temperaturas mais amenas reduzem o estresse térmico sobre os trabalhadores e os processos produtivos, favorecendo o desempenho no setor industrial (Souza et al., 2020).

Os controles econômicos mantiveram significância em todas as especificações: o PIB e a produtividade defasada apresentam coeficientes positivos e elevados, como esperado, enquanto impostos, população e número de empresas estão negativamente associados à produtividade industrial.

Os resultados indicam que, embora as estimativas sugiram um efeito positivo das chuvas extremas sobre a produtividade do trabalho industrial, essa relação deve ser interpretada com cautela. É provável que esse resultado decorra de questões de mensuração e da natureza defasada do ajuste do VAB frente ao emprego. Já os efeitos das temperaturas reforçam a hipótese de que condições mais amenas podem efetivamente elevar a produtividade no setor.

Na Tabela 34, são apresentados os resultados de produtividade do trabalho no setor de serviços. Não se observam efeitos estatisticamente significativos em nenhuma das especificações, tanto para efeitos da pluviosidade, quanto para efeitos de temperaturas, indicando que o excesso ou falta de chuvas não impacta imediatamente a produtividade do setor. Isso é plausível, já que os serviços não são tão diretamente dependentes da disponibilidade hídrica quanto a agropecuária.

Tabela 34: Impacto de extremos climáticos sobre a produtividade do trabalho dos serviços: OLS com erros agrupados por município.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Média móvel de pluviosidade *days_p95* dos últimos 3 anos	-0.001*							
	(0.001)							
Média móvel de pluviosidade *days_p90* dos últimos 3 anos		-0.001						
		(0.001)						
Média móvel de pluviosidade *days_p10* dos últimos 3 anos			-0.007					
			(0.012)					
Média móvel de pluviosidade *days_p05* dos últimos 3 anos				-0.016				
				(0.026)				
Média móvel de temperatura *days_p95* nos últimos 3 anos					-0.024			
					(0.031)			
Média móvel de temperatura *days_p90* nos últimos 3 anos						-0.002		
						(0.025)		
Média móvel de temperatura *days_p10* nos últimos 3 anos							-0.027	
							(0.028)	
Média móvel de temperatura *days_p05* nos últimos 3 anos								-0.015
								(0.040)
Log produtividade dos serviços defasada	0.644***	0.644***	0.645***	0.644***	0.644***	0.645***	0.645***	0.645***
	(0.050)	(0.051)	(0.050)	(0.050)	(0.050)	(0.050)	(0.050)	(0.051)
Log PIB	0.065	0.065	0.065	0.065	0.064	0.065	0.065	0.066
	(0.059)	(0.059)	(0.058)	(0.058)	(0.058)	(0.058)	(0.059)	(0.058)
Log impostos	0.116***	0.116***	0.116***	0.116***	0.117***	0.116***	0.116***	0.115***
	(0.033)	(0.033)	(0.033)	(0.033)	(0.033)	(0.033)	(0.033)	(0.033)
Log população	-0.086**	-0.086**	-0.085**	-0.085**	-0.085**	-0.085**	-0.085**	-0.085**
	(0.033)	(0.033)	(0.032)	(0.032)	(0.032)	(0.033)	(0.033)	(0.032)
Log empresas	-0.058**	-0.058**	-0.058**	-0.058**	-0.058**	-0.058**	-0.059**	-0.058**
	(0.023)	(0.023)	(0.023)	(0.023)	(0.024)	(0.024)	(0.024)	(0.024)
Observações	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000

Erros Padrão entre parênteses. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.
Nota: Todos os valores foram deflacionados e incluídos nas regressões a preços constantes de 2021.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Entre os controles econômicos, destaca-se o efeito positivo e significativo da arrecadação de impostos (coeficiente ≈ 0,116; p<0,01), possivelmente associado ao dinamismo econômico e à maior circulação de renda, que estimulam o setor de serviços. Por outro lado, tanto a população quanto o número de empresas apresentaram coeficientes negativos e significativos, sugerindo que fatores estruturais, como maior competição e pressão urbana, podem reduzir a produtividade média do setor. O PIB não apresentou significância estatística em nenhuma das especificações.

Finalmente, a Tabela 35 apresenta os resultados da produtividade do trabalho na Administração Pública. No que se refere às variáveis climáticas de precipitação e temperatura, nenhum dos coeficientes dos modelos é estatisticamente significativo. Isso sugere que a produtividade do setor público não responde imediatamente a choques de precipitação e temperatura, o que é plausível, considerando que o setor é predominantemente composto por serviços administrativos e institucionais, menos expostos a variações diretas nas condições hídricas.

Tabela 35: Impacto de extremos climáticos sobre a produtividade do trabalho da Administração Pública: OLS com erros agrupados por município.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Média móvel de pluviosidade *days_p95* dos últimos 3 anos	0.001 (0.001)							
Média móvel de pluviosidade *days_p90* dos últimos 3 anos		0.001 (0.001)						
Média móvel de pluviosidade *days_p10* dos últimos 3 anos			0.021 (0.020)					
Média móvel de pluviosidade *days_p05* dos últimos 3 anos				0.052 (0.054)				
Média móvel de temperatura *days_p95* nos últimos 3 anos					-0.034 (0.051)			
Média móvel de temperatura *days_p90* nos últimos 3 anos						-0.015 (0.041)		
Média móvel de temperatura *days_p10* nos últimos 3 anos							-0.064 (0.043)	
Média móvel de temperatura *days_p05* nos últimos 3 anos								0.046 (0.060)
Log produtividade da Adm pública defasada	0.396*** (0.107)	0.396*** (0.107)	0.395*** (0.107)	0.395*** (0.107)	0.396*** (0.107)	0.396*** (0.107)	0.395*** (0.107)	0.395*** (0.108)
Log PIB	-0.126***	-0.126***	-0.126***	-0.125***	-0.126***	-0.125***	-0.126***	-0.129***
	(0.041)	(0.041)	(0.042)	(0.041)	(0.041)	(0.041)	(0.041)	(0.042)
Log impostos	0.047	0.047	0.047	0.047	0.049	0.047	0.049	0.049
	(0.036)	(0.036)	(0.036)	(0.036)	(0.036)	(0.036)	(0.036)	(0.036)
Log população	0.224***	0.224***	0.223***	0.222***	0.224***	0.225***	0.224***	0.224***
	(0.052)	(0.052)	(0.052)	(0.052)	(0.053)	(0.054)	(0.053)	(0.052)
Log empresas	-0.062	-0.062	-0.062	-0.061	-0.063	-0.063	-0.065	-0.061
	(0.050)	(0.050)	(0.050)	(0.050)	(0.050)	(0.050)	(0.050)	(0.051)
Observações	17988	17988	17988	17988	17988	17988	17988	17988

Erros Padrão entre parênteses. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.
Nota: Todos os valores foram deflacionados e incluídos nas regressões a preços constantes de 2021.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Em relação às variáveis de temperatura, os resultados indicam efeitos estatisticamente relevantes. Dias com temperaturas abaixo do percentil 10 estão associados a um aumento de cerca de 0,2% na produtividade, enquanto dias de frio mais intenso (≤ p05) elevam a produtividade em aproximadamente 0,5% (ambos significativos a 1%). Esses achados sugerem que, em um estado caracterizado por temperaturas naturalmente elevadas como Sergipe, condições mais amenas também favorecem o desempenho dos trabalhadores do setor público. Por outro lado, temperaturas mais altas (≥ p90 e ≥ p95) não apresentam impacto significativo.

Entre os controles econômicos, destaca-se o papel positivo e significativo da população municipal (coeficiente ≈ 0,27; $p<0,01$), indicando que localidades mais populosas tendem a apresentar maior produtividade do trabalho na Administração Pública, possivelmente em função de economias de escala e maior complexidade administrativa. O PIB, por sua vez, aparece negativamente associado em todas as especificações (coef. ≈ −0,18; $p<0,01$), o que pode refletir diferenças estruturais entre municípios em que a Administração Pública tem peso relativo maior na economia local. Já impostos e número de empresas não se mostraram estatisticamente significativos.

Em síntese, os resultados para a Administração Pública reforçam a ideia de que esse setor é menos sensível a choques de precipitação, mas pode se beneficiar de temperaturas mais amenas, em linha com a hipótese de que o clima afeta a produtividade, principalmente por meio do conforto térmico dos trabalhadores, mesmo em setores não diretamente ligados ao ambiente natural (Souza et al., 2020).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste Relatório foi avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre setores econômicos de Sergipe. Para tanto, foram utilizados o modelo multissetorial de insumo-produto e modelagens econométricas com dados municipais.

Os resultados indicaram que a estrutura produtiva estadual apresenta elevada vulnerabilidade às emissões de GEE, concentradas sobretudo na agropecuária e na Administração Pública. Embora a intensidade emissiva por unidade de produto tenha se reduzido entre 2011 e 2018, a dependência estrutural de atividades fortemente emissoras reforça a necessidade de estratégias de mitigação específicas, em especial no setor pecuário. Os multiplicadores setoriais e os efeitos indiretos evidenciam que as emissões não se restringem aos setores diretamente responsáveis, mas se propagam pelas cadeias produtivas, inclusive em fluxos inter-regionais, o que amplia a relevância de políticas integradas.

No campo econométrico, verificou-se que a produtividade agrícola é a mais sensível às condições climáticas, sofrendo perdas significativas em situações de seca e, em menor grau, de chuvas extremas. Em contraste, a produtividade industrial mostrou resultados atípicos frente a chuvas intensas, possivelmente associados a ajustes temporários no emprego, mas confirmou ganhos sob temperaturas mais amenas.

Nos serviços, eventos de precipitação extrema reduziram a produtividade, sugerindo forte dependência da mobilidade urbana e da circulação de pessoas, enquanto temperaturas mais frias favoreceram o setor. Já na Administração Pública, não se observou efeito relevante da precipitação, mas dias mais amenos mostraram ganhos de produtividade, coerentes com o impacto do conforto térmico sobre atividades predominantemente administrativas.

Os resultados revelam que os efeitos das mudanças climáticas não são homogêneos: a agricultura e os serviços estão mais expostos a choques imediatos de precipitação, enquanto a indústria e a Administração Pública reagem sobretudo a variações de temperatura.

Do ponto de vista das políticas públicas, três implicações se destacam:

(i) Adaptação climática no setor agropecuário – Investimentos em irrigação eficiente, manejo sustentável do solo e diversificação com cultivos com maior resistência aos estresses hídricos são fundamentais para mitigar os impactos das secas, principais limitadores da produção;

(ii) Planejamento urbano e infraestrutura de serviços – Diante da vulnerabilidade dos serviços a chuvas intensas, torna-se essencial o fortalecimento da infraestrutura de drenagem urbana e da mobilidade sustentável; e

(iii) Transição produtiva e energética – A redução das emissões da estrutura produtiva estadual requer estímulo à inovação tecnológica, ampliação do uso de energias limpas e reestruturação gradual de setores de alta intensidade emissiva, com atenção a seus efeitos inter-regionais.

A criação de mecanismos permanentes de monitoramento, aliados a instrumentos de financiamento climático, será decisiva para reduzir vulnerabilidades, preservar a competitividade econômica e alinhar o Estado de Sergipe aos compromissos nacionais e internacionais de enfrentamento às mudanças climáticas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: Região Hidrográfica do Nordeste. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos. Acesso em: 24 out. 2025.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; FU, R.; BOMBARDI, R. J. *Sensitivity of Amazon regional climate to deforestation. American Journal of Climate Change*, v. 6, n. 1, p. 75-98, 2020. DOI: https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.61005.
- *AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION* (APA). *Publication manual of the American Psychological Associatio*n. 6. ed. *Washington, DC: American Psychological Association, 2010.*
- ANCTIL, F.; PERRON, M.; ROUSSELLE, J. *Impacts of the station density on the performance of a hydrological model. Water Resources Research*, v. 42, n. 10, 2006. DOI: https://doi.org/10.1029/2005WR004652.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. *ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. International Journal of Climatology*, v. 25, n. 15, p. 2017-2030, 2005. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.1222.
- BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-*year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. Journal of Arid Environments,* v. 67, n. 2, p. 288-307, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022.
- BLAINSKI, E.; GARBOSSA, L. H. P.; ANTUNES, E. N. Estações hidrometeorológicas automáticas: recomendações técnicas para instalação. Florianópolis: Epagri, 2012. 43 p. (Epagri. Documentos, 240).
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. *Time series analysis: forecasting and control*. San Francisco: Holden-Day, 1970.
- BRICEÑO-ELIZONDO, E. et al. *Site selection for a network of weather stations using AHP and near analysis in a GIS environment in Amazonas*, NW Peru. *ISPRS*

International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 12, p. 169, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/ijgi10120169.

- CHOU, S. C. et al. *Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. American Journal of Climate Change*, v. 3, n. 5, p. 512-525, 2014. DOI: https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043.
- CLARK, P. J.; EVANS, F. C. *Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations.* Ecology, v. 35, n. 4, p. 445–453, 1954. DOI: https://doi.org/10.2307/1931034.
- COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral* sciences. 2. ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- DAVY, R. et al. *Diurnal asymmetry to the observed global warming. International Journal of Climatology*, v. 37, supl. 1, p. 79-93, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4688.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). MCA 101-1: Instalação de estações meteorológicas de superfície e de altitude. Brasília: DECEA, 2022. Disponível em: https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/mca-101-1. Acesso em: 14 out. 2025.
- DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. *Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. Journal of the American Statistical Association*, v. 74, n. 366, p. 427-431, 1979.
- DONAT, M. G.; ALEXANDER, L. V. The *shifting probability distribution of global daytime and night-time temperatures. Geophysical Research Letters*, v. 39, n. 14, p. L14707, 2012. DOI: https://doi.org/10.1029/2012GL052459.
- DOSIO, A. et al. *Extreme heat waves under 1.5°C and 2°C global warming. Environmental Research Letters*, v. 13, n. 5, p. 054006, 2018. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab827.
- DURBIN, J.; WATSON, G. S. *Testing for serial correlation in least squares regression: I. Biometrika*, v. 37, n. 3-4, p. 409-428, 1950.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. *An introduction to the bootstrap. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 1994.*
- FISCHER, E. M.; KNUTTI, R. *Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. Nature Climate Change, v.* 5, n. 6, p. 560-564, 2015. DOI: https://doi.org/10.1038/nclimate2617.

- GILBERT, R. O. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- GLOBAL FOREST WATCH. Disponível em: https://www.globalforestwatch.org/. Acesso em: 29 jan. 2025.
- GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. *Deep learning. Cambridge*, MA: MIT Press, 2016.
- HADDAD, E. A., GONÇALVES JR, C. A., NASCIMENTO, T. B. Matriz Interestadual de Insumo-Produto para o Brasil: Uma Aplicação do Método IIOAS. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 11(4): 424-446, 2017.
- HAMED, K. H. *Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data. Journal of Hydrology*, v. 365, n. 1-2, p. 86-94, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.024.
- HAMED, K. H.; RAO, A. R. *A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology*, v. 204, n. 1-4, p. 182-196, 1998. DOI: https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X.
- HARRIS, C. R. et al. *Array programming with NumPy. Nature*, v. 585, p. 357-362, 2020.
- HASTENRATH, S. *Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. Climatic Change*, v. 112, n. 2, p. 243-251, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s10584-011-0227-1.
- HUNTER, J. D. Matplotlib: *a 2D graphics environment. Computing in Science & Engineering,* v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007.
- HUNTINGFORD, C. et al. *Machine learning and artificial intelligence to aid climate change research and preparedness. Environmental Research Letters*, v. 14, n. 12, p. 124007, 2019. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4e55.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: https://doi.org/10.1017/9781009157896.
- KANAROGLOU, P. S. et al. *A GIS-based multi-criteria evaluation approach for sitting air-quality monitoring stations. Environmental Monitoring and Assessment*, v. 107, n. 1-3, p. 31-48, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-005-2012-1.

- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. *Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and the El Niño-Southern Oscillation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres,* v. 111, n. D13, p. D13101, 2006. DOI: https://doi.org/10.1029/2005JD006142.
- KENDALL, M. G. *Rank correlation methods.* 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.
- KOUSKY, V. E. *Frontal influences on northeast Brazil. Monthly Weather Review*, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107<1140:FIONB>2.0.CO;2>.
- KÜNSCH, H. R. *The jackknife and the bootstrap for general stationary observations. The Annals of Statistics*, v. 17, n. 3, p. 1217-1241, 1989. DOI: https://doi.org/10.1214/aos/1176347265.
- KWIATKOWSKI, D. et al. *Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. Journal of Econometrics*, v. 54, n. 1-3, p. 159-178, 1992. DOI: https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y.
- LAHIRI, S. N. *Resampling methods for dependent data.* New York: Springer, 2003.
- LEONTIEF, W. *Environmental Repercussions and the Economic Structure: an Input-Output Approach, Review of Economic Statistics*, v.52, p.262-277, 1970.
- LEONTIEF, W. *Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. MIT Press: The Review of Economics and Statistics*, 18(3): 105-125, 1936.
- LEVENE, H. *Robust tests for equality of variances.* In: OLKIN, I. (ed.). Contributions to probability and statistics. Palo Alto, CA: Stanford University Press, 1960. p. 278-292.
- MALCZEWSKI, J. GIS-*based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning,* v. 62, n. 1, p. 3-65, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002.
- MANN, H. B. Nonparametric *tests against trend. Econometrica*, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945. DOI: https://doi.org/10.2307/1907187.
- MAPBIOMAS. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/. Acesso em: 29 jan. 2025.
- MARENGO, J. A. et al. *Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region.* Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.

90, supl. 2, p. 1973-1985, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206.

- MARENGO, J. A. et al. *Drought in Northeast Brazil: a review of agricultural and policy adaptation options. Climate Research*, v. 81, p. 55-77, 2020. DOI: https://doi.org/10.3354/cr01609.
- MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. *Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. Climatic Change,* v. 129, n. 1-2, p. 103-115, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. (eds.). Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta do PBMC e da Rede CLIMA. São José dos Campos: INPE, 2016.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. *Drought in Northeast Brazil – past, present, and future. Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8.
- MCKINNEY, W. *Data structures for statistical computing in Python. Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, p. 56-61, 2010.
- MICHAUD, J. D.; SOROOSHIAN, S. *Effect of rainfall-sampling errors on simulations of desert flash floods. Water Resources Research*, v. 30, n. 10, p. 2765–2775, 1994. DOI: https://doi.org/10.1029/94WR01273.
- MILLER, R. E., BLAIR, P. D. *Input-output analysis: foundations and extensions. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press*, 2022.
- MONTOYA, M. A., LOPES, R. L., GUILHOTO, J. J. M. Desagregação setorial do balanço energético nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto: uma avaliação metodológica. Economia Aplicada, 18(3): 379–419, 2014.
- MOREIRA, T. M., RIBEIRO, L. C. S. Mudanças estruturais na economia brasileira entre 2000-2005 e o novo regime macroeconômico: uma abordagem multissetorial. Economia, 14(1C): 751-780, 2013.
- NAKAGAWA, S.; CUTHILL, I. C. *Effect size, confidence interval and statistical significance: a practical guide for biologists. Biological Reviews*, v. 82, n. 4, p. 591-605, 2007. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00027.x.
- NASA GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES (NASA GISS). GISS *Surface Temperature Analysis (GISTEMP*), version 4. 2022. Disponível em: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/. Acesso em: 24 out. 2025.

- NJOKU, E. A.; AKPAN, P.; EFIOK, A.; BABATUNDE, I. *The effect of station density in geostatistical prediction of air temperatures in Sweden: a comparison of two interpolation techniques. Research Square*, 2022. DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1730941/v1.
- NOBRE, P. et al. *Climate simulation and change in the Brazilian Climate Model. Journal of Climate,* v. 26, n. 17, p. 6716-6732, 2013. DOI: https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00580.1.
- OKE, T. R. Boundary layer climates. London: Methuen & Co. Ltd., 1987.
- OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. *Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. Theoretical and Applied Climatology,* v. 130, n. 1-2, p. 77-90, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-016-1865-z.
- OŚRÓDKA, K.; OTOP, I.; SZTURC, J. *Automatic quality control of telemetric rain gauge data providing quantitative quality information* (RainGaugeQC). *Atmospheric Measurement Techniques*, v. 15, p. 5581–5597, 2022. DOI: https://doi.org/10.5194/amt-15-5581-2022.
- PEDREGOSA, F. et al. S*cikit-learn: machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research,* v. 12, p. 2825-2830, 2011.
- PENG, S. et al. *Rice yields decline with higher night temperature from global warming. Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 101, n. 27, p. 9971-9975, 2013. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101.
- PERAZZI, P. R.; PASSAMANI, M.; THIELEN, D.; PADOVANI, C. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 3, p. 351–366, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786363001021.
- PERKINS-KIRKPATRICK, S. E.; LEWIS, S. C. *Increasing trends in regional heatwaves. Nature Communications*, v. 11, n. 1, p. 3357, 2020. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-020-16970-7.
- PETERSON, T. C. et al. *Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and related rapporteurs*. Geneva: WMO, 2001.
- PHILLIPS, P. C.; PERRON, P. *Testing for a unit root in time series regression. Biometrika*, v. 75, n. 2, p. 335-346, 1988. DOI: https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335.
- PLANTON, S. Annex III. Glossary: IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change. In: IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge:* IPCC, 2013. p. 1465.

- POLITIS, D. N.; ROMANO, J. P. *The stationary bootstrap. Journal of the American Statistical Association,* v. 89, n. 428, p. 1303-1313, 1994. DOI: https://doi.org/10.1080/01621459.1994.10476870.
- PRADO, E. F. S. Estrutura tecnológica e desenvolvimento regional. São Paulo: IPE/USP, 1981.
- RAO, V. B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. *Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. Journal of Climate*, v. 6, n. 9, p. 1754-1763, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1754:SAIVORO>2.0.CO;2>.
- REICHSTEIN, M. et al. *Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. Nature*, v. 566, n. 7743, p. 195-204, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-019-0912-1.
- RIBEIRO, L. C. S., SANTOS, J. H. F., VALE, V. A., ALVARENGA, S. M. Estimação dos impactos econômicos potenciais da paralisação do setor de petróleo e gás em Sergipe. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 17(4): 514-536, 2023.
- RIPBERGER, J. T. et al. *False alarms and missed events: the impact and origins of perceived inaccuracy in tornado warning systems. Risk Analysis*, v. 35, n. 1, p. 44-56, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/risa.12262.
- SALCEDO-SANZ, S. et al. *Monthly prediction of air temperature in Australia and New Zealand with machine learning algorithms. Theoretical and Applied Climatology*, v. 125, n. 1-2, p. 13-25, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-015-1480-4.
- SANTOS, C. A. G. et al. *Drought assessment using a TRMM-derived standardized precipitation index for the upper São Francisco River basin, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 6, p. 250, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-017-5948-9.
- SAWILOWSKY, S. S. *New effect size rules of thumb. Journal of Modern Applied Statistical Methods*, v. 8, n. 2, p. 597-599, 2009. DOI: https://doi.org/10.22237/jmasm/1257035100.
- SEABOLD, S.; PERKTOLD, J. *Statsmodels: econometric and statistical modeling with Python. Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, p. 92-96, 2010.
- SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as

metas climáticas do Brasil: 1970-2021, 2023. Disponível online: <https://seeg.eco.br/linha/>

- SEIFERT, A.; GUSMÃO, L. P. S. E.; OLIVEIRA, T. B. B. *The crucial role of anabatic flows in initiating moist convection over a tropical high-altitude island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 148, n. 747, p. 2844-2861, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1002/qj.4338. Acesso em: 14 out. 2025.
- SEINFRA – Secretaria de Infraestrutura do Estado da Bahia. Relatório de Apresentação do Banco de Dados, Modelo de Insumo-Produto, Análises Estruturais e Estrutura Teórica do Modelo IEGC. Salvador, 2022.
- SEN, P. K. *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association*, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. DOI: https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934.
- SENEVIRATNE, S. I. et al. *Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: a review. Earth-Science Reviews*, v. 99, n. 3-4, p. 125-161, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004.
- SENEVIRATNE, S. I. et al. *Weather and climate extreme events in a changing climate. In: Climate change* 2021: *the physical science basis. Cambridge*: Cambridge University Press, 2021. p. 1513-1766. DOI: https://doi.org/10.1017/9781009157896.013.
- SERGIPE. Decreto nº 24.338, de 20 de abril de 2007. Institui a divisão territorial do Estado de Sergipe em Territórios de Planejamento e dá providências correlatas. Aracaju: Governo do Estado de Sergipe, 2007. Disponível em: https://www.se.gov.br/anexos/uploads/download/filename_novo/1295/21f98d9d73c4b38c1102726f21167b23.pdf. Acesso em: 14 out. 2025.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. *An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika*, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.
- SOUSA FILHO, J. F., SANTOS, G. F., RIBEIRO, L. C. S. *Structural changes in the Brazilian economy 1990–2015. Economic Systems Research,* 33(4): 555–575, 2021.
- SOUZA, P. M. B. et al. Influências das mudanças climáticas sobre as condições de trabalho no final do século XXI. Ambiente & Sociedade, 23:e00113, 2020.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R. *Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. DOI: https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

- TEKLEYOHANNES, M.; ABEBE, A.; SOLOMON, H. *Optimization of rain gauge network using multi-criteria decision analysis and entropy approaches: case of Tekeze River basin, northwestern Ethiopia. Arabian Journal of Geosciences*, v. 14, n. 15, p. 1459, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s12517-021-07189-2.
- UNITED NATIONS. *System of National Accounts*, 2008. 2009. Disponível em: <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/SNA2008.pdf>. Acesso em 13 jul. 2022.
- VIANNA, L. F. N.; PANDOLFO, C.; BLAINSKI, E.; VIEIRA, H. J. Avaliação da distribuição espacial das estações de observação climática de superfície de Santa Catarina ativas em 2020, segundo as orientações da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 3, p. 457–469, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786363001021.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. Genebra: Organização Meteorológica Mundial, n. 8, p. 548, 2018.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. *Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). International Journal of Climatology*, v. 36, p. 2644–2659, 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4518.
- XU, H.; ZHANG, J.; LI, W.; LIU, C. *Assessing the influence of rain gauge density and distribution on hydrological model performance in a humid region of China. Journal of Hydrology,* v. 505, p. 1–12, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.005.

9. LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição espacial e completude temporal das estações meteorológicas selecionadas. (A) Mapa de Sergipe com localização das 2 estações meteorológicas completas (triângulos vermelhos) e 4 estações pluviométricas (círculos azuis) aprovadas segundo critérios WMO (2017). (B) Timeline de disponibilidade de dados no período 1985-2021, com destaque para o período de 30 anos WMO (1992-2021, área sombreada).....36

Figura 2: Ciclo sazonal climatológico de Sergipe (1985-2021). 38

Figura 3: Séries temporais anuais de precipitação e temperatura em Sergipe (1985-2021). (A) Precipitação anual total sem tendência significativa (Theil-Sen: -2,5 mm/ano, p=0,500), com eventos extremos destacados: déficit em 1993 durante El Niño forte (485,3 mm) e excesso em 2010 sob La Niña (1847,6 mm). (B) Temperatura máxima anual com aquecimento significativo de +1,0°C em 37 anos (+0,028°C/ano, p<0,001), representado pela linha vermelha tracejada com IC 95% sombreado. (C) Temperatura mínima anual com aquecimento de +0,7°C (+0,019°C/ano, p=0,003). Linhas horizontais cinzas indicam médias do período. 40

Figura 4: Análise de tendências usando Mann-Kendall e Theil-Sen para séries anual, trimestral e mensal de precipitação (painéis superiores) e para séries anual, trimestral e mensal temperatura (painéis inferiores), período 1985-2021.....42

Figura 5: Análise de *changepoints* e tendências nas temperaturas anuais (1985-2021) usando Teste de Pettitt. (A) Temperatura máxima com detecção de mudança abrupta (se p<0,05). (B) Temperatura mínima com comportamento temporal. (C) Comparação temporal de Tmax e Tmin evidenciando evolução da amplitude térmica. Linhas tracejadas grossas representam tendências Theil-Sen (+0,028°C/ano para Tmax, +0,019°C/ano para Tmin). Linhas verticais laranjas indicam anos de mudança abrupta detectados pelo teste de Pettitt (p<0,05), com médias segmentadas antes e depois do *changepoint*. 44

Figura 6: Testes de estacionariedade para séries temporais anuais (1985-2021). Painéis superiores: Resultados dos testes Augmented Dickey-Fuller (ADF) e Phillips-Perron (PP) para precipitação (consenso I(0), ambos p<0,05) e temperaturas Tmax, Tmin, Tmean (consenso I(1), ambos p>0,05). Painéis inferiores: Séries de temperatura após primeira diferenciação, tornando-se estacionárias (ADF e PP p<0,001). Barras azuis indicam estacionariedade (p<0,05), barras vermelhas indicam não-estacionariedade (p≥0,05). Linha tracejada preta representa limiar de significância a=0,05. 45

Figura 7: Tendências em índices de extremos de precipitação (1985-2021). Seis painéis apresentam séries temporais de (A) RX1day: precipitação máxima em 1 dia, (B) RX5day: precipitação máxima em 5 dias consecutivos, (C) R95pTOT: precipitação total em dias muito úmidos (>P95), (D) CDD: dias secos consecutivos máximos (tendência significativa +0,85 dias/ano, p=0,029*), (E) CWD: dias úmidos consecutivos máximos, (F) SDII: intensidade diária simples. Linhas tracejadas vermelhas representam tendências Theil-Sen com IC 95% sombreado. Apenas CDD apresentou tendência significativa (asterisco vermelho), indicando prolongamento de períodos secos (+31 dias em 37 anos). Caixas de estatísticas incluem: Z (Mann-Kendall), p-valor, Sen's slope, mudança total. 48

Figura 8: Tendências em índices de extremos de temperatura (1985-2021). Quatro painéis apresentam séries temporais de percentis extremos: (A) TX90p: dias com Tmax>P90 (tendência +0,64%/ano, p<0,001*), aumento de 24 pontos percentuais, (B) TN90p: dias com Tmin>P90 (+0,52%/ano, p=0,003), aumento de 19 pontos percentuais, (C) TX10p: dias com Tmax<P10 (-0,31%/ano, p=0,006**), redução de 11 pontos percentuais, (D) TN10p: dias com Tmin<P10 (-0,24%/ano, p=0,019*), redução de 9 pontos percentuais. Linhas tracejadas vermelhas (painéis A-B) e azuis (painéis C-D) representam tendências Theil-Sen com IC 95% sombreado. Todas as tendências são estatisticamente significativas, indicando intensificação de eventos quentes e redução de eventos frios. Caixas de estatísticas incluem: Z (Mann-Kendall), p-valor, Sen's slope, mudança total. 49

Figura 9: Validação de pressupostos estatísticos para séries climáticas anuais (1985-2021). Painel superior esquerdo: Box plots comparativos de precipitação, Tmax, Tmin (escala padronizada) mostrando outliers, quartis e medianas. Painel superior: Histogramas com curvas de densidade e sobreposição de distribuição normal teórica (linha vermelha), evidenciando normalidade em precipitação (p=0,182) e desvios moderados em temperaturas (p<0,05). Painel inferior: Gráficos Q-Q (quantis teóricos vs. observados) para cada variável, com linha de referência y=x; pontos alinhados indicam normalidade, desvios nas caudas

INDICAM ASSIMETRIA. CAIXAS DE ESTATÍSTICAS INCLUEM: SHAPIRO-WILK (W, P-VALOR), LEVENE (F, P-VALOR), ACF(1), DURBIN-WATSON (D). 51
FIGURA 10: DIAGNÓSTICO DE RESÍDUOS DOS MODELOS SARIMA PARA PRECIPITAÇÃO, TMAX E TMIN (1985-2021). QUATRO PAINÉIS POR VARIÁVEL: (A) SÉRIE TEMPORAL DE RESÍDUOS PADRONIZADOS COM BANDAS DE CONFIANÇA ±2Σ (LINHAS TRACEJADAS VERMELHAS), (B) HISTOGRAMA DE RESÍDUOS COM SOBREPOSIÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL TEÓRICA (LINHA AZUL) E ESTATÍSTICA JARQUE-BERA (P>0,05 INDICA NORMALIDADE), (C) GRÁFICO Q-Q EVIDENCIANDO ADERÊNCIA À NORMALIDADE (PONTOS ALINHADOS COM LINHA Y=X), (D) CORRELOGRAMA (ACF) COM BANDAS DE CONFIANÇA (LINHAS AZUIS TRACEJADAS), TODOS OS LAGS NÃO SIGNIFICATIVOS (P>0,05) INDICAM AUSÊNCIA DE AUTOCORRELAÇÃO RESIDUAL. CAIXAS DE ESTATÍSTICAS INCLUEM: LJUNG-BOX (Q, P-VALOR), JARQUE-BERA (JB, P-VALOR), DURBIN-WATSON (D), VARIÂNCIA EXPLICADA (R^2) 54
FIGURA 11: VALIDAÇÃO RETROSPECTIVA SARIMA DE PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÁXIMA E TEMPERATURA MÍNIMA, COM DESTAQUE TAMBÉM PARA OS RESÍDUOS DE VALIDAÇÃO PARA CADA VARIÁVEL. 56
FIGURA 12: MAPA DOS TERRITÓRIOS DE PLANEJAMENTO DE SERGIPE. 102
FIGURA 13: ZONEAMENTO TERRITORIAL DE ÁREAS APTAS AO ESTABELECIMENTO DE NOVAS ESTAÇÕES. 104
FIGURA 14: DISTRIBUIÇÃO DE ESTAÇÕES NO ESTADO DE SERGIPE. 107
FIGURA 15: DENSIDADE DE KERNNEL DAS ESTAÇÕES OPERANTES E EM PANE DO ESTADO DE SERGIPE, CALCULADO A PARTIR DA MALHA DE 0.25^o. 109
FIGURA 16: DENSIDADE DE KERNNEL ESPERADA COM O ESTABELECIMENTO DE NOVAS ESTAÇÕES NO ESTADO DE SERGIPE, CALCULADO A PARTIR DA MALHA DE 0.25^o. 111
FIGURA 17: TRANSAÇÕES DE INSUMO-PRODUTO. 113
FIGURA 18: PARTICIPAÇÃO ESTADUAL DOS GRANDES SETORES NO VALOR PRODUTO DA PRODUÇÃO (VBP). 121
FIGURA 19: DISTRIBUIÇÃO SETORIAL DA EMISSÃO DE GEE EM SERGIPE: 2011 E 2018. 122
FIGURA 20: SERGIPE: MATRIZES DE EMISSÕES DE GEE. 125

10. LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Seleção de testes estatísticos baseada em validação de pressupostos. 20
Tabela 2: Estações meteorológicas aprovadas conforme critérios WMO (2017) para o período 1992-2021 36
Tabela 3: Estatísticas descritivas das variáveis climáticas em Sergipe (1985-2021)..... 37
Tabela 4: Análise de tendências na precipitação trimestral (1985-2021)..... 40
Tabela 5: Análise de tendências nas temperaturas anuais (1985-2021). 41
Tabela 6: Tendências nas temperaturas por trimestre (1985-2021)..... 42
Tabela 7: Resultados dos testes de estacionariedade para séries anuais..... 46
Tabela 8: Casos de conflito entre testes ADF e PP (séries trimestrais) 47
Tabela 9: Tendências em índices de extremos de precipitação (1985-2021)..... 48
Tabela 10: Tendências em índices de extremos de temperatura (1985-2021)..... 50
Tabela 11: Validação de pressupostos estatísticos das séries climáticas anuais (n = 37)..... 51
Tabela 12: Poder estatístico do teste de Mann-Kendall (dados trimestrais, n=146). 52
Tabela 13: Modelos SARIMA selecionados e métricas de desempenho (séries trimestrais). ... 53
Tabela 14: Projeções SARIMA anuais para 2022-2024 com intervalos de confiança de 95%. .. 54
Tabela 15: Métricas de validação cruzada (período de teste: 2017-2021)..... 55
Tabela 16: Validação retrospectiva SARIMA: métricas de erro contínuo (conjunto de teste: 20% dos dados). 57
Tabela 17: Desempenho dos modelos de *machine learning* para detecção de extremos de precipitação..... 57
Tabela 18: Importância das 10 principais features no modelo Random Forest (precipitação extrema)..... 58
Tabela 19: Análise de magnitude do efeito (Cohen's d) para *thresholds* originais P90/P10..... 60
Tabela 20: Comparação de *thresholds* originais vs ajustados para precipitação..... 61
Tabela 21: Comparação temporal de frequência de eventos extremos 62
Tabela 22: Hierarquização de notas atribuídas à proximidade à rede existente (m) de estações meteorológicas, como critérios ponderados em intervalos pré-definidos..... 94
Tabela 23: Hierarquização de notas atribuídas como critérios ponderados para Classes de cobertura do solo em área de instalação de estação meteorológica..... 95
Tabela 24: Hierarquização de notas atribuídas como critérios ponderados para adequação topográfica em área de instalação de estação meteorológica..... 96
Tabela 25: Hierarquização de notas atribuídas como critérios ponderados para acessibilidade em área de instalação de estação meteorológica. 97
Tabela 26: Distribuição das áreas por classe de aptidão para implantação de novas estações 104
Tabela 27: Aptidão média das áreas consideradas aptas para Zoneamento para novas estações meteorológicas..... 105
Tabela 28: Resultados da Análise do Vizinho Mais Próximo (Nearest Neighbor Analysis) para a Rede de Monitoramento..... 105
Tabela 29: Estatísticas zonais para a densidade de Kernnel, calculada para as estações meteorológicas operantes e em pane que exercem influência sobre o Estado de Sergipe..... 109
Tabela 30: Estatísticas zonais para a densidade de Kernnel, calculada para a distribuição de estações meteorológicas sugerida para o Estado de Sergipe 111
Tabela 31: Estatísticas descritivas das variáveis climáticas usadas nos modelos econométricos..... 127

Tabela 32: Impacto de extremos climáticos sobre a produtividade da Agropecuária: OLS com erros agrupados por município. 129
Tabela 33: Impacto de extremos climáticos sobre a produtividade do trabalho da Indústria: OLS com erros agrupados por município. 131
Tabela 34: Impacto de extremos climáticos sobre a produtividade do trabalho dos serviços: OLS com erros agrupados por município. 133
Tabela 35: Impacto de extremos climáticos sobre a produtividade do trabalho da Administração Pública: OLS com erros agrupados por município. 135

11. LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação do Critério de Distância ao Ponto da Grade. 94
Quadro 2: Nota, Título e Interpretação das classes de Aptidão Territorial para instalação de estações pluviométricas. 99
Quadro 3: Variáveis utilizadas no modelo, definições e fontes. 119
Quadro 4: Sergipe: Multiplicadores simples de emissão de GEE 1 (em t/CO2e). 122
Quadro 5: Sergipe: Multiplicadores de emissão do Tipo 1 (em t/CO2e). 124
Quadro 6: Sergipe: Pegada de emissões de GEE (em Gg/CO2e) 125

12. ANEXOS

1.15 LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS ATIVAS (OPERANTES E EM PANE) E LOCALIZAÇÃO DAS NOVAS ESTAÇÕES

NOME	CÓDIGO	DATA INICI,C,254	DATA FINAL,C,254	SITUAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
PROPRIA	83097	09/05/1925	01/10/2025	Operante	-10.214	-36.842	21.91
PAO DE ACUCAR	A323	13/07/2007	01/10/2025	Operante	-9.749	-37.431	20.83
PIRANHAS	A371	19/09/2017	01/10/2025	Operante	-9.622	-37.767	187
ARACAJU	A409	11/02/2003	01/10/2025	Operante	-10.953	-37.054	4.45
ITABAIANINHA	A417	22/05/2007	01/10/2025	Operante	-11.272	-37.795	208
POCO VERDE	A419	02/04/2008	01/10/2025	Pane	-10.738	-38.108	367.26
BREJO GRANDE	A421	16/07/2008	01/10/2025	Operante	-10.474	-36.482	3
ITABAIANA	A451	23/04/2017	01/10/2025	Pane	-10.672	-37.471	206.21
NOSSA SENHORA DA GLORIA	A453	23/03/2017	01/10/2025	Pane	-10.208	-37.432	274.25
-	-	-	-	Nova	-10.015	-37.745	289.24
-	-	-	-	Nova	-10.015	-37.245	199.2
-	-	-	-	Nova	-10.265	-37.745	313.97
-	-	-	-	Nova	-10.515	-37.745	204.68
-	-	-	-	Nova	-10.515	-37.245	80.45
-	-	-	-	Nova	-10.515	-36.995	97.86
-	-	-	-	Nova	-10.515	-36.745	87.08
-	-	-	-	Nova	-10.765	-37.745	260.13
-	-	-	-	Nova	-11.015	-37.745	151.88
-	-	-	-	Nova	-11.015	-37.495	90.74
-	-	-	-	Nova	-11.265	-37.495	41.05
-	-	-	-	Nova	-11.515	-37.745	97.33

-	-	-	-	Nova	-11.515	-37.495	20.06

1.16 CLASSIFICAÇÃO MÉDIA DA APTIDÃO PARA INSTALAÇÃO DE NOVAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NOS TERRITÓRIOS DE SERGIPE

REGIÃO TERRITORIAL	CLASSES DE APTIDÃO	VALOR DA CLASSE	ÁREA EM (KM²)	NOTA PERCENTUAL
Agreste Sergipano	Inapto	0	2102.95	0.00
	Baixa Prioridade	2	0.04	0.00
	Aceitável	3	7.35	0.01
	Recomendada	4	76.44	0.10
	Prioritária	5	953.49	1.52
	Média		3140.28	1.62
	Desvio Padrão			0.26
Alto sertão Sergipano	Média		4920.34	2.29
	Desvio Padrão			0.80
Baixo São Francisco	Média		1949.93	1.48
	Desvio Padrão			0.57
Centro sul Sergipano	Média		3525.70	2.26
	Desvio Padrão			0.75
Grande Aracaju	Média		2180.29	0.76
	Desvio Padrão			0.31
Leste Sergipano	Média		1511.96	1.07
	Desvio Padrão			0.50
Médio Sertão Sergipano	Média		1081.06	0.41
	Desvio Padrão			0.68
Sul Sergipano	Média		3126.95	1.49
	Desvio Padrão			0.56

1.17 DEFLATORES SETORIAIS IMPLÍCITOS

	Setores de Atividade Econômica	CI	DF
S1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	1,469	1,335
S2	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	1,190	1,109
S3	Produção florestal pesca e aquicultura	1,038	0,997
S4	Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos	0,797	0,909
S5	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	1,347	1,676
S6	Outros Extrativismos	1,062	0,940
S7	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	1,332	1,180
S8	Fabricação e refino de açúcar	1,531	1,227
S9	Outros produtos alimentares	1,553	1,261
S10	Fabricação de bebidas	1,162	1,101
S11	Fabricação de produtos do fumo	1,356	1,195
S12	Fabricação de produtos têxteis	1,072	1,009
S13	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	1,166	1,303
S14	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	1,512	1,119
S15	Fabricação de produtos da madeira	1,112	0,798
S16	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	1,180	0,929
S17	Impressão e reprodução de gravações	1,054	0,379
S18	Refino de petróleo e coquerias	1,142	1,140
S19	Fabricação de biocombustíveis	1,112	0,933
S20	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	1,213	1,082
S21	Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos	0,952	0,839
S22	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	1,153	1,134
S23	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	1,057	1,083
S24	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	1,149	1,167
S25	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	1,104	1,053
S26	Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	1,185	1,359
S27	Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais	0,879	1,016
S28	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	1,216	1,133
S29	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	1,000	1,115
S30	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	1,134	0,983
S31	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos	1,145	1,039
S32	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	0,988	1,025
S33	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	1,113	1,028
S34	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	1,037	1,048
S35	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	1,215	1,206
S36	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	1,060	1,170
S37	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	0,930	1,043
S38	Água, esgoto e gestão de resíduos	1,073	1,188
S39	Construção	1,179	1,143
S40	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	0,987	1,095
S41	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	1,060	1,071
S42	Transporte terrestre	1,026	1,072
S43	Transporte aquaviário	1,238	0,954
S44	Transporte aéreo	1,100	1,230
S45	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	1,035	1,035
S46	Alojamento	1,266	1,112
S47	Alimentação	1,090	1,051
S48	Edição e edição integrada à impressão	1,228	1,086
S49	Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	1,041	1,029
S50	Telecomunicações	1,032	0,974
S51	Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	0,939	0,871
S52	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	1,094	1,122
S53	Atividades imobiliárias	1,116	1,046
S54	Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas	1,041	1,050
S55	Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D	1,164	1,075
S56	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	1,242	1,260
S57	Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual	1,050	0,910
S58	Outras atividades administrativas e serviços complementares	1,088	1,138
S59	Atividades de vigilância, segurança e investigação	0,992	1,221
S60	Administração pública, defesa e seguridade social	1,189	1,018
S61	Educação pública	1,019	1,005
S62	Educação privada	1,117	1,120
S63	Saúde pública	1,443	1,105
S64	Saúde privada	1,383	1,192
S65	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	0,976	0,876
S66	Organizações associativas e outros serviços pessoais	1,209	1,074
S67	Serviços domésticos	1,000	1,097

Fonte: Adaptado de TRU/IBGE.

1.18 AGREGAÇÃO SETORIAL

Classificação setorial original	Agregação	
1 Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	S1	Agricultura
2 Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	S2	Pecuária
3 Produção florestal pesca e aquicultura	S3	Produção florestal pesca e aquicultura
4 Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos 5 Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio 6 Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração 7 Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos	S4	(4 + 5 + 6 + 7) Indústria extrativa
8 Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca 9 Fabricação e refino de açúcar 10 Outros produtos alimentares 11 Fabricação de bebidas 12 Fabricação de produtos do fumo 13 Fabricação de produtos têxteis 14 Confecção de artefatos do vestuário e acessórios 15 Fabricação de calçados e de artefatos de couro 16 Fabricação de produtos da madeira 17 Fabricação de celulose, papel e produtos de papel 18 Impressão e reprodução de gravações 19 Refino de petróleo e coquerias 20 Fabricação de biocombustíveis 21 Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros 22 Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos 23 Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal 24 Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos 25 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico 26 Fabricação de produtos de minerais não-metálicos 27 Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura 28 Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais 29 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos 30 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos 31 Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos 32 Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos 33 Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças 34 Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores 35 Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores 36 Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas 37 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	S5	(8 + 9 + ... + 37) Indústria de transformação
38 Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	S6	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades
39 Água, esgoto e gestão de resíduos	S7	Água, esgoto e gestão de residuos
40 Construção	S8	Construção
41 Transporte terrestre 42 Transporte aquaviário 43 Transporte aéreo 44 Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	S9	(41 + 42 + 43 + 44) Transporte
45 Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas 46 Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores 47 Alojamento 48 Alimentação 49 Edição e edição integrada à impressão 50 Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem 51 Telecomunicações 52 Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação 53 Intermediação financeira, seguros e previdência complementar 54 Atividades imobiliárias 55 Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas 56 Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D 57 Outras atividades profissionais, científicas e técnicas 58 Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual 59 Outras atividades administrativas e serviços complementares 60 Atividades de vigilância, segurança e investigação 61 Educação privada 62 Saúde privada 63 Atividades artísticas, criativas e de espetáculos 64 Organizações associativas e outros serviços pessoais 65 Serviços domésticos	S10	(45 + 46 + ... + 65) Serviços
66 Administração pública, defesa e seguridade social	S11	Administração pública, defesa e seguridade social
67 Educação pública	S12	Educação pública
68 Saúde pública	S13	Saúde pública

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Relatório de Cenários Climáticos
(Produto 1.2)

São Paulo, novembro/2025

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS COM MODELOS CMIP6 3

2.1 SSP1: SUSTAINABILITY (TAKING THE GREEN ROAD) 4
2.2 SSP2: MIDDLE OF THE ROAD 5
2.3 SSP3: REGIONAL RIVALRY (A ROCKY ROAD) 5
2.4 SSP5: FOSSIL-FUELED DEVELOPMENT (TAKING THE HIGHWAY) 6

3 METODOLOGIA 6

3.1 METODOLOGIA PARA PREVISÃO CLIMÁTICA DE CURTO PRAZO 6
3.1.1 ESTRATÉGIAS DE ESTIMAÇÃO DE CURTO PRAZO 11
3.2 METODOLOGIA PARA A CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE LONGO PRAZO 15
3.2.1 COMPONENTES E RESOLUÇÃO ESPACIAL 16
3.2.2 EVIDÊNCIAS PARA O BRASIL E IMPORTÂNCIA DA REPRESENTAÇÃO DE LONGO PRAZO MRI-ESM2-0 E EC-EARTH3-VEG PARA SERGIPE 16
3.2.3 ESTRATÉGIAS DE ESTIMAÇÃO DOS CENÁRIOS SSP 17

4 CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA SERGIPE 19

4.1 CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE CURTO PRAZO 19
4.2 CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE LONGO PRAZO 25
4.2.1 SSP5-8.5: CENÁRIO DE DESENVOLVIMENTO FÓSSIL-INTENSIVO 28
4.2.2 SSP3-7.0: CENÁRIO DE RIVALIDADES REGIONAIS 28
4.2.3 SSP2-4.5: CENÁRIO DE "MEIO DO CAMINHO" 29
4.2.4 SSP1-2.6: CENÁRIO SUSTENTÁVEL COM MITIGAÇÃO AMBICIOSA 29
4.3 CHECAGEM DE ROBUSTEZ E DADOS EXPORTADOS 30
4.3.1 BIAS MUNICIPAL 31
4.3.2 ESTATÍSTICAS SAZONAIS 32
4.3.3 DISCREPÂNCIA HISTÓRICA E INCERTEZA FUTURA 33
4.3.4 DIVERGÊNCIA ENTRE CENÁRIOS SSP 36

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 37

6 REFERÊNCIAS 40

7 LISTA DE FIGURAS 42

8 LISTA DE TABELAS 42

1 APRESENTAÇÃO

O presente Relatório é parte integrante de Projeto que tem por escopo a realização de estudos, pesquisas e ações voltados à promoção do desenvolvimento econômico e sustentável do Estado de Sergipe, fornecendo os subsídios técnico-científicos para o planejamento, desenvolvimento e implementação de um Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC e tem por objetivo específico, a construção de cenários climáticos para o Estado de Sergipe. Neste documento, os cenários serão construídos considerando a temperatura média máxima estadual, sendo essa uma das mais importantes métricas para se avaliar mudanças climáticas.

As projeções de longo prazo serão realizadas com base nos modelos CMIP6 MRI-ESM2-0 e CMIP6 EC-Earth3-Veg, com correção de viés a partir dos dados históricos do BR-DWGD (*Daily gridded meteorological variables in Brazil*). Um modelo de curto prazo com aprendizado de máquina do tipo CatBoost também foi construído para melhor validar o comportamento inicial dos modelos de longo prazo.

Dessa forma, o documento é apresentado por esta Fundação e corresponde ao Produto 1.2, previsto no Contrato nº 8/2025, firmado com a Secretaria de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas - SEMAC, atendendo à etapa de elaboração de cenários climáticos para o Estado de Sergipe, e tem por objetivo subsidiar a tomada de decisão dos agentes públicos, particularmente no desenho de políticas que busquem mitigar o impacto das mudanças nos níveis de temperatura nas próximas décadas.

2 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS COM MODELOS CMIP6

A sexta fase do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP6), coordenada pelo *World Climate Research Programme (WCRP*), representa um marco significativo na evolução da modelagem climática global (EYRING et al., 2016). Com a participação de mais de 30 (trinta) grupos de modelagem e aproximadamente 100 (cem) modelos climáticos, um aumento substancial em relação aos 40 (quarenta) modelos de 20 (vinte) grupos no CMIP5, o CMIP6 estabelece novos padrões de complexidade e abrangência na análise do sistema terrestre. Esta ampliação não é meramente quantitativa, ela reflete uma transformação qualitativa fundamental na forma como a comunidade científica aborda as incertezas climáticas, os vieses sistemáticos dos modelos e a integração entre processos físicos e socioeconômicos (EYRING et al., 2016; IPCC, 2021).

O CMIP6 estrutura-se em torno de três questões científicas centrais que orientam suas investigações: (1) Como o sistema terrestre responde a diversos forçamentos externos e internos? (2) Quais são as origens e consequências dos vieses sistemáticos presentes nos modelos climáticos? (3) Como avaliar adequadamente as mudanças climáticas futuras, considerando a variabilidade interna do sistema, a previsibilidade limitada e as incertezas inerentes aos cenários socioeconômicos? (EYRING et al., 2016).

Para endereçar estas questões, o CMIP6 incorpora 23 projetos de intercomparação de modelos (*Model Intercomparison Projects-MIPs)* endossados, incluindo o ScenarioMIP, que se dedica especificamente à análise dos novos cenários *Shared Socioeconomic Pathways (SSPs*) (O'NEILL et al., 2016).

Os *Shared Socioeconomic Pathways* representam uma evolução conceitual fundamental em relação aos Representative Concentration Pathways (RCPs) utilizados no CMIP5 (RIAHI et al., 2017; VAN VUUREN et al., 2011). Enquanto os RCPs focavam primordialmente nos níveis de forçamento radiativo sem detalhar as trajetórias socioeconômicas subjacentes, os SSPs integram narrativas socioeconômicas detalhadas com os níveis de forçamento, criando um arcabouço mais holístico para avaliar tanto a mitigação, quanto a adaptação às mudanças climáticas (O'NEILL et al., 2017; RIAHI et al., 2017).

Os SSPs foram desenvolvidos para abordar explicitamente dois eixos fundamentais: os desafios para mitigação (redução de emissões) e os desafios para adaptação (capacidade de resposta aos impactos climáticos) (O'NEILL et al., 2017). Esta bidimensionalidade permite explorar sistematicamente como diferentes trajetórias de desenvolvimento socioeconômico influenciam tanto a magnitude das mudanças climáticas, quanto a vulnerabilidade das sociedades a seus impactos.

Os SSPs que serão abordados neste estudo podem ser descritos de forma sucinta, como se segue:

2.1 SSP1: SUSTAINABILITY (TAKING THE GREEN ROAD)

O SSP1 descreve uma trajetória caracterizada por baixos desafios tanto para mitigação, quanto para adaptação (O'NEILL et al., 2017). Neste cenário, a humanidade adota um caminho de desenvolvimento sustentável e inclusivo, com ênfase deliberada na redução de desigualdades intra e internacionais. A população global atinge seu pico em meados do século XXI, seguida por declínio gradual, refletindo transições demográficas associadas à melhoria da educação e empoderamento, particularmente feminino (RIAHI et al., 2017).

A narrativa do SSP1 enfatiza uma reorientação de valores sociais, onde o bem-estar humano assume prioridade sobre o crescimento econômico puro (O'NEILL et al., 2017). Esta transformação cultural facilita a transição acelerada para sistemas energéticos baseados em fontes renováveis e a adoção de práticas de uso da terra mais eficientes e menos degradantes (RIAHI et al., 2017). Uma das principais variantes é o SSP1-2.6, que alcança emissões líquidas zero por volta de 2075, com concentrações de CO_2 estabilizando-se entre 393-450 ppm até 2100 (MEINSHAUSEN et al., 2020; ROGELJ et al., 2018).

2.2 SSP2: MIDDLE OF THE ROAD

O SSP2 representa uma continuação de tendências históricas sem transformações sociais, econômicas ou tecnológicas dramáticas (O'NEILL et al., 2017). Este cenário caracteriza-se por desafios médios tanto para mitigação, quanto para adaptação, refletindo um mundo onde o progresso em direção a objetivos de desenvolvimento sustentável é lento e desigual. As desigualdades persistem, tanto entre nações quanto dentro delas, e o crescimento populacional modera-se gradualmente, estabilizando-se no final do século (RIAHI et al., 2017).

O SSP2-4.5 projeta que as emissões de CO_2 permaneçam em níveis próximos aos atuais até aproximadamente 2050, seguidas por declínio gradual, porém sem atingir emissões líquidas zero até 2100 (MEINSHAUSEN et al., 2020). O forçamento radiativo estabiliza-se em 4,5 W/m² até o final do século, representando um cenário intermediário frequentemente utilizado como referência comparativa (O'NEILL et al., 2016; TEBALDI et al., 2021).

2.3 SSP3: REGIONAL RIVALRY (A ROCKY ROAD)

O SSP3 descreve uma trajetória pessimista, caracterizada por altos desafios para mitigação e adaptação (O'NEILL et al., 2017). Este cenário visualiza um mundo marcado por nacionalismo ressurgente, competição intensificada entre nações, e fragmentação geopolítica. O foco em segurança doméstica e autossuficiência regional leva ao declínio de investimentos em educação, tecnologia e cooperação internacional (RIAHI et al., 2017).

O SSP3-7.0 projeta que as emissões de CO_2 potencialmente dobrem até 2100, com forçamento radiativo atingindo 7,0 W/m², um nível que implica mudanças climáticas severas e potencialmente irreversíveis em múltiplos componentes do sistema terrestre (MEINSHAUSEN et al., 2020; TEBALDI et al., 2021).

2.4 SSP5: FOSSIL-FUELED DEVELOPMENT (TAKING THE HIGHWAY)

O SSP5 descreve uma trajetória de desenvolvimento acelerado, alimentado por combustíveis fósseis, caracterizado por altos desafios para mitigação, mas baixos desafios para adaptação (KRIEGLER et al., 2017; O'NEILL et al., 2017). Este cenário visualiza rápido progresso tecnológico, integração profunda de mercados globais e exploração intensiva de recursos de combustíveis fósseis convencionais e não convencionais (KRIEGLER et al., 2017).

O SSP5-8.5 representa o extremo superior do espectro de forçamento radiativo no CMIP6, projetando que as emissões de CO_2 tripliquem até 2075, com concentrações excedendo 1.135 ppm até 2100 (MEINSHAUSEN et al., 2020). O aquecimento projetado é de aproximadamente 4,4°C até 2081-2100, com forçamento radiativo atingindo 8,5 W/m² (TEBALDI et al., 2021). Este cenário é particularmente importante para avaliar impactos sob mudanças climáticas severas e testar a resiliência de sistemas naturais e humanos a perturbações extremas (IPCC, 2021).

Em linhas gerais, o CMIP6 estabeleceu quatro cenários prioritários designados como Tier 1, que devem ser analisados ao se modelar cenários climáticos futuros: SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5 (O'NEILL et al., 2016). Esta seleção cobre o espectro completo de forçamento radiativo de 2,6 a 8,5 W/m² até 2100, e representa diversas combinações de desafios de mitigação e adaptação (TEBALDI et al., 2021).

A inclusão do SSP3-7.0 como cenário Tier 1 é particularmente significativa, preenchendo uma lacuna importante entre os cenários intermediários e de altas emissões do CMIP5 (O'NEILL et al., 2016). Este cenário permite explorar um espaço de possibilidades onde a mitigação é difícil devido à fragmentação geopolítica, mas o aquecimento não atinge os níveis extremos do SSP5-8.5 (O'NEILL et al., 2017). Esta região do espaço de cenários é relevante para o planejamento de adaptação em contextos de governança climática subótima.

3 METODOLOGIA

3.1 METODOLOGIA PARA PREVISÃO CLIMÁTICA DE CURTO PRAZO

Neste capítulo, será apresentada a metodologia aplicada para a previsão da temperatura máxima para Sergipe e para os seus oito territórios em curto prazo, sendo

também um passo importante para a calibração dos cenários de longo prazo via modelagem CMIP6.

Os dados foram construídos a partir da base de dados de Xavier (2022), doravante BR-DWGD (*Brazilian Daily Weather Gridded Data*)**.** Trata-se de um conjunto de dados meteorológicos diários em grade regular que cobre todo o território brasileiro. A versão atual disponibiliza séries diárias de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C), radiação solar (MJ m^{-2}), umidade relativa (%) e velocidade do vento a 2 m (m s^{-1}). Os campos são fornecidos em resolução espacial de 0,10° × 0,10° e abrangem, conforme a atualização mais recente, o período de 01/01/1961 até 20/03/2024.

Os dados resultam da interpolação de uma grande rede observacional nacional: o produto original utilizou ~1.252 estações meteorológicas e ~11.473 pluviômetros, com avaliação cruzada para selecionar, variável a variável, ou seja, o método de espacialização com melhor desempenho. A maior resolução espacial do BR-DWGD é particularmente útil para as previsões da tendência climática em regiões mais desagregadas, como é o caso dos territórios sergipanos. O *dataset* é distribuído em arquivos NetCDF (com metadados e unidades padronizadas) e como uma *ImageCollection* no Google Earth Engine, o que facilita consultas e análises espaciais.

As previsões foram feitas a partir de métodos de *machine learning*, um subconjunto da inteligência artificial que utiliza algoritmos para que os sistemas aprendam e encontrem padrões. Os algoritmos adotados para a previsão são baseados em *Gradient Boosting Machines (GBMs)***,** que são métodos de aprendizado supervisionado amplamente empregados em tarefas de classificação e regressão devido ao seu excelente desempenho, especialmente reconhecidos por sua eficiência tanto em competições de ciência de dados quanto em aplicações práticas reais (Friedman, 2001).

Para a obtenção dos resultados contidos neste Relatório, foram utilizadas três bibliotecas que implementam os GBMs: XGBoost, CatBoost e LightGBM. Foi realizado um comparativo entre as técnicas e os resultados obtidos, com avaliação dos hiperparâmetros. A técnica de *Gradient Boosting* constrói modelos preditivos fortes combinando múltiplos modelos mais simples, geralmente árvores de decisão. Após a realização de várias estimativas, observou-se que o CatBoost apresentou o melhor desempenho.

Vale ressaltar, contudo, que modelos baseados em *boosting*, embora eficazes para previsões de curto prazo por capturarem relações complexas e não lineares entre as

variáveis de entrada e o valor futuro a ser previsto, não possuem, por construção, uma estrutura estocástica que reproduza choques ou inovações aleatórias ao longo do tempo.

Ainda que o procedimento recursivo introduza uma dinâmica interna, na medida em que cada previsão passa a influenciar as subsequentes por meio dos *lags* e médias móveis, o processo permanece determinístico, uma vez que o modelo utiliza exclusivamente as informações disponíveis (observadas ou previstas) como insumo. Assim, a previsibilidade tende a aumentar artificialmente à medida que o horizonte se expande, resultando em padrões sazonais repetitivos e suavização excessiva da série.

Ainda assim, foi aplicada uma alternativa metodológica que permitiu estender o horizonte de previsão até dezembro de 2030. Após o ajuste e validação do modelo CatBoost até 2024, implementou-se um procedimento recursivo em que as previsões mensais passam a alimentar as variáveis defasadas (como *lags* e médias móveis) nos períodos seguintes, enquanto as características fixas dos municípios, tais como latitude, longitude, altitude e distância da costa, são mantidas constantes.

Dessa forma, cada nova estimativa depende das condições previstas no mês anterior, preservando a coerência temporal e a sazonalidade capturada pelo modelo, ainda que sem introdução de ruído estocástico. Essa abordagem permite simular a trajetória provável da temperatura no horizonte de longo prazo, mantendo consistência estrutural e continuidade entre as fases observada e projetada da série.

O CatBoost (abreviação de "*Categorical Boosting*") é um algoritmo de aprendizado de máquina baseado em *Gradient Boosting*[1]. Ele foi desenvolvido pela empresa russa Yandex e é projetado para trabalhar de forma eficiente com variáveis categóricas e evitar problemas comuns como *overfitting* (sobreajuste) e instabilidade numérica. O CatBoost é amplamente utilizado em tarefas de classificação, regressão e previsão de séries temporais. Durante o treinamento, ele cria um conjunto de árvores de decisão contínua. Cada árvore seguinte é construída reduzindo o *loss,* comparado com as anteriores.

CatBoost (“impulsionamento categórico”) concentra-se em colunas categóricas usando técnicas de permutação, *one_hot_max_size* (OHMS) e estatísticas baseadas em alvo. CatBoost resolve o crescimento exponencial da combinação de recursos usando o

[1] Em termos simples, o *boosting* é uma abordagem onde modelos são treinados sequencialmente, e cada novo modelo tenta corrigir os erros cometidos pelos modelos anteriores. O *Gradient Boosting* aprimora essa sequência ao minimizar uma função de perda (como LogLoss para classificação ou RMSE para regressão), utilizando o gradiente da função de perda como guia para otimizar os modelos.

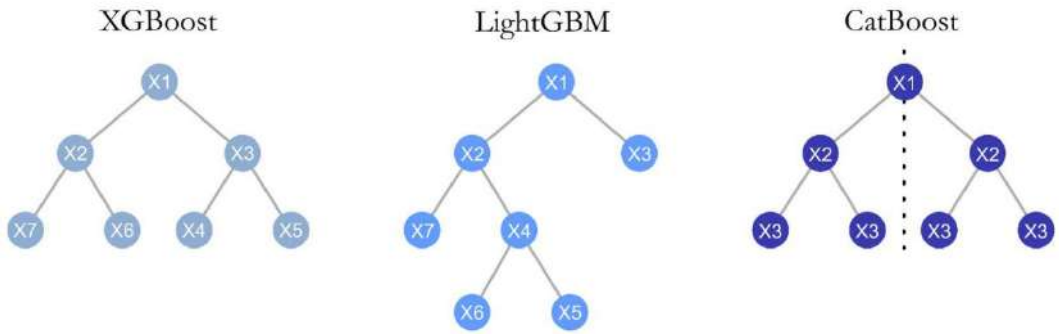
método *greedy* em cada nova divisão da árvore atual. Além disso, a construção é feita por árvores simétricas e o algoritmo suporta colunas categóricas (Dorogush et al., 2017).

Desde o seu lançamento em 2018, o CatBoost tem se destacado pela capacidade de lidar com variáveis categóricas de alta cardinalidade e heterogeneidade nos dados, características que frequentemente aparecem em bases de dados complexas, como aquelas utilizadas em finanças, astronomia e biologia (Hancock & Khoshgoftaar, 2020). Por exemplo, na astronomia, Khramtsov et al. (2020) demonstraram que o CatBoost foi o algoritmo mais eficaz para classificar objetos celestes em um conjunto de dados heterogêneos de 15 terabytes, destacando seu desempenho em dados categóricos.

Em finanças, Xia et al. (2020) mostraram que o CatBoost supera outras técnicas, como redes neurais e florestas aleatórias, na previsão de inadimplência em empréstimos, quando combinado com técnicas de extração de características textuais.

A implementação do CatBoost (Figura 1) é baseada na construção de árvores simétricas ou "*oblivious tree*". Isto implica que o mesmo critério de divisão é usado em todo o nível da árvore, as quais são balanceadas e menos propensas a overfitting.

Figura 1: Comparativo do crescimento da Árvore no XGBoost, LightGBM e CatBoost



Fonte: SO (2024).

Entre as vantagens das árvores assimétricas, destaca-se sua flexibilidade em modelar interações complexas entre variáveis. No entanto, essas árvores apresentam também algumas desvantagens. Por terem estruturas variadas em seus ramos, são mais difíceis de paralelizar[2], o que pode tornar o treinamento mais lento em ambientes com alta demanda computacional. Além disso, elas podem ser mais suscetíveis a *overfitting* em cenários com dados ruidosos, pois a flexibilidade na construção dos ramos pode levar a modelos excessivamente ajustados às particularidades do conjunto de treinamento.

[2] Paralelizar significa processar diferentes partes ou etapas da construção da árvore ao mesmo tempo.

Embora o CatBoost compartilhe a base do *Gradient Boosting* com outros algoritmos, como XGBoost e LightGBM, ele possui características únicas que o diferenciam. Uma das principais inovações do CatBoost é o seu tratamento avançado de variáveis categóricas. Diferente de outros algoritmos que exigem pré-processamento como *one-hot encoding* ou *label encoding*, o CatBoost lida nativamente com essas variáveis, o que simplifica o processo e aumenta a eficiência. Ele utiliza uma técnica chamada *Target Statistics*, que substitui os valores categóricos por estimativas estatísticas baseadas na variável alvo, como a média da variável alvo para cada categoria. Este processo é implementado de maneira eficiente para evitar vazamento de dados, garantindo que o modelo não use informações futuras que não estariam disponíveis no momento da previsão.

As inovações incorporadas pelo algoritmo, tais como *Ordered Target Statistics* e *Ordered Boosting*, ajudam a mitigar problemas comuns como *overfitting* e *target leakage*, melhorando a generalização do modelo em cenários reais. Estudos comparativos demonstram que, ao lidar com dados heterogêneos, o CatBoost frequentemente supera outras implementações de GBDT, como XGBoost e LightGBM, embora sua eficiência em dados homogêneos, como imagens, seja inferior a métodos baseados em redes neurais profundas (HANCOCK; KHOSHGOFTAAR, 2020; MATSUSAKA et al., 2018).

O CatBoost é amplamente aplicado em diversas áreas devido à sua flexibilidade e robustez. Em tarefas de classificação, ele é usado para identificar se um cliente irá cancelar um serviço ou se uma transação é fraudulenta. Em problemas de regressão, é comum empregá-lo para prever preços de imóveis ou o valor de vendas futuras. Ele também é eficiente em séries temporais, como previsão de clima, demanda ou preços, e em sistemas de recomendação, onde ajuda a identificar produtos ou conteúdos que os usuários podem gostar. Essas características fazem do CatBoost uma ferramenta poderosa para resolver problemas complexos, simplificando o processo de desenvolvimento de modelos robustos e eficientes. Seja pela precisão, facilidade de uso ou sua capacidade de lidar com variáveis categóricas, o CatBoost se destaca como uma solução moderna e versátil em aprendizado de máquina.

O CatBoost é uma implementação do algoritmo *Gradient Boosted Decision Trees (GBDT),* introduzido originalmente por Friedman (2001). O GBDT é um método iterativo que minimiza uma função de perda $L(y, F_t(x))$, onde $F_t(x)$ representa o modelo preditivo na iteração *t*. A cada passo, o algoritmo adiciona uma nova função $h_t(x)$ ao modelo, escolhida de forma a minimizar os resíduos do modelo anterior:

$$h_t(x) = arg \underbrace{min}_{h \in H} \mathbb{E}[L(y, F_{t-1}(x) + h(x))]$$

Onde H é o conjunto de candidatos para $h_t(x)$, frequentemente representado por árvores de decisão. O objetivo é ajustar $h_t(x)$ para reduzir os erros residuais $y - F_{t-1}(x)$, levando o modelo $F_t(x) = F_{t-1}(x) + h_t(x)$ a aproximar cada vez mais os valores reais y.

Uma das principais inovações do CatBoost é o método de *Ordered Target Statistics* (Estatísticas-Alvo Ordenadas), projetado para lidar com variáveis categóricas de alta cardinalidade, que são comuns em grandes conjuntos de dados heterogêneos. Para cada variável categórica, o algoritmo utiliza estatísticas-alvo ordenadas para codificá-la. Essa abordagem evita vazamento de informações ao excluir o valor do alvo *yi* associado ao dado em questão durante o processo de codificação.

A fórmula geral para a codificação de variáveis categóricas é dada por:

$$\widehat{x_i} = \frac{\sum_{j \in D_k} 1_{x_j = x_i} \cdot y_i + ap}{\sum_{j \in D_k} 1_{x_j = x_i} + a}$$

Em que:

- ✓ D_k é um subconjunto dos dados determinados por uma permutação aleatória;
- ✓ $1_{x_j = x_i}$ é uma função indicadora que assume o valor 1 se $x_j = x_i$ e 0 caso contrário;
- ✓ p é um valor prior, tipicamente definido como a média do alvo y no conjunto de treinamento;
- ✓ $a > 0$ é um hiperparâmetro que evita divisão por zero.

Essa codificação assegura que y_i não seja utilizado para calcular $\widehat{x_i}$, prevenindo a superestimação das correlações entre as variáveis.

3.1.1 ESTRATÉGIAS DE ESTIMAÇÃO DE CURTO PRAZO

Foram coletados dados mensais de temperatura máxima da BR-DWGD de janeiro de 1980 a março de 2024 para os 75 (setenta e cinco) municípios sergipanos. Além disso, foram consideradas outras variáveis para auxiliar na previsão, tais como: altitude, latitude, longitude, distância da costa e de cobertura do solo.

A dupla latitude/longitude posiciona cada local no gradiente térmico amplo do território, capturando variações de insolação, circulação atmosférica e padrões regionais de massas de ar; a distância à costa atua como *proxy* do efeito marítimo (maior umidade e menor amplitude térmica), que tende a moderar máximas próximas ao oceano e permitir aquecimento mais pronunciado no interior. As altitudes (camada principal e alternativa) incorporam o efeito adiabático: áreas mais elevadas, em média, registram temperaturas

máximas menores pela queda da temperatura com a elevação e por microclimas associados ao relevo. Em conjunto, essas variáveis ancoram o modelo em controles geográficos e topográficos de primeira ordem, reduzindo viés espacial e melhorando a capacidade de generalização das previsões.

As previsões realizadas distinguem-se, essencialmente, por três eixos: (i) o conjunto de informações utilizado como preditores, (ii) a forma de representar a sazonalidade e (iii) a família de algoritmo empregada. No primeiro eixo, partiu-se de especificações endógenas; isto é, que usam apenas a própria série de temperatura, baseadas em defasagens (lags de 1, 12 e 24 meses), médias móveis calculadas de modo causal (roll3 e roll12 com deslocamento) e um termo de tendência temporal (t_idx). A partir desse núcleo, foram compostas versões "parcimoniosas" que mantêm o mínimo necessário para boa previsão, e versões enriquecidas com variáveis exógenas fixas (latitude, longitude e distância à costa, bem como altitudes média e da sede municipal), além de variantes que incorporam covariáveis temporais de uso do solo. Em alguns cenários, adicionou-se o identificador do município como variável categórica, permitindo capturar efeitos locais não observados.

No segundo eixo, foram comparadas duas representações para a sazonalidade: funções de Fourier (K=1 e K=2), que impõem uma estrutura contínua e suave aos ciclos anual e semianual, e *dummies* de mês, que relaxam essa estrutura ao permitir diferenças arbitrárias entre meses. A opção por Fourier é mais parcimoniosa e tende a generalizar bem com menos parâmetros; por sua vez, as *dummies* são úteis quando há assimetrias mensais marcantes que não se ajustam a formas senoidais.

O terceiro eixo contrasta três famílias de métodos de *boosting* em árvores: XGBoost, LightGBM e CatBoost. XGBoost e LightGBM operam naturalmente com variáveis numéricas e costumam exigir codificação para categóricas; CatBoost, por sua vez, foi concebido para lidar com categóricas de forma nativa, o que se traduz em ganhos consistentes quando "município" é incluído como efeito categórico. Na prática, todos os métodos se beneficiam das defasagens e da sazonalidade; entretanto, o CatBoost frequentemente extrai ganhos adicionais quando existem interações não lineares entre efeitos espaciais (geo/altitude) e o componente sazonal.

O protocolo de avaliação foi mantido constante para garantir honestidade preditiva: a calibração de hiperparâmetros (Optuna) foi restrita ao período até 2018. Ademais, os modelos foram treinados até 2022 e avaliados out-of-sample em 2023–2024. Esse desenho evita vazamento de informação e permite comparar, de forma justa, o benefício marginal de cada bloco de variáveis. Em todas as especificações, a construção

de *lags* e médias móveis considerou apenas a informação passada, prevenindo antecipação indevida do futuro.

De maneira geral, os resultados indicam que:

a) o núcleo endógeno, que inclui *lags*, médias móveis, tendência e sazonalidade, fornece um baseline robusto;

b) a inclusão de informações espaciais fixas (latitude, longitude, distância à costa e altitudes) tende a reduzir o erro quando há heterogeneidade climática entre localidades; e

c) o uso do solo geralmente aumenta os erros dos modelos.

Em termos de codificação sazonal, Fourier oferece um equilíbrio favorável entre parcimônia e desempenho, ao passo que *dummies* podem capturar idiossincrasias mensais às custas de maior complexidade. Esses achados orientam a escolha de modelos conforme o objetivo: especificações parcimoniosas e com Fourier para cenários de generalização ampla e custos computacionais reduzidos; e variantes com blocos espaciais e categóricos, quando a diferenciação local e as interações estruturais são determinantes para a previsão.

A Tabela 1 resume os principais resultados encontrados das 14 (quatorze) estimativas realizadas:

Tabela 1: Estrutura do modelo e métricas do resultado

MODELO	GRUPO/FEATURES (RESUMO)	RMSE	MAE	R^2
CatBoost	Fourier K=1&2 = geo (lat/lon/dist) + altitudes + lags (1,12,24) + roll(3,12) + t_idx	1.000	0.79	0.78
CatBoost	Fourier K=1&2 + geo (lat/lon/dist) + municipio (cat.) + lags + rolls + t_idx	1.009	0.82	0.78
CatBoost	Fourier K=1&2 + geo (lat/lon/dist) + lags + rolls + t_idx	1.014	0.81	0.78
CatBoost	Endógeno (lags + roll) + Fourier K=1&2 + t_idx	1.051	0.87	0.76
CatBoost	Fourier K=1&2 + geo + altitudes + uso do solo (anual) + lags + rolls + t_idx	1.059	0.85	0.75
Light GBM	Fourier K=1&2 + geo + altitudes + lags + rolls + t_idx	1.199	0.96	0.69
XGBoost	Endógeno (lags + roll) + Fourier K=1&2 + t_idx	1.250	1.016	0.66
XGBoost	Endógeno (lags + roll) + dummies de mês + t_idx	1.258	1.042	0.66
Light GBM	Endógeno (lags + roll) + Fourier K=1&2 + t_idx	1.275	1.004	0.65
XGBoost	Parcimonioso (lags) + dummies de mês + t_idx + geo + alt + município (cat.)	1.283	1.009	0.64
Light GBM	Parcimonioso (lags) + Fourier K=1 + t_idx + geo + alt + município (cat.)	1.312	0.99	0.63
XGBoost	Fourier K=1&2 + geo + altitudes + lags + rolls + t_idx	1.319	1.060	0.62
XGBoost	Parcimonioso (lags) + Fourier K=1&2 + t_idx + geo + alt + município (cat.)	1.358	1.064	0.6

MODELO	GRUPO/FEATURES (RESUMO)	RMSE	MAE	R^2
CatBoost	Parcimonioso (lags) + dummies de mês + t_idx + geo + alt + município (cat.)	1.374	1.108	0.59

Notas: RMSE – Raiz do Erro Quadrático Médio; MAE – Erro absoluto médio; R^2 – Coeficiente de Determinação.
Fonte: Elaboração própria - FIA (2025).

Em que:

i. Fourier K=1 / Fourier K=1&2: **Componentes sazonais contínuos para mês, tal que** K=1**:** sin(2π·mes/12) e cos(2π·mes/12); **K=1&2:** as quatro: sin_1, cos_1, sin(4π·mes/12), cos(4π·mes/12). Tem por objetivo captar sazonalidade anual e semianual de forma suave.

ii. **geo (lat/lon/dist):** Conjunto de variáveis geográficas **fixas**: latitude (**lat**), longitude (**lon**) e **dist** = distância até a costa (**distancia_costa**).

iii. **alt** / **altitudes:** Variáveis de altitude **fixas** do arquivo físico (quando disponíveis), tipicamente alttd_m e alttd_c.

iv. **lags(1,12,24)** ou **lags:** Defasagens da própria **tmax** por município (memória temporal):
lag_1 = valor do mês anterior; lag_12 = mesmo mês do ano anterior; lag_24 = mesmo mês de dois anos antes.

v. **roll(3,12)** ou **rolls**: Médias móveis da própria **tmax,** usando **apenas passado** (com shift(1) para evitar vazamento); roll3 = média dos últimos 3 meses; roll12 = média dos últimos 12 meses.

vi. **t_idx:** Índice de tendência: contagem de meses desde o início da série (0, 1, 2, …). Captura tendência de longo prazo.

vii. **dummies de mês**: Indicadores binários para cada mês (jan.…dez.). Em alguns códigos, uma *dummy* é omitida para evitar colinearidade perfeita.

viii. **município (cat.)**: Identificador do município tratado como **variável categórica** pelo modelo.

ix. **uso do solo (anual)**: Variáveis anuais (em proporção) associadas a cada município/ano e categoria de uso do solo obtidas no MapBiomas.

x. **Endógeno (lags + roll) +:** O modelo usa **apenas a própria tmax** e suas transformações temporais (lags, médias móveis, sazonalidade Fourier/dummies, tendência). **Sem** variáveis externas (geo, alt, município, uso do solo).

xi. **Parcimonioso (lags) +:** Conjunto **mínimo** de preditores fortes (tipicamente lags + um bloco de sazonalidade + tendência), ao qual podem ser adicionados blocos simples (geo/alt/município).

Conforme apresentado na tabela anterior, o melhor desempenho foi obtido pelo **CatBoost** com Fourier K=1&2 + variáveis geográficas — latitude/longitude, distância à costa + altitudes + lags e médias móveis + t_idx. Esse modelo alcançou **RMSE = 1,00°C, MAE = 0,80°C** e **R^2 = 0,78**, superando as demais combinações. Isso quer dizer que, em

média, as previsões de tmax mensal por município erram cerca de 0,8 °C, e que os erros grandes são relativamente raros (o RMSE só 0,2 °C acima do MAE indica cauda moderada de grandes desvios). Em termos operacionais, erros nessa ordem são bons para clima em escala municipal/mensal: eles são menores do que a variabilidade sazonal típica entre meses e do que muitos gradientes espaciais associados a fatores geográficos (distância da costa, altitude), ou seja, o modelo captura a maior parte do "sinal" útil.

O resultado sugere que a composição entre (i) **sazonalidade contínua** via Fourier, (ii) **características físicas estáticas** do território (posição, distância do mar e altitude, que incorporam efeitos orográficos e marítimos) e (iii) **memória temporal** (*lags e rollings*) permite ao CatBoost capturar bem **não linearidades e interações** relevantes para a temperatura máxima. Além disso, o CatBoost lida de forma eficiente com ***features*** **heterogêneas** e distribuições distintas, o que contribui para previsões mais estáveis no período de teste (2023–2024).

3.2 METODOLOGIA PARA A CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE LONGO PRAZO

A construção de cenários climáticos regionais robustos de longo prazo é fundamental para o planejamento de políticas de adaptação às mudanças climáticas. Neste estudo, serão utilizados o modelo CMIP6 MRI-ESM2-0 e o CMIP6 EC-Earth3-Veg (*Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0*) para a elaboração de projeções climáticas para o Estado de Sergipe.

Baseando-se em avaliações sistemáticas de modelos CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) para o Brasil e regiões tropicais, argumenta-se que o MRI-ESM2-0 apresenta desempenho superior na simulação de temperatura, particularmente temperatura máxima, em comparação com outros modelos globais.

O Estado de Sergipe, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta vulnerabilidade expressiva às mudanças climáticas devido à sua posição geográfica, diversidade de ecossistemas (litoral, agreste e sertão) e dependência de atividades econômicas sensíveis ao clima, como agricultura e recursos hídricos. A região Nordeste é particularmente suscetível a eventos extremos, incluindo secas prolongadas e ondas de calor, fenômenos que tendem a se intensificar sob cenários de aquecimento global (VASCONCELOS JUNIOR et al., 2024).

A elaboração de cenários climáticos regionais confiáveis requer a seleção criteriosa de modelos climáticos globais (GCMs) que demonstrem habilidade em representar adequadamente os processos físicos relevantes para a região de interesse. A

fase 6 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6) fornece um conjunto robusto de simulações de múltiplos modelos, permitindo avaliações comparativas de desempenho baseadas em dados observacionais (EYRING et al., 2016).

O MRI-ESM2-0 é um modelo do sistema terrestre desenvolvido pelo Meteorological Research Institute (MRI), uma instituição de pesquisa vinculada à Agência Meteorológica do Japão (JMA). Este modelo representa a evolução da família de modelos MRI, incorporando avanços significativos em relação às versões anteriores utilizadas no CMIP5 (YUKIMOTO et al., 2019).

3.2.1 COMPONENTES E RESOLUÇÃO ESPACIAL

O MRI-ESM2-0 é um modelo acoplado que integra múltiplos componentes do sistema terrestre:

i. Componente Atmosférico (MRI-AGCM3.5): Resolução espectral TL159, correspondente a aproximadamente 100km na horizontal, com 80 (oitenta) níveis verticais. Esta alta resolução vertical permite melhor representação de processos estratosféricos que influenciam o clima de superfície.
ii. Componente Oceânico (MRI.COM4.4): Grade com resolução de 1° em longitude e 0,5° em latitude, com 61 (sessenta e um) níveis verticais. Esta configuração possibilita representação adequada de processos oceânicos relevantes para o clima regional.
iii. Componente de Superfície Terrestre (HAL): O *Hydrological-thermal-dynamic Acceleration model for Land* incorpora processos hidrológicos, térmicos e dinâmicos da superfície terrestre, essenciais para simulações em regiões com variabilidade hídrica como o Nordeste brasileiro.
iv. Componente de Gelo Marinho (MRI.COM-SI): Embora menos relevante para Sergipe, contribui para a consistência global do modelo.
v. Química Atmosférica (MASINGAR mk-2r4c): Inclui representação de aerossóis e processos químicos atmosféricos.

3.2.2 EVIDÊNCIAS PARA O BRASIL E IMPORTÂNCIA DA REPRESENTAÇÃO DE LONGO PRAZO MRI-ESM2-0 E EC-EARTH3-VEG PARA SERGIPE

Um estudo abrangente avaliou o desempenho de 35 (trinta e cinco) modelos CMIP6 na simulação do clima presente (1995-2014) sobre o Brasil, comparando saídas dos modelos com dados observacionais de alta qualidade, como o *Climatic Research Unit* (CRU) Time Series e a reanálise ERA5 (FIRPO et al., 2022). Esta avaliação utilizou múltiplas métricas estatísticas, incluindo análise de vieses, correlações espaciais, diagramas de Taylor e índices de habilidade.

O MRI-ESM2-0 foi classificado como o modelo de melhor desempenho para simulações de temperatura mensal sobre o Brasil, ocupando a primeira posição no ranking geral. Esta classificação baseou-se em análises que consideraram tanto temperatura média quanto amplitude térmica, sendo diretamente relevante para estudos de temperatura máxima. É importante destacar que embora todos os modelos CMIP6 apresentem desafios na região Nordeste (classificada como área de desempenho mais difícil devido à complexidade climática), o MRI-ESM2-0 mostrou performance superior à maioria dos concorrentes, com redução de vieses sistemáticos em temperatura.

Já o modelo CMIP6 EC-Earth3-Veg é conhecido por incorporar uma modelagem dinâmica da vegetação. O EC-Earth3-Veg incorpora o módulo LPJ-GUESS (*Lund-Potsdam-Jena General Ecosystem Simulator*), que busca representar interações dinâmicas entre vegetação, ciclo de carbono e clima. Isso permite avaliar feedbacks entre mudanças climáticas e ecossistemas terrestres. Para o caso de Sergipe, esse aspecto é particularmente importante, pois é uma região que apresenta vegetação diversificada (manguezais, Mata Atlântica, Caatinga com transição para o Agreste). O modelo EC-Earth3-Veg será utilizado como suporte ao MRI-ESM2-0 em um ensemble para a construção dos cenários de longo prazo.

Estudos de temperatura máxima são particularmente relevantes para Sergipe. Primeiramente, com relação à atividade agropecuária, temperaturas máximas mais elevadas afetam a produção de culturas como milho, arroz e laranja, culturas essas que mais contribuem para o PIB agrícola do Estado. Além disso, o estresse térmico em animais está diretamente relacionado a picos de temperatura.

Em termos de status da saúde pública, temperaturas máximas mais elevadas estão associadas a um aumento nas ondas de calor, as quais representam um risco crescente para a população.

3.2.3 ESTRATÉGIAS DE ESTIMAÇÃO DOS CENÁRIOS SSP

O MRI-ESM2-0, classificado como um dos melhores modelos para temperatura no Brasil, é particularmente adequado para estas aplicações. Sua capacidade em simular extremos de temperatura garante que projeções de dias com temperatura acima de limiares críticos (ex.: 35 °C, 38 °C) sejam mais confiáveis.

O MRI-ESM2-0 apresenta sensibilidade climática de equilíbrio (ECS) moderada, em torno de 3,1K, próxima à mediana do conjunto CMIP6 (ZELINKA et al., 2020). Esta característica é vantajosa, pois evita projeções excessivamente pessimistas

(como modelos com ECS > 5 K) ou otimistas (ECS < 2,5 K), proporcionando cenários equilibrados para o planejamento de Sergipe.

Os dados para a construção dos cenários climáticos SSP para Sergipe via modelo MRI-ESM2-0 e EC-Earth3-Veg foram obtidos no Earth Grid System Federation. Os dados de referência são formados pela série de temperatura máxima do *Brazilian Daily Weather Gridded Data de janeiro de 1980 a março de 2024* para o Estado de Sergipe, conjuntamente com as previsões CatBoost realizadas para o período de abril de 2024 a dezembro de 2030.

Para se adequar à resolução espacial dos dados históricos do BR-DWGD, os dados do MRI-ESM2-0 e do EC-Earth3-Veg foram reamostrados para o grid do BR-DWGD. Para a correção de viés em relação aos dados históricos, foi utilizado o método *Quantile Delta Mapping* (QDM) (CANNON et al., 2015; SHRESTHA et al., 2017; HEO et al., 2019), utilizando como período de calibração o intervalo de janeiro de 2015 a março de 2024, período de interseção entre os resultados dos cenários SSP e os dados observados pelo *Brazilian Daily Weather Gridded.* Finalmente, foi construído um ensemble entre os modelos MRI-ESM2-0 e EC-Earth3-Veg para Sergipe aplicando pesos idênticos aos dois modelos, e projetando os resultados com correção de viés até 2100.

A Tabela 2 apresenta o resultado da correção de viés pelo QDM. Observa-se que para todos os cenários SSP, as principais estatísticas da distribuição da temperatura máxima se assemelham agora aos dados observacionais, objetivo do método *Quantile Delta Mapping.* Os resultados dos modelos sem correção apresentam alto viés, principalmente nos quantis da distribuição, o que não mais ocorre com os resultados corrigidos.

Tabela 2: Resultados do Quantile Delta Mapping para Tmax °C aplicados sobre o ensemble MRI-ESM2-0 e EC-Earth3-Veg (jan./2015 a mar./2024)

RESULTADOS SEM CORREÇÃO					
	TMAX OBSERVADA	SSP1-2.6: TMAX NÃO-CORRIGIDA	SSP2-4.5: TMAX NÃO-CORRIGIDA	SSP3-7.0: TMAX NÃO-CORRIGIDA	SSP5-8.5: TMAX NÃO-CORRIGIDA
Média	31.0147	29.5444	29.5448	29.7304	29.3825
Desvio-Padrão	2.3990	2.5596	2.4916	2.5311	2.5264
Mínimo	24.6703	24.0463	24.0695	24.0033	23.9054
Máximo	37.5916	36.4727	36.8403	36.2918	37.1379
Quantil 25	29.0097	27.3061	27.4123	27.4940	27.1680
Quantil 50	31.4390	29.4695	29.5678	29.6801	29.2899
Quantil 75	32.9199	31.6863	31.3953	31.7338	31.4033

RESULTADOS COM CORREÇÃO DE VIÉS					
	TMAX OBSERVADA	SSP1-2.6: TMAX CORRIGIDA	SSP2-4.5: TMAX CORRIGIDA	SSP3-7.0: TMAX CORRIGIDA	SSP5-8.5: TMAX CORRIGIDA
Média	31.0147	31.0147	31.0147	31.0147	31.0147
Desvio-Padrão	2.3990	2.3990	2.3990	2.3990	2.3989
Mínimo	24.6703	24.6703	24.6703	24.6703	24.6703
Máximo	37.5916	37.5916	37.5916	37.5916	37.5916
Quantil 25	29.0097	29.0097	29.0097	29.0097	29.0098
Quantil 50	31.4390	31.4389	31.4389	31.4390	31.4390
Quantil 75	32.9199	32.9200	32.9199	32.9199	32.9199

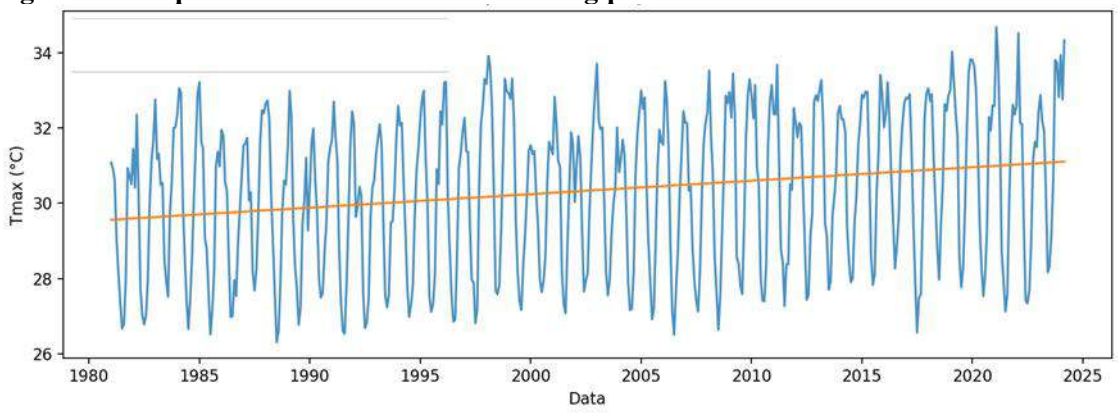
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

4 CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA SERGIPE

4.1 CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE CURTO PRAZO

A Figura 2 apresenta os dados mensais da temperatura máxima em Sergipe, observados até o último ponto disponível (março de 2024). Os resultados tendenciais mostram um aumento médio de aproximadamente 1,3 °C entre 1980 e março de 2024.

Figura 2: Temperatura máxima mensal em Sergipe e tendência linear

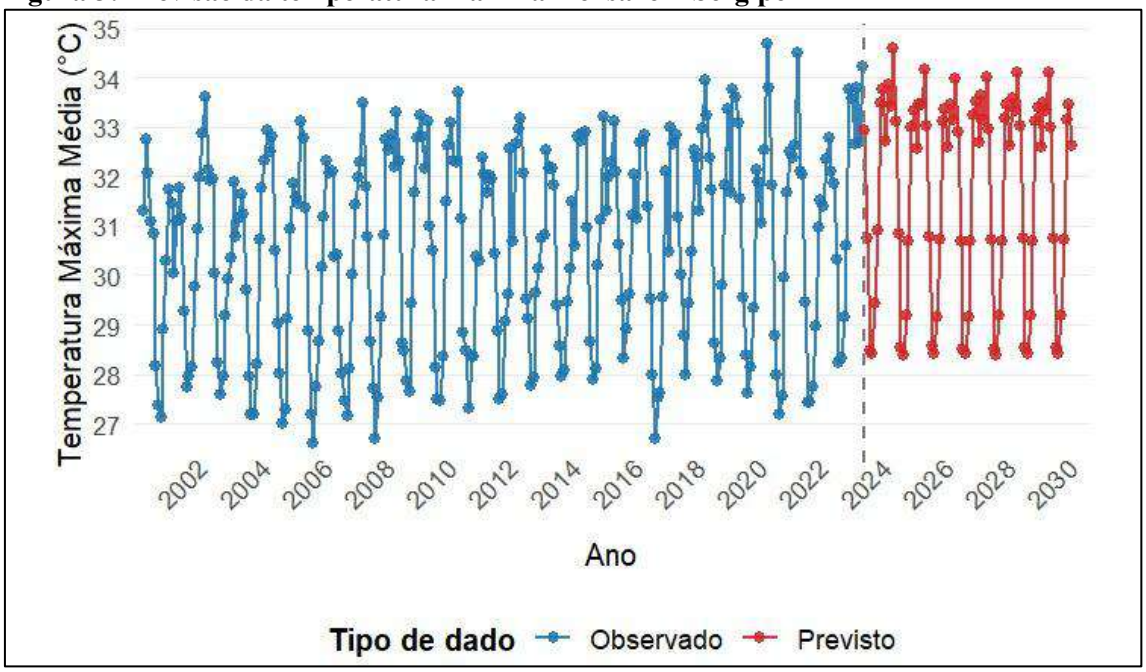


Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O CatBoost de melhor desempenho foi utilizado para construir previsões da temperatura média máxima para os 75 (setenta e cinco) municípios de Sergipe, no período 2024-2030. Os resultados foram então agregados em nível estadual.

A Figura 3 apresenta as temperaturas médias máximas mensais previstas para Sergipe até 2030.

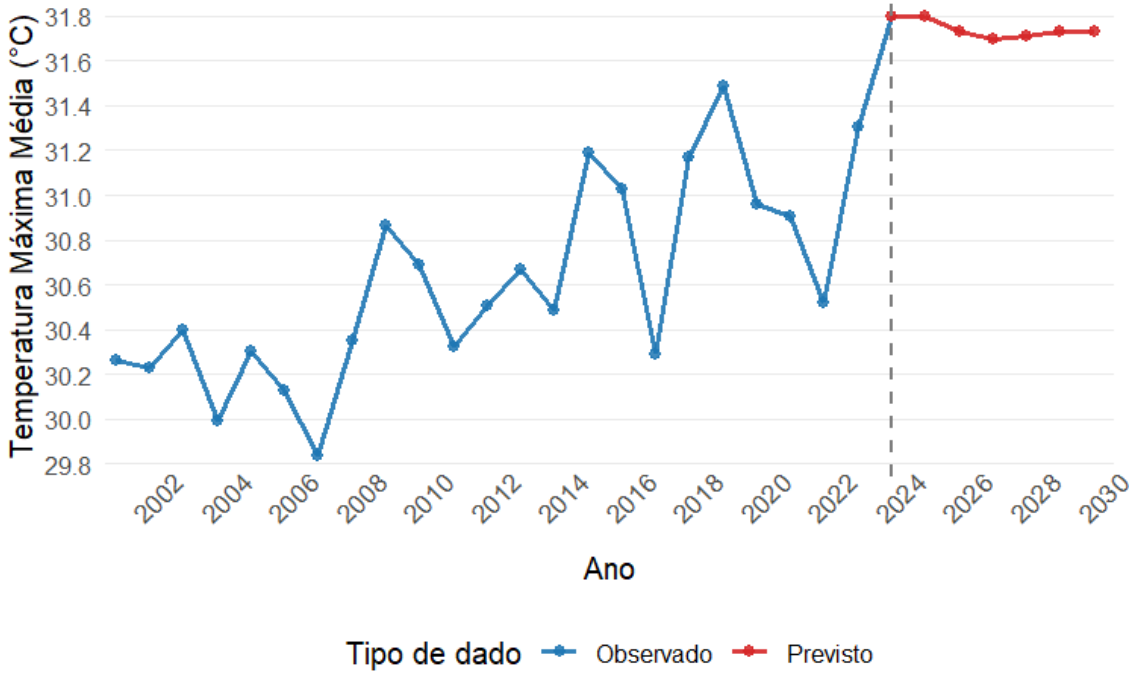
Figura 3: Previsão da temperatura máxima mensal em Sergipe



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Na agregação anual, observa-se que as previsões para a temperatura média máxima (Figura 4) se estabilizam na faixa entre 31,6°C e 31,8°C, até 2030. Esses resultados serão utilizados para a correção de viés dos modelos de longo prazo CMIP6.

Figura 4: Previsão da temperatura máxima anual em Sergipe

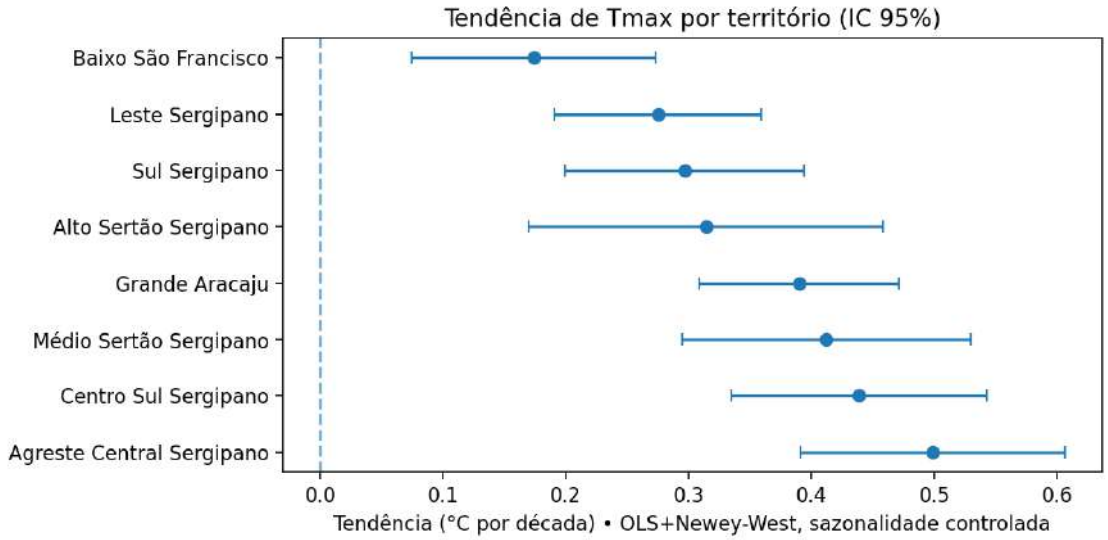


Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Tendo em vista os bons resultados apresentados pelo CatBoost, foi seguida a mesma lógica anterior utilizando o algoritmo para a previsão da temperatura para cada um dos oito territórios de Sergipe até 2030. Aqui, foram realizadas três pequenas alterações: i) exclusão das variáveis cuja relevância para a explicação foi menor que 1% (um por cento); ii) apresentação de previsões para cada território com dados diários; e iii) realização de previsões para cada território com dados mensais.

A Figura 5 ilustra o aumento tendencial decenal da temperatura máxima nos territórios de Sergipe entre 1981 e abril de 2024. Observa-se que o território do Agreste Central Sergipano apresenta a maior tendência de elevação média da temperatura máxima ao longo do tempo (+0,5°C em média por década), enquanto o território do Alto Sertão Sergipano, que historicamente apresenta as temperaturas médias mais elevadas do Estado, é o território que apresenta a maior incerteza na estimativa do aumento tendencial, consequentemente apresentando um intervalo de confiança mais amplo.

Figura 5: Incremento tendencial decenal da temperatura máxima nos territórios sergipanos (1981 a março de 2024)



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Em relação aos dados mensais, além dos dados considerados na Tabela 1, foram incluídas quatro funções harmônicas representando a sazonalidade anual. Estas variáveis capturam o padrão cíclico das temperaturas ao longo do ano, garantindo flexibilidade na representação da sazonalidade.

Ademais, a amostra foi dividida em três blocos temporais: de 1981 até 2018**,** cujo período foi utilizado exclusivamente para otimização de hiperparâmetros via validação cruzada temporal (*TimeSeriesSplit*); de 1981 até 2022, em que foi realizado o treino; e separando os últimos 12 (doze) meses para teste e avaliação. Esta divisão

assegura independência temporal entre ajuste e validação, evitando vazamento de informação.

A calibração dos hiperparâmetros do CatBoost foi realizada utilizando o pacote Optuna, com busca bayesiana (*TPE Sampler*) e função de custo baseada no RMSE médio de validação cruzada. Os parâmetros otimizados foram: iterations, depth, learning rate, l2 *leaf reg, subsample, bagging temperature e random_strength*. Como resultado, o RMSE médio via validação cruzada foi 0,60. Esses parâmetros equilibram profundidade moderada de árvores, taxa de aprendizado intermediária e regularização adequada para evitar sobreajuste.

O modelo CatBoost foi treinado com todas as variáveis explicativas descritas. O desempenho foi avaliado sobre o conjunto de teste para os últimos 12 (doze) meses, resultando nos seguintes indicadores:

- RMSE: 1,22;
- MAE: 1,04 e
- R^2: 0,72.

A importância relativa das variáveis foi calculada com base na contribuição média das *splits* em cada árvore. O ranking das *features* mostrou predominância das componentes sazonais e defasagens curtas e médias.

Os resultados indicam que: i) a **temperatura do mês anterior** e a **sazonalidade anual** são as principais determinantes do comportamento térmico mensal; ii) as **defasagens mais longas (lag 12 e lag 24)** e **médias móveis** reforçam a persistência temporal do clima; iii) a **latitude** e a **distância à costa** evidenciam gradientes espaciais associados à posição geográfica e à influência marítima; e iv) o **índice temporal** sugere uma tendência de longo prazo, possivelmente ligada ao aquecimento regional.

Com base na análise de importância, o modelo foi reestimado utilizando apenas as 15 (quinze) variáveis com peso relativo superior a 1% (um por cento). Essa etapa teve por objetivo verificar se a exclusão de *features* redundantes afetaria o desempenho preditivo. Os resultados do modelo refinado mostraram ligeira melhoria em todas as métricas:

- RMSE = 1,17;
- MAE = 0,98; e
- R^2: 0,74.

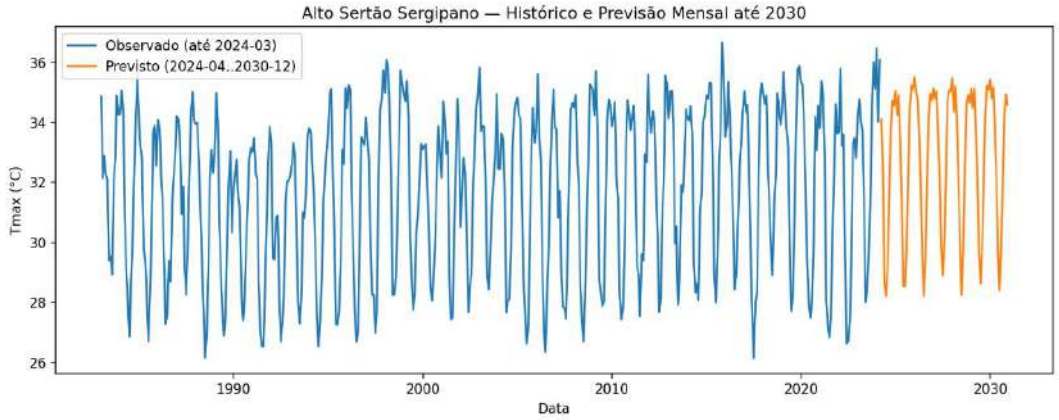
A Tabela 3 apresenta as médias decenais históricas dos territórios sergipanos e as estimativas da temperatura máxima mensal média entre abril de 2024 e dezembro de 2030. O território do Alto Sertão Sergipano apresenta o maior valor previsto (32,45°C), em consonância com a tendência histórica de altas temperaturas médias apresentadas pelo território. Contudo, **o maior incremento** na temperatura máxima média prevista ocorre **no território da Grande Aracaju**, onde se observa um aumento de +0,8°C em relação ao período de janeiro de 2020 a março de 2024. Na Figura 6, em sequência, são apresentadas as previsões mensais para cada território do Estado.

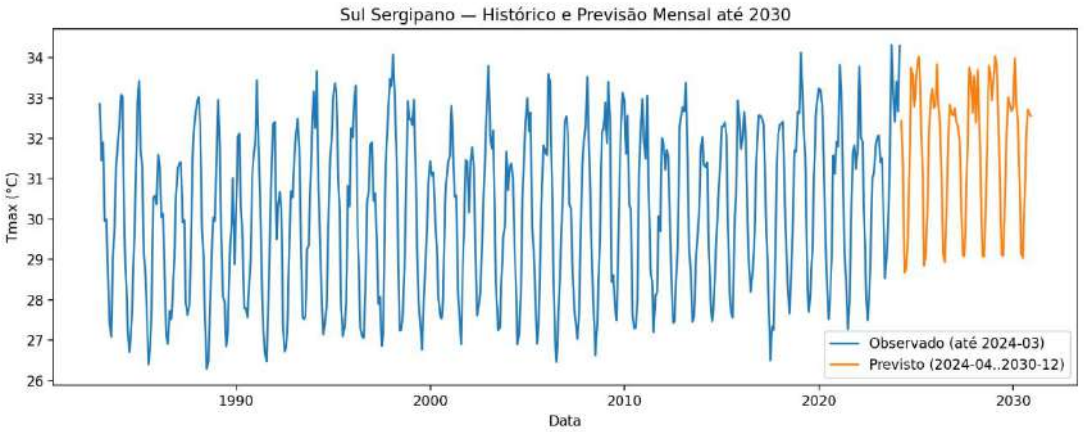
Tabela 3: Médias decenais observadas da Tmax °C e previsão até 2030

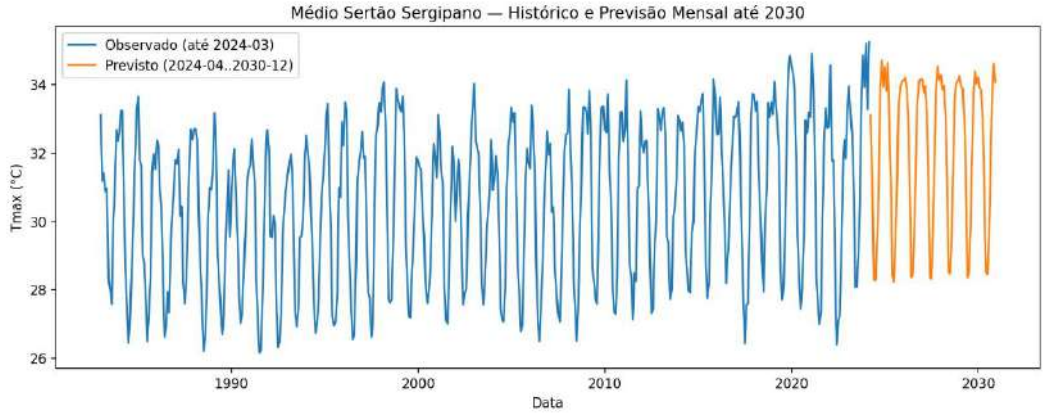
TERRITÓRIOS	1980S	1990S	2000S	2010S	2020 A MARÇO DE 2024	PREVISÃO: ABRIL DE 2024 A 2030
Agreste Central Sergipano	29,34	29,61	29,76	30,76	31,21	**31,48**
Alto Sertão Sergipano	31,18	31,15	31,57	32,19	31,93	**32,45**
Baixo São Francisco	30,41	30,59	30,78	30,98	30,92	**31,56**
Centro Sul Sergipano	29,09	29,58	29,66	30,43	30,86	**31,48**
Grande Aracaju	28,94	29,40	29,51	30,08	30,55	**31,35**
Leste Sergipano	29,65	29,91	30,03	30,40	30,78	**31,38**
Médio Sertão Sergipano	29,91	30,05	30,35	31,08	31,32	**31,81**
Sul Sergipano	29,51	29,97	30,04	30,34	30,88	**31,47**
Sergipe	29,75	30,03	30,21	30,78	31,05	**31,62**

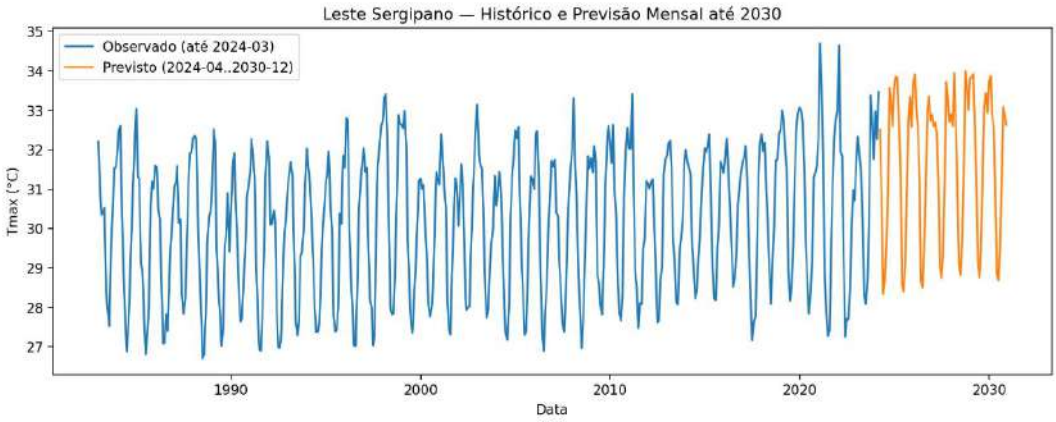
Notas: 1980s, 1990s, ..., 2010s referem-se às médias decenais calculadas a partir dos dados mensais do *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (BR-DWGD). O último dado disponível no BR-DWGD refere-se ao mês de março de 2024. A coluna de previsão refere-se à média mensal prevista no período elencado.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

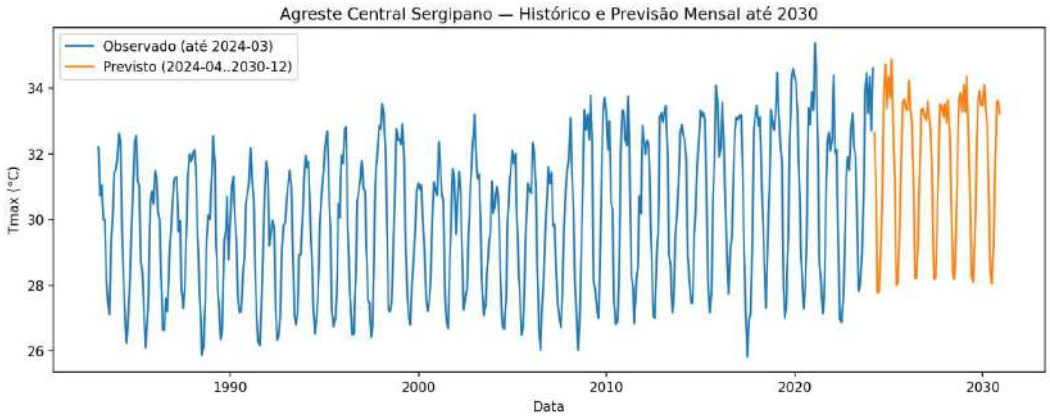
Figura 6: Previsões mensais para os territórios sergipanos (abril de 2024 a dezembro de 2030)

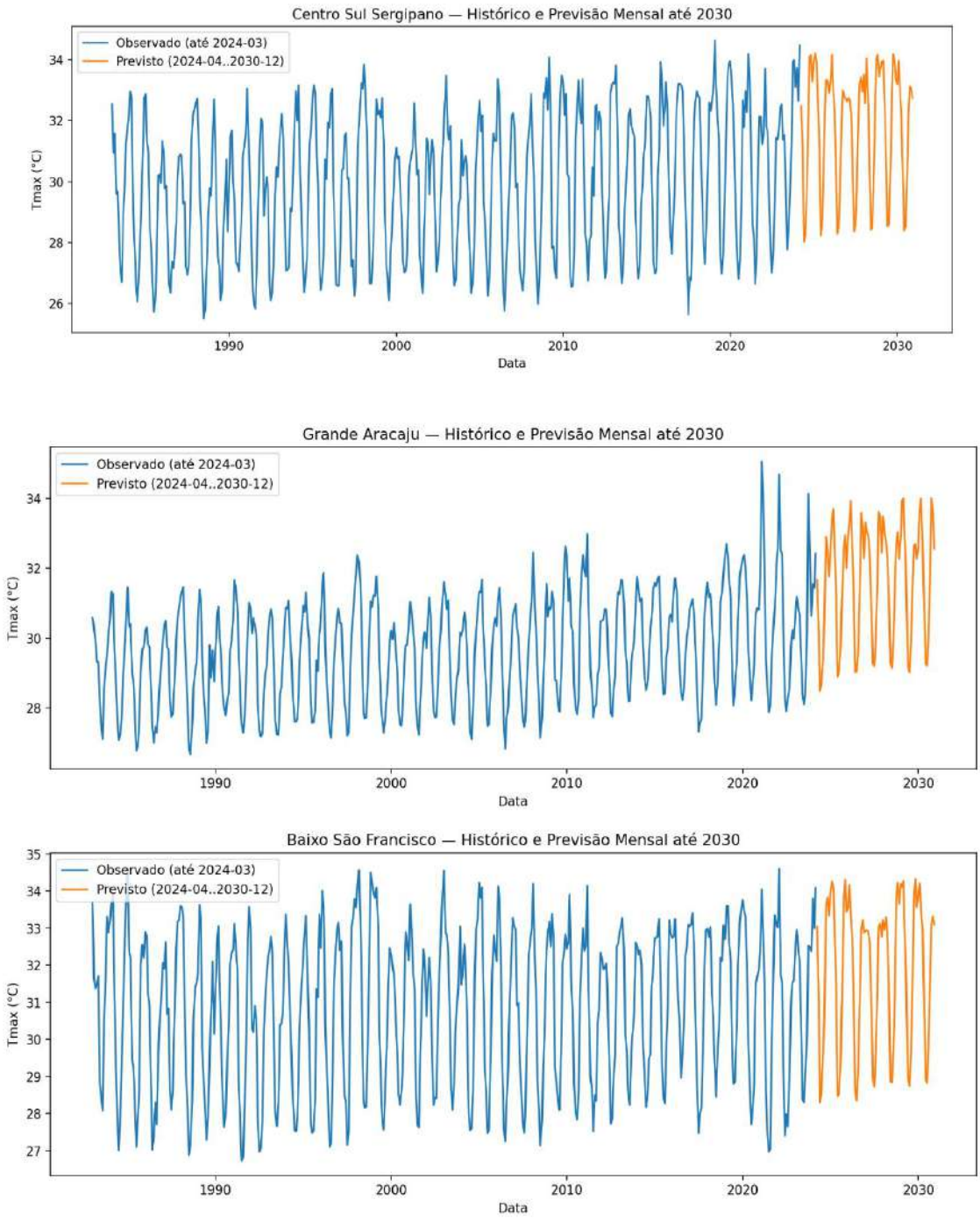



Sul Sergipano — Histórico e Previsão Mensal até 2030
Tmax (°C)
Data
Observado (até 2024-03)
Previsto (2024-04..2030-12)


Médio Sertão Sergipano — Histórico e Previsão Mensal até 2030
Tmax (°C)
Data
Observado (até 2024-03)
Previsto (2024-04..2030-12)


Leste Sergipano — Histórico e Previsão Mensal até 2030
Tmax (°C)
Data
Observado (até 2024-03)
Previsto (2024-04..2030-12)


Agreste Central Sergipano — Histórico e Previsão Mensal até 2030
Tmax (°C)
Data
Observado (até 2024-03)
Previsto (2024-04..2030-12)



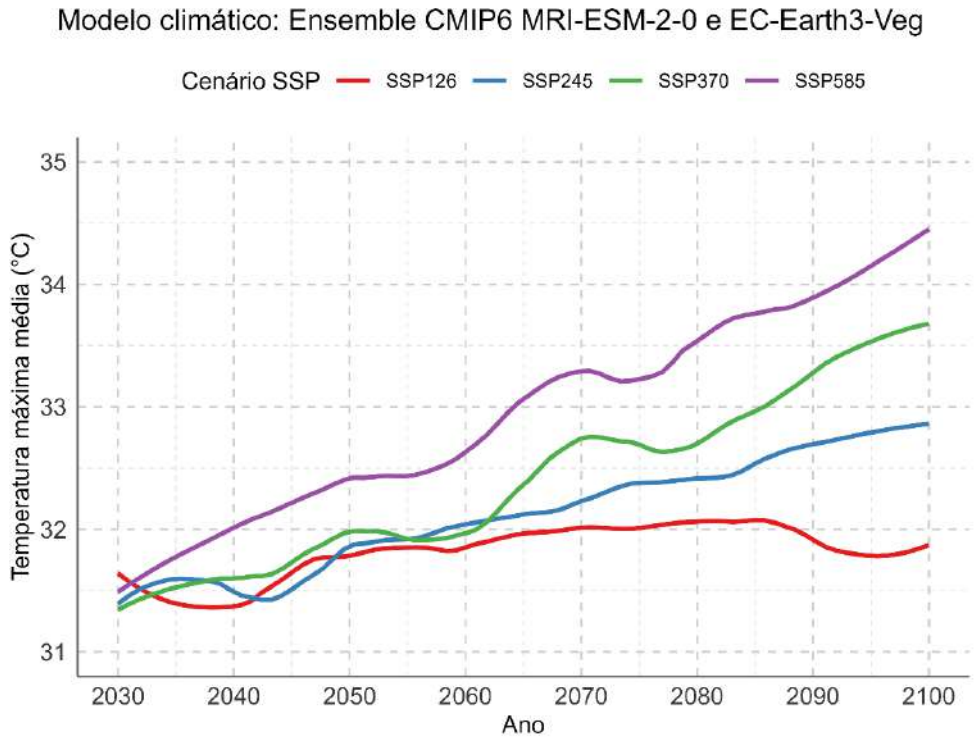
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

4.2 CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE LONGO PRAZO

Como se observa na Figura 7, a inicialização para todos os cenários SSP segue um padrão semelhante à previsão CatBoost para 2030, em cerca de 31,6°C. No SSP5-8.5, considerado um cenário pessimista, observou-se uma elevação da temperatura máxima média anual em cerca de +3°C em Sergipe na sua tendência de longo prazo em 2100, se comparado ao baseline de 2030.

O cenário SSP3-7.0 segue uma tendência próxima ao SSP5-8.5. Mesmo em um cenário considerado como o mais próximo da realidade atual (SSP2-4.5), a tendência é de uma elevação de +1,5°C até 2100. Apenas no cenário mais otimista SSP1-2.6, a temperatura média máxima de Sergipe se estabiliza abaixo de 32°C em relação ao baseline de 2030.

Figura 7: Tendência da temperatura média máxima anual em Sergipe por cenários SSP (2030-2100)



Nota: Viés das trajetórias corrigido via método Quantile Delta Mapping.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A Tabela 4 apresenta as médias decenais não suavizadas para os cenários climáticos de longo prazo construídos para cada território sergipano. Os resultados para o Alto Sertão Sergipano e para a Grande Aracaju chamam a atenção. No Alto Sertão, a temperatura máxima média se aproxima dos 36°C no cenário SSP5-8.5 durante a última década do século, um resultado significativamente acima da média estadual.

Na Grande Aracaju, por sua vez, observou-se a terceira maior elevação da média decenal no cenário SSP5-8.5, em relação ao baseline de 2030: um incremento de aproximadamente +2,8°C, abaixo apenas do Médio Sertão Sergipano (+3°C) e do Alto Sertão (+3,03°C), o que é bastante preocupante.

Tabela 4: Médias decenais previstas da Tmax °C para os territórios sergipanos e cenários SSP.

ALTO SERTÃO SERGIPANO							
	2030S	2040S	2050S	2060S	2070S	2080S	2090S

SSP126	32,28	32,64	33,07	33,01	33,12	33,17	32,77
SSP245	32,80	32,47	32,98	33,13	33,54	33,69	34,18
SSP370	32,49	32,72	32,84	33,46	33,88	34,14	34,84
SSP585	32,90	33,39	33,83	34,50	34,65	35,27	35,93
AGRESTE CENTRAL SERGIPANO							
	2030S	**2040S**	**2050S**	**2060S**	**2070S**	**2080S**	**2090S**
SSP126	31,34	31,59	31,94	31,95	31,97	32,04	31,68
SSP245	31,76	31,36	31,90	32,14	32,36	32,52	33,04
SSP370	31,50	31,87	31,68	32,34	32,65	33,04	33,55
SSP585	32,04	32,29	32,61	33,26	33,45	33,96	34,72
BAIXO SÃO FRANCISCO							
	2030S	**2040S**	**2050S**	**2060S**	**2070S**	**2080S**	**2090S**
SSP126	31,39	31,59	31,95	31,89	31,94	32,02	31,75
SSP245	31,62	31,49	32,00	32,08	32,34	32,50	32,87
SSP370	31,53	31,78	31,90	32,41	32,71	33,02	33,56
SSP585	31,83	32,28	32,60	33,25	33,34	33,88	34,42
CENTRO SUL SERGIPANO							
	2030S	**2040S**	**2050S**	**2060S**	**2070S**	**2080S**	**2090S**
SSP126	30,98	31,17	31,56	31,60	31,57	31,70	31,34
SSP245	31,42	31,05	31,56	31,71	31,98	32,17	32,63
SSP370	31,14	31,47	31,40	31,94	32,29	32,64	33,18
SSP585	31,81	32,04	32,35	33,00	33,23	33,70	34,44
GRANDE ARACAJU							
	2030S	**2040S**	**2050S**	**2060S**	**2070S**	**2080S**	**2090S**
SSP126	30,63	30,73	31,05	31,00	31,04	31,30	31,14
SSP245	30,72	30,81	31,17	31,23	31,55	31,75	32,03
SSP370	30,54	30,88	31,30	31,62	31,99	32,26	32,64
SSP585	30,81	31,35	31,65	32,37	32,50	33,12	33,57
LESTE SERGIPANO							
	2030S	**2040S**	**2050S**	**2060S**	**2070S**	**2080S**	**2090S**
SSP126	30,98	31,13	31,46	31,46	31,45	31,56	31,35
SSP245	31,24	31,09	31,53	31,63	31,88	32,06	32,35
SSP370	31,11	31,34	31,46	31,92	32,21	32,50	32,93
SSP585	31,48	31,87	32,13	32,78	32,85	33,35	33,87
MÉDIO SERTÃO SERGIPANO							
	2030S	**2040S**	**2050S**	**2060S**	**2070S**	**2080S**	**2090S**
SSP126	31,53	31,83	32,18	32,16	32,25	32,38	32,10
SSP245	31,88	31,72	32,25	32,31	32,72	32,86	33,26
SSP370	31,65	31,95	32,13	32,67	33,03	33,32	33,94

SSP585	31,99	32,52	32,93	33,70	33,80	34,37	34,95
SUL SERGIPANO							
	2030S	**2040S**	**2050S**	**2060S**	**2070S**	**2080S**	**2090S**
SSP126	31,00	31,20	31,55	31,53	31,50	31,70	31,43
SSP245	31,26	31,04	31,54	31,66	31,90	32,12	32,55
SSP370	31,03	31,43	31,49	31,98	32,32	32,62	33,14
SSP585	31,52	31,88	32,17	32,78	33,03	33,52	34,16

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A seguir, é apresentada a análise dos resultados para o Estado de Sergipe de forma mais detalhada por cenário SSP.

4.2.1 SSP5-8.5: CENÁRIO DE DESENVOLVIMENTO FÓSSIL-INTENSIVO

O cenário SSP5-8.5 representa trajetória de alto crescimento econômico baseado em combustíveis fósseis, com investimentos limitados em energias renováveis e ausência de políticas climáticas efetivas. Sob este cenário, as projeções indicam aumento de +3°C na temperatura máxima anual para Sergipe até 2100, equivalente à taxa de aquecimento de aproximadamente 0,4°C por década. Este aquecimento supera significativamente o limiar de 2°C estabelecido como meta do Acordo de Paris e aproxima-se dos níveis considerados catastróficos para sistemas naturais e humanos (IPCC, 2021).

Para Sergipe, um incremento de 3°C sobre as temperaturas máximas atuais (que já excedem 33°C em vastas áreas do Sertão durante períodos secos) resultaria em temperaturas máximas frequentemente superiores a 37-39°C, valores que ultrapassam limiares críticos para saúde humana, produtividade agrícola e funcionamento de ecossistemas. A intensificação do estresse térmico seria particularmente severa nas regiões do Alto Sertão sergipano, onde a continentalidade já amplifica as temperaturas extremas.

4.2.2 SSP3-7.0: CENÁRIO DE RIVALIDADES REGIONAIS

O SSP3-7.0 caracteriza-se por fragmentação geopolítica, nacionalismo ressurgente, crescimento econômico lento e fraca cooperação internacional em questões ambientais. As projeções indicam tendência de aquecimento similar ao SSP5-8.5 para Sergipe, embora por trajetória ligeiramente diferente, com possível aceleração do aquecimento após 2070 devido à combinação de emissões acumuladas e feedbacks positivos no sistema climático.

Este cenário é particularmente preocupante, pois combina impactos climáticos severos com reduzida capacidade adaptativa devido à governança fragmentada e investimentos limitados em infraestrutura resiliente. Para Sergipe, estado com desafios socioeconômicos estruturais, a fragmentação da cooperação regional e nacional dificultaria enormemente a implementação de medidas adaptativas necessárias.

A similaridade com SSP5-8.5 em termos de aquecimento, mas com menores capacidades de resposta, torna o SSP3-7.0 potencialmente o cenário mais danoso em termos de impactos líquidos sobre bem-estar e desenvolvimento humano.

4.2.3 SSP2-4.5: CENÁRIO DE "MEIO DO CAMINHO"

O SSP2-4.5 representa trajetória intermediária, com progressos graduais em direção à sustentabilidade, mas insuficientes para transformação sistêmica profunda. O aquecimento projetado de +1,5°C até 2100 posiciona Sergipe marginalmente acima do limite de 1,5°C do Acordo de Paris, considerado como limiar de relativa segurança climática (IPCC, 2021).

Embora menos severo que os cenários anteriores, um incremento de 1,5°C ainda implica mudanças significativas. Temperaturas máximas no Sertão sergipano alcançariam consistentemente 36-37°C, com eventos extremos excedendo 40°C com maior frequência.

Este cenário representa, em muitos aspectos, o limiar entre impactos manejáveis através de adaptação robusta e impactos que exigiriam transformações adaptativas mais disruptivas. Para Sergipe, a diferença entre SSP2-4.5 e cenários mais extremos pode determinar a viabilidade de certos sistemas agrícolas e disponibilidade hídrica em regiões mais vulneráveis.

4.2.4 SSP1-2.6: CENÁRIO SUSTENTÁVEL COM MITIGAÇÃO AMBICIOSA

O SSP1-2.6 representa trajetória de desenvolvimento sustentável com transição rápida para energias limpas, investimentos massivos em eficiência energética, mudanças nos padrões de consumo e cooperação internacional robusta. A estabilização das temperaturas máximas abaixo de 32°C indica alcance bem-sucedido das metas do Acordo de Paris, limitando o aquecimento a níveis minimamente disruptivos.

Para Sergipe, este cenário representaria continuidade aproximada das condições térmicas atuais, com mudanças graduais e manejáveis. A estabilização térmica não

eliminaria totalmente os desafios climáticos — a variabilidade natural continuaria produzindo eventos extremos ocasionais, mas evitaria tendências seculares de deterioração que comprometeriam sistemas adaptativos.

A viabilidade deste cenário depende criticamente de ações imediatas e ambiciosas nas próximas décadas. Para o Brasil e o Estado de Sergipe, implicaria aceleração da transição energética, controle efetivo do desmatamento, modernização agrícola com práticas de baixo carbono, e investimentos sustentados em infraestrutura resiliente.

Os resultados desse estudo mostram que as projeções climáticas para Sergipe se alinham com tendências globais e regionais, embora com algumas particularidades importantes. Em escala global, o IPCC projeta aquecimento de 1,4°C (SSP1-2.6) a 4,4°C (SSP5-8.5) até 2100 em relação ao período pré-industrial (1850-1900), com aquecimento sobre áreas continentais consistentemente superior ao das áreas oceânicas (IPCC, 2021). As projeções para Sergipe (+3°C no SSP5-8.5, relativo a 2030) são consistentes com padrões de aquecimento continental tropical, que tendem a ser ligeiramente amplificados em relação à média global.

Para a América do Sul, projeções do CMIP6 indicam aquecimento particularmente intenso na região Amazônica (até 5-6°C sob SSP5-8.5) devido a retroalimentações entre desmatamento e clima, enquanto áreas costeiras apresentam aquecimento moderado (2-3°C) devido à influência oceânica (REBOITA et al., 2021). Sergipe, em posição costeira, mas com interior continental, situa-se em faixa intermediária deste gradiente.

Especificamente para o Nordeste brasileiro, estudos regionais utilizando modelos do CMIP5 e CMIP6 projetam aquecimento de 2,5-4,5°C sob cenários de alto aquecimento, com maior intensidade no interior semiárido e menor no litoral (MARENGO et al., 2018). As projeções para Sergipe (+3°C) posicionam-se na faixa intermediária destas estimativas, refletindo sua transição geográfica entre litoral e semiárido.

Comparativamente a outras regiões brasileiras, o Nordeste, e Sergipe especificamente, parte de uma linha de base de maior vulnerabilidade (menor renda *per capita*, infraestrutura mais limitada, maior dependência de recursos naturais), significando que incrementos térmicos de magnitude similar produzem impactos mais severos que em regiões mais desenvolvidas.

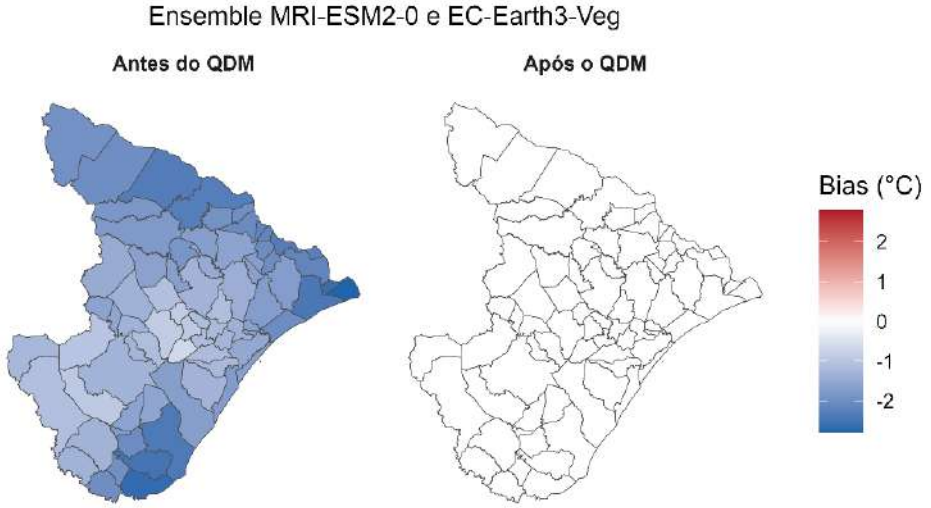
4.3 CHECAGEM DE ROBUSTEZ E DADOS EXPORTADOS

Nesta seção, são apresentados testes adicionais de sensibilidade a fim de avaliar a eficácia da estratégia metodológica implementada, especialmente o QDM[3]. Serão apresentados gráficos consolidados dos erros (bias) municipal, das estatísticas sazonais (DJF, MAM, JJA, SON) dos modelos implementados, da discrepância histórica e incerteza futura a nível municipal e da divergência entre cenários SSP. Todos os resultados da análise de robustez foram exportados para tabelas de Excel, de forma pormenorizada, para cada métrica calculada.

4.3.1 BIAS MUNICIPAL

A Figura 8 apresenta o mapa com a distribuição espacial do bias médio municipal antes e após a aplicação do QDM no período de calibração de janeiro de 2015 a março de 2024. Observa-se que, antes da aplicação do QDM, o ensemble tende sistematicamente a subestimar os valores efetivamente realizados ao longo do período de calibração. Após a aplicação do QDM, o bias é reduzido a valores marginais ao longo dos municípios, o que representa mais um suporte ao uso do ajuste para as projeções de longo prazo.

Figura 8: Distribuição Espacial do Bias da Temperatura Máxima



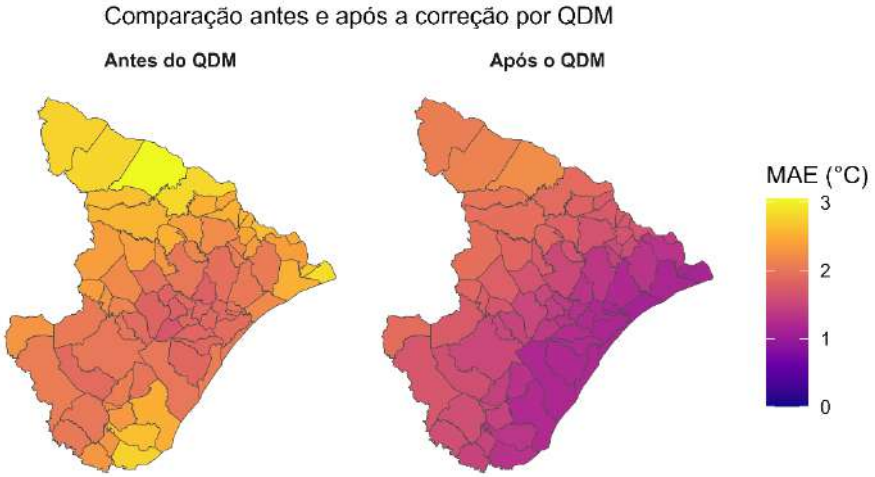
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A Figura 9, por sua vez, apresenta o erro absoluto médio (MAE) do ensemble durante a calibração. Verifica-se que, após a aplicação do QDM, o erro absoluto médio

[3] É importante destacar que a janela amostral utilizada para o QDM (janeiro de 2015 a março de 2024) foi devido às condições iniciais dos grids dos modelos MRI-ESM2-0 e do EC-Earth3-Veg para cenários SSP até 2100, cujos valores iniciam a partir de janeiro de 2015. Janelas alternativas mais longas para o QDM, como por exemplo a partir dos anos 2000 ou anterior, exigiriam que a temporalidade dos modelos MRI-ESM2-0 e EC-Earth3-Veg também sobrepusessem essas faixas temporais anteriores, o que não ocorre nos modelos aqui utilizados.

municipal é sensivelmente reduzido, alcançando um valor em torno de 1,53°C para a temperatura máxima, o que é bem aceitável dada a natureza do estudo.

Figura 9: Erro Absoluto Médio da Temperatura Máxima



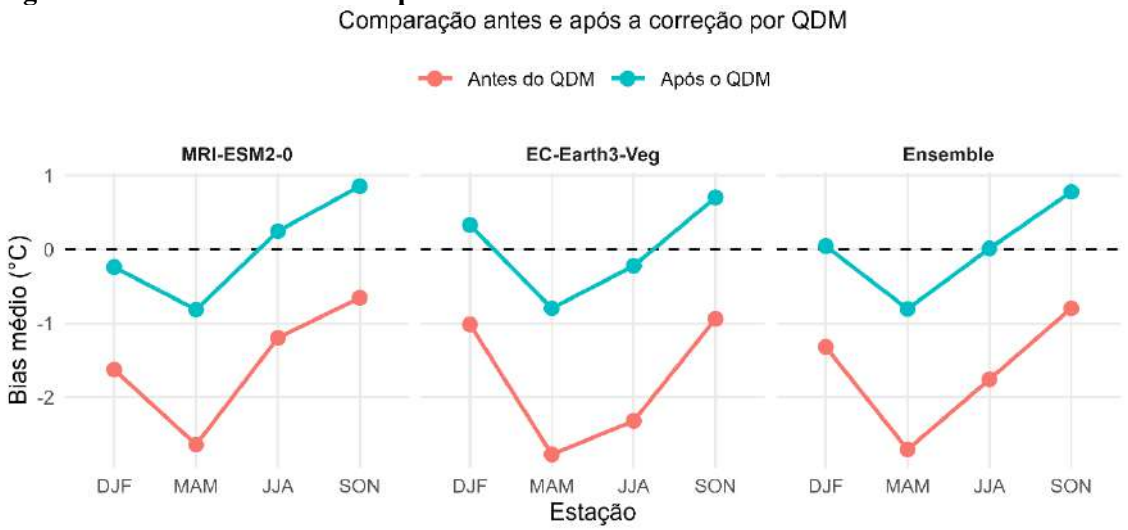
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

4.3.2 ESTATÍSTICAS SAZONAIS

As estatísticas sazonais são especialmente úteis para verificar o desempenho dos modelos ao longo do ano. Essa análise permite verificar se está ocorrendo compensação dos erros entre diferentes épocas do ano, se há diferença sazonal na eficácia do QDM ou se há padrões espaço-temporais heterogêneos do erro entre os municípios de Sergipe.

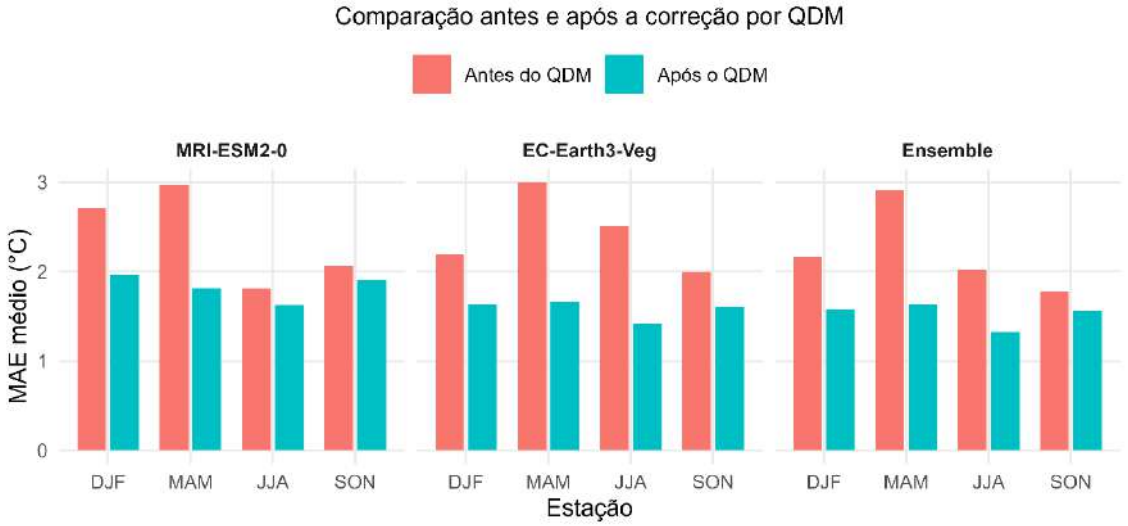
Na Figura 10 observa-se novamente a redução efetiva do bias municipal, porém observa-se compensação do bias entre os blocos MAM e SON, os quais possuem desempenho um pouco reduzido (MAM subestima e SON superestima). De todo modo, observa-se que o MAE sazonal após o QDM se torna relativamente baixo e homogêneo, o que contribui para a melhoria do desempenho do ensemble de forma geral.

Figura 10: Bias Sazonal da Temperatura Máxima



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Figura 11: Erro Absoluto Médio Sazonal



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

4.3.3 DISCREPÂNCIA HISTÓRICA E INCERTEZA FUTURA

A discrepância histórica representa o grau em que as simulações climáticas corrigidas por QDM ainda diferem das observações de Tmax nos municípios de Sergipe, considerando conjuntamente a tendência sistemática do erro, sua magnitude, a ocorrência de erros elevados e a correspondência temporal entre valores simulados e observados.

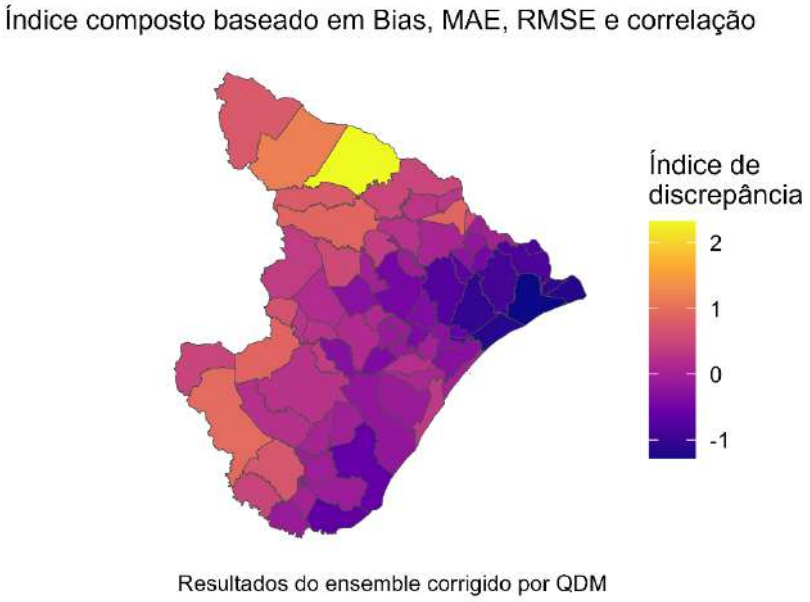
No presente estudo, calculou-se essa discrepância residual pós-correção a partir de um índice que considera o Bias municipal, o MAE, o RMSE e a correlação entre simulação e valores efetivamente observados. Como essas métricas possuem escalas distintas, calculou-se o z-score para cada uma delas e, depois, a média aritmética das medidas padronizadas:

$$I_D = \frac{z(|Bias|) + z(MAE) + z(RMSE) + z(1 - r)}{4}$$

em que r é o coeficiente de correlação entre modelo e observações, $|Bias|$ é o valor absoluto do bias e I_D é o índice de discrepância histórica.

A Figura 12 mostra que a discrepância histórica é relativamente baixa pós-correção do QDM na maioria dos municípios sergipanos, com exceção dos municípios localizados no semiárido, que possuem discrepância maior, o que pode gerar mais incerteza nas projeções de longo prazo nessas localizações.

Figura 12: Discrepância Histórica das Simulações Climáticas

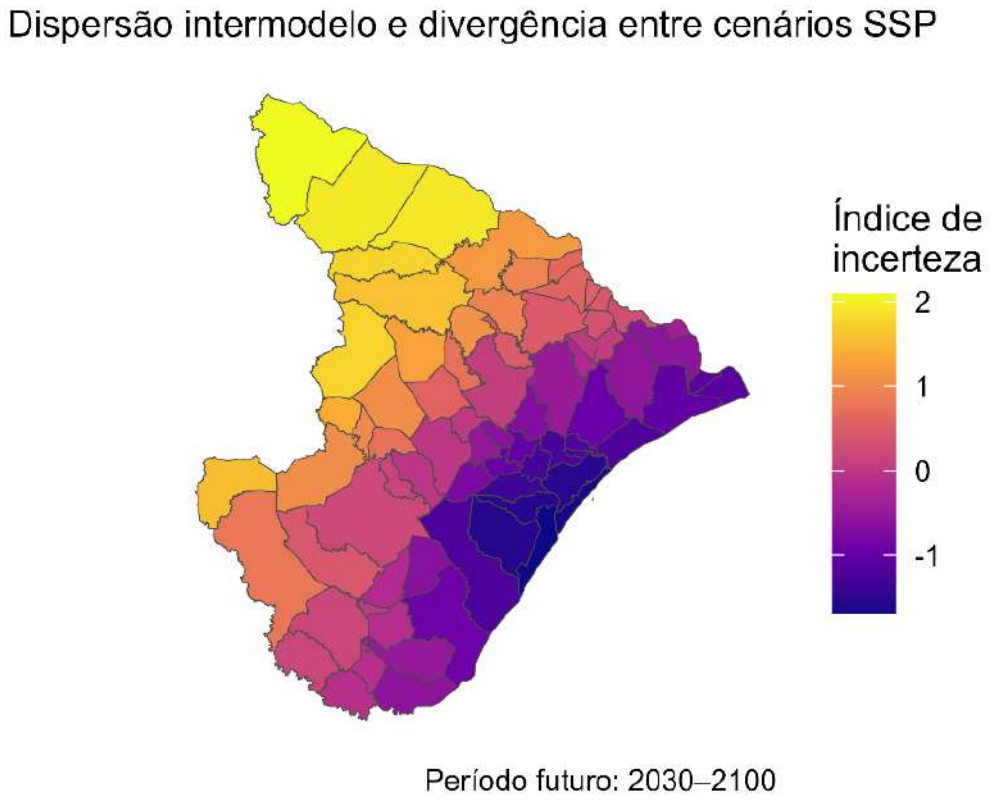


Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Para o cálculo da incerteza das projeções futuras, calculou-se também um índice composto em z-scores que considera: a) a divergência média intermodelos, isto é, a divergência média entre as simulações individuais do MRI-ESM2-0 e do EC-Earth3-Veg, que são a base para o ensemble e b) a divergência típica entre os cenários SSP1-2.6 e SSP5-8.5 a partir da amplitude térmica entre esses dois cenários extremos, buscando com isso capturar a incerteza na faixa de cenários SSP. Como se observa na Figura 13, os municípios do semiárido nas zonas fronteiriças são aqueles que possuem relativamente maior incerteza em relação aos demais municípios. Vale ressaltar que como os índices de discrepância e de incerteza são *relativos* e não absolutos, sempre haverá um conjunto de municípios com discrepância/incerteza acima da média estimada. O importante aqui é avaliar onde espacialmente esses municípios estão localizados e se fazem ou não parte de um mesmo território, como o que se observa no caso de Sergipe. Ainda assim, como mostra a Figura 14, a maioria dos municípios sergipanos encontra-se em uma baixa faixa

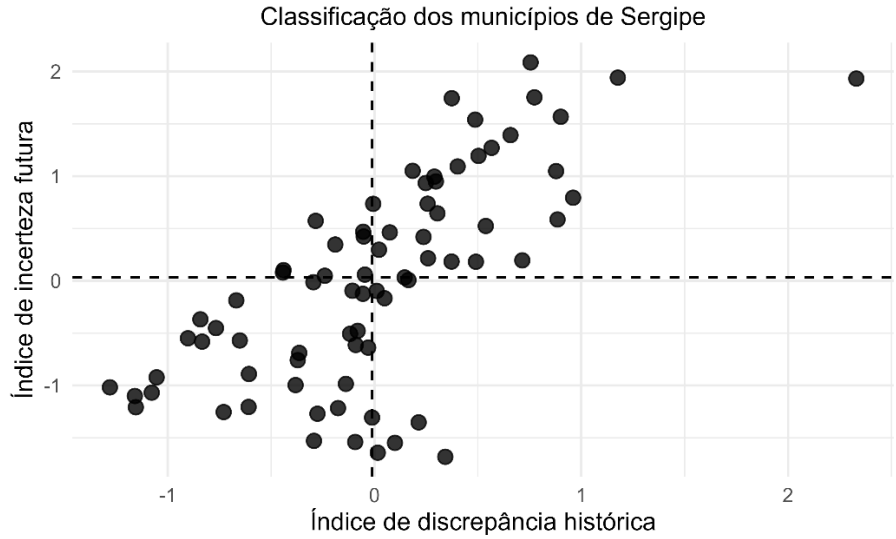
de discrepância e incerteza dos cenários futuros. Mais detalhes podem ser vistos nas planilhas de Excel onde constam os ranqueamentos dos municípios.

Figura 13: Incerteza das Projeções Climáticas por Município



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Figura 14: Discrepância Histórica e Incerteza Futura



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

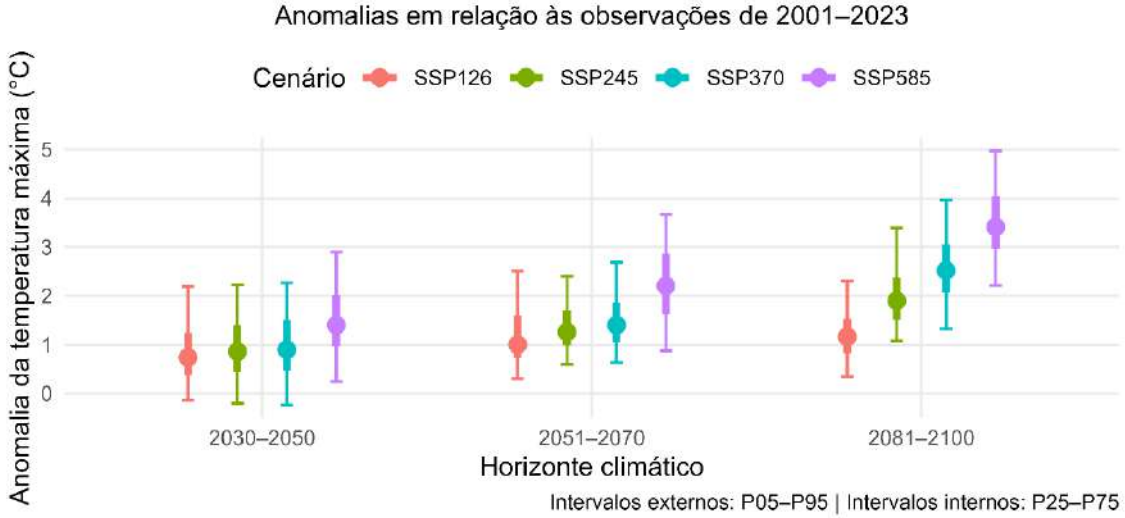
4.3.4 DIVERGÊNCIA ENTRE CENÁRIOS SSP

Avaliar a divergência entre os cenários SSP é particularmente relevante, tendo em vista que, probabilisticamente, cenários com menor perspectiva de estresse térmico podem compartilhar faixas não triviais de temperatura com cenários de maior estresse térmico, indicando maior risco climático no longo prazo.

Para a construção da Figura 15, calculou-se a anomalia da Tmax em diferentes faixas temporais futuras. A anomalia é aqui definida como a diferença entre a Tmax em cada dia da faixa temporal de interesse e a Tmax média do período de janeiro de 2001 a dezembro de 2023 (23 anos). Com isso é possível construir os valores projetados de anomalia (em relação a uma média mais próxima de uma normal climática) em cada cenário e comparar suas distribuições.

No caso do estado de Sergipe, observa-se que as faixas de anomalia não divergem significativamente entre os cenários até a metade do século. Isso pode ser entendido como uma maior probabilidade de os diferentes cenários compartilharem mudanças climáticas semelhantes (e menos disruptivas) até 2050. Porém, o risco climático começa a se elevar sensivelmente a partir dos anos 2070. Ao longo dos últimos 20 anos do final do século, o risco climático se eleva substancialmente, particularmente quando se considera que o cenário SSP2-4.5 de "Meio do Caminho" também apresenta a probabilidade de faixas de anomalias extremas de +3°C, mais comuns no cenário SSP5-8.5, além de faixas intermediárias de anomalia mais próxima do cenário SSP3-7.0.

Figura 15: Aumento Projetado da Temperatura Máxima por Horizonte Climático

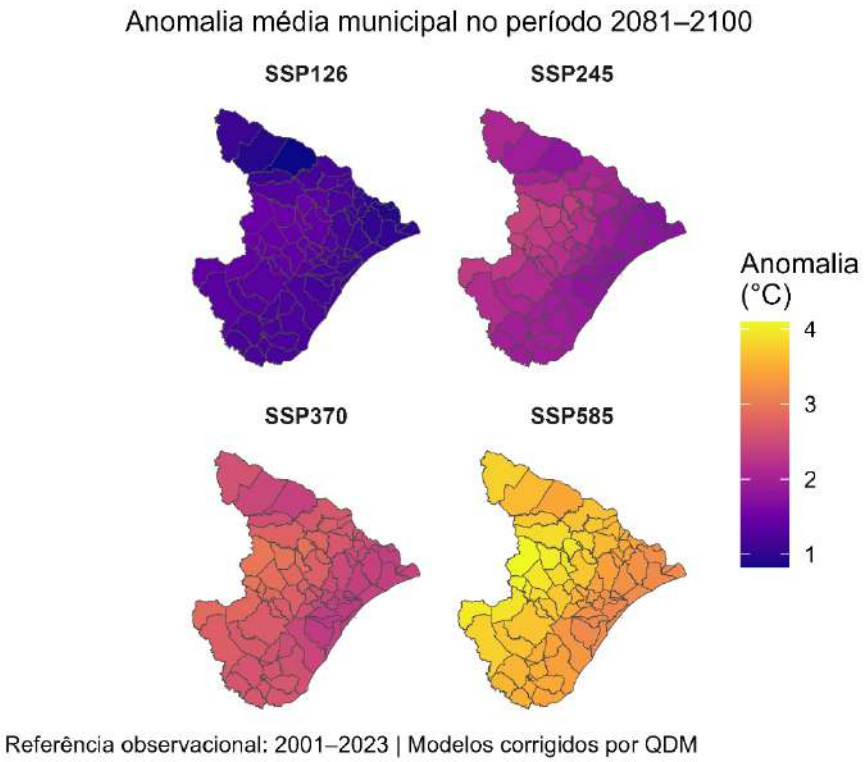


Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Por fim, quando se considera apenas a anomalia média, observa-se na Figura 16 o grau do estresse climático espacialmente distribuído entre os municípios do estado para

as projeções dos cenários no final do século. A evidência é clara de que os cenários SSP3-7.0 e SSP5-8.5 representam um alto risco para todos os municípios sergipanos, independentemente de sua localização territorial.

Figura 16: Aumento Projetado da Temperatura Máxima nos Municípios Sergipanos



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo busca contribuir para o Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE), oferecendo, pela primeira vez, projeções climáticas territorialmente desagregadas e metodologicamente robustas para horizontes de curto (até 2030) e longo prazo (até 2100).

Os cenários desenvolvidos demonstram uma alta probabilidade de Sergipe enfrentar mudanças climáticas marcantes nas próximas décadas, com magnitude fortemente dependente de trajetórias globais de emissões de gases de efeito estufa e de políticas climáticas nacionais e internacionais.

A divergência expressiva entre cenários, desde a estabilização térmica relativa no SSP1-2.6 até o aquecimento de +3°C no SSP5-8.5, sublinha que o futuro climático de Sergipe não está predeterminado, mas sim sujeito a escolhas coletivas realizadas nas próximas décadas. Esta constatação deve servir simultaneamente como alerta quanto aos

riscos de inação e como motivação para engajamento robusto em estratégias de mitigação e adaptação climáticas.

As implicações setoriais que podem ser identificadas a partir deste estudo, como na agricultura, recursos hídricos, saúde pública, energia e zonas costeiras, evidenciam que as mudanças climáticas não constituem um problema ambiental isolado, mas sim um desafio de desenvolvimento integral que permeia todas as dimensões do planejamento estadual. Respostas efetivas demandarão, portanto, abordagem transversal e integrada, envolvendo múltiplos setores governamentais, esferas federativas, setor privado, organizações da sociedade civil e comunidades locais.

A vulnerabilidade particular de territórios como Alto Sertão Sergipano e Grande Aracaju, evidenciada nas projeções, requer atenção prioritária no desenho de políticas adaptativas. Investimentos em sistemas de alerta precoce para ondas de calor, infraestrutura verde urbana, eficiência hídrica, agricultura climaticamente inteligente e fortalecimento de capacidades locais de resposta emergencial serão fundamentais para construir resiliência climática territorial.

Indiscutivelmente, as dimensões de equidade e justiça climática devem permear todas as políticas decorrentes destes cenários. Populações com vulnerabilidade social, econômica ou geográfica serão desproporcionalmente afetadas pelas mudanças climáticas projetadas, e frequentemente possuem menor capacidade de adaptação. Políticas climáticas que não incorporem explicitamente preocupações distributivas correm o risco de amplificar desigualdades existentes, minando coesão social e legitimidade das ações governamentais.

Com base nos resultados deste Relatório, reforça-se a necessidade de uma agenda científica sobre mudanças climáticas em Sergipe. Identifica-se a necessidade de um programa contínuo de pesquisa climática regional, com investimentos sustentados em capacitação técnico-científica, infraestrutura de monitoramento e parcerias institucionais. A complexidade dos desafios climáticos demanda esforço colaborativo envolvendo universidade, institutos de pesquisa, agências governamentais e organizações internacionais.

Cabe ressaltar que cenários climáticos, por mais sofisticados que sejam, representam apenas uma dimensão da base de evidências necessária para governança climática efetiva. O sucesso do Plano de Ações Climáticas de Sergipe dependerá fundamentalmente da capacidade do Estado em mobilizar direcionamento político,

recursos financeiros e engajamento social para implementar as transformações necessárias.

As próximas décadas serão decisivas para determinar qual futuro climático Sergipe experimentará. Os cenários aqui apresentados demonstram que futuros substancialmente distintos – alguns manejáveis, outros profundamente desafiadores – permanecem possíveis e devem ser constantemente monitorados e avaliados.

6 REFERÊNCIAS

- ANGHEL, L. A.; FARCAS, A. M.; OPREAN, R. N. *An overview of the common methods used to measure treatment adherence*. *Medical and Pharmaceutical Reports*, v. 92, n. 2, 2019.
- CANNON, A.J., S.R. SOBIE, AND T.Q. MURDOCK. *Bias correction of simulated precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve relative changes in quantiles and extremes? Journal of Climate, v. 28, 2015.*
- DOROGUSH, A. V.; GULIN, A.; GUSEV, G.; KAZEEV, N.; PROKHORENKOVA, L. O.; VOROBEV, A. *CatBoost Documentation*. 2017. Disponível em: https://catboost.ai/en/docs/. Acesso em: 15 out. 2025.
- EYRING, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, v. 9, n. 5, 2016.
- FIRPO, M. A. F. et al. *Assessment of CMIP6 models' performance in simulating present-day climate in Brazil*. *Frontiers in Climate*, v. 4, 2022.
- FRIEDMAN, J. H. *Greedy function approximation: a gradient boosting machine*. *Annals of Statistics*, v. 29, n. 5, 2001.
- HANCOCK, J. T.; KHOSHGOFTAAR, T. M. *CatBoost for big data: an interdisciplinary review. Journal of Big Data*, v. 7, n. 1, 2020.
- HEO, J. H.; AHN, H.; SHIN, J. Y.; KJELDSEN, T. R.; JEONG, C. Probability Distributions for a Quantile Mapping Technique for a Bias Correction of Precipitation Data: A Case Study to Precipitation Data Under Climate Change. *Water*, v. 11, n. 7, p. 1475, 2019.
- IPCC**.** *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021.
- KRIEGLER, E. et al. *Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century*. *Global Environmental Change*, v. 42, 2017.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. *Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, n. 3-4, 2018.
- MATSUSAKA, Y.; NAKAHARA, T.; TAKAHASHI, K.; IWABUCHI, Y.; OGATA, Y.; NISHIME, C.; KAJIMURA, M.; JINZAKI, M. Preclinical *evaluation of heat-denatured [18F] FDG-labeled red blood cells for detecting splenic tissues with PET in rats. Nuclear Medicine and Biology*, v. 56, 2018.

- MEINSHAUSEN, M. et al. *The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. Geoscientific Model Development*, v. 13, n. 8, 2020.
- O'NEILL, B. C. et al. *The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century*. *Global Environmental Change*, v. 42, 2017.
- PROKHORENKOVA, L.; GUSEV, G.; VOROBEV, A.; DOROGUSH, A. V. *CatBoost: unbiased boosting with categorical features. Advances in Neural Information Processing Systems*, v. 31, 2018.
- REBOITA, M. S.; KUKI, C. A. C.; MARRAFON, V. H.; SOUZA, C. A.; FERREIRA, G. W. S.; TEODORO, T.; LIMA, J. W. M. *South America climate change revealed through climate indices projected by GCMs and Eta-RCM ensembles. Climate Dynamics,* v. 58, n. 1-2, 2021.
- RIAHI, K. et al. *The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications*: An overview. *Global Environmental Change*, v. 42, 2017.
- ROGELJ, J. et al. *Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C. Nature Climate Change*, v. 8, n. 4, 2018.
- SO, B. *Enhanced gradient boosting for zero-inflated insurance claims and comparative analysis of CatBoost, XGBoost, and LightGBM. Scandinavian Actuarial Journal, v. 2024*, n. 10, 2024.
- TEBALDI, C. et al. *Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Pro*ject (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics*, v. 12, n. 1, 2021.
- VAN VUUREN, D. P. et al. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, v. 109, n. 1, 2011.
- VASCONCELOS JUNIOR, F. C. et al. *An attribution study of very intense rainfall events in Eastern Northeast Brazil. Weather and Climate Extremes*, v. 45, n. 100699, 2024.
- XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. *New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). International Journal of Climatology,* v. 42, n. 16, 2022.
- XIA, S.; LIU, M.; WANG, C.; et al. *Inhibition of SARS-CoV-2 (previously 2019-nCoV) infection by a highly potent pan-coronavirus fusion inhibitor targeting its spike protein that harbors a high capacity to mediate membrane fusion. Cell Research*, v. 30, 2020.
- YUKIMOTO, S. et al. *The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and basic evaluation of the physical component. Journal of the Meteorological Society of Japan*, v. 97, n. 5, 2019.
- ZELINKA, M. D. et al. *Causes of higher climate sensitivity in* CMIP6 *models*. *Geophysical Research Letters*, v. 47, n. 1, 2020.

7 LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparativo do crescimento da Árvore no XGBoost, LightGBM e CatBoost 9
Figura 2: Temperatura máxima mensal em Sergipe e tendência linear 19
Figura 3: Previsão da temperatura máxima mensal em Sergipe 20
Figura 4: Previsão da temperatura máxima anual em Sergipe 20
Figura 5: Incremento tendencial decenal da temperatura máxima nos territórios sergipanos (1981 a março de 2024) 21
Figura 6: Previsões mensais para os territórios sergipanos (abril de 2024 a dezembro de 2030) 23
Figura 7: Tendência da temperatura média máxima anual em Sergipe por cenários SSP (2030-2100).....26
Figura 8: Distribuição Espacial do Bias da Temperatura Máxima 31
Figura 9: Erro Absoluto Médio da Temperatura Máxima 32
Figura 10: Bias Sazonal da Temperatura Máxima.....33
Figura 11: Erro Absoluto Médio Sazonal.....33
Figura 12: Discrepância Histórica das Simulações Climáticas 34
Figura 13: Incerteza das Projeções Climáticas por Município.....35
Figura 14: Discrepância Histórica e Incerteza Futura.....35
Figura 15: Aumento Projetado da Temperatura Máxima por Horizonte Climático.....36
Figura 16: Aumento Projetado da Temperatura Máxima nos Municípios Sergipano 37

8 LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estrutura do modelo e métricas do resultado 13
Tabela 2: Resultados do Quantile Delta Mapping para Tmax °C aplicados sobre o ensemble MRI-ESM2-0 e EC-Earth3-Veg (jan./2015 a mar./2024).....18
Tabela 3: Médias decenais observadas da Tmax °C e previsão até 2030.....23
Tabela 4: Médias decenais previstas da Tmax °C para os territórios sergipanos e cenários SSP. 26

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo de Sergipe.

Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Produto 1.3)

São Paulo, novembro/2025

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 4

2. OBJETIVOS DO INVENTÁRIO 5

3. PREMISSAS CONCEITUAIS 5

4. METODOLOGIA 9

4.1 DIRETRIZES IPCC 2006 E REFINAMENTO 2019 9
4.2 POTENCIAIS DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP) 9
4.3 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DA ABORDAGEM METODOLÓGICA 10
4.3.1 SÍNTESE DAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS ADOTADAS 11
4.4 ESTRATÉGIA DE INTEGRAÇÃO DAS BASES DE DADOS 13
4.5 NOTAS SOBRE INCERTEZAS E LACUNAS DE DADOS 14
4.6 SETORIZAÇÃO DAS EMISSÕES/REMOÇÕES E PRINCIPAIS GASES INVENTARIADOS 16
4.7 REGIONALIZAÇÃO DOS RESULTADOS 16

5. ANÁLISE HISTÓRICA DAS EMISSÕES DE GEE 18

5.1 MARCOS LEGAIS E INSTRUMENTOS INTERNACIONAIS 19
5.2 EVOLUÇÃO INSTITUCIONAL E METODOLÓGICA NO BRASIL 19
5.3 EVOLUÇÃO SETORIAL E INTEGRAÇÃO NORMATIVA 20
5.4 SERGIPE NO CONTEXTO NACIONAL 23
5.5 INTEGRAÇÃO COM DADOS DO ÚLTIMO INVENTÁRIO NACIONAL E COM OS INVENTÁRIOS DO SEEG 24
5.6 ORDENAMENTO DOS MAIORES EMISSORES LÍQUIDOS DE GEEs DA SÉRIE HISTÓRICA (2000-2023) 32

6. EMISSÕES/REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR SETOR 36

6.1 SETOR DE ENERGIA 36
6.1.1 METODOLOGIA 36
6.1.2 RESULTADOS 43
6.2 SETOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS – IPPU 45
6.2.1 METODOLOGIA 46
6.2.2 RESULTADOS 50
6.3 SETOR AGROPECUÁRIA 51
6.3.1 METODOLOGIA (EMISSÕES NA AGRICULTURA) 52
6.3.2 METODOLOGIA (EMISSÕES NA PECUÁRIA) 56
6.3.3 RESULTADOS 59
6.4 SETOR USO DA TERRA, MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTA (MUT) 69
6.4.1 METODOLOGIA 71
6.4.2 RESULTADOS 77
6.5 SETOR RESÍDUOS 80
6.5.1 METODOLOGIA 81
6.5.2 RESULTADOS 87
6.6 COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DO INVENTÁRIO (2020-2024) 88

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS COM FOCO TERRITORIAL ANCORADA NOS DADOS DO SEEG PARA SERGIPE 97

7.1 DIVISÃO TERRITORIAL DO ESTADO DE SERGIPE 100
7.2 PROGNÓSTICO DAS EMISSÕES LÍQUIDAS 102

8. O INVENTÁRIO DE GEE NO CONTEXTO DO PEAC/SE E DA DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA ESTADUAL 111

9. CONCLUSÕES 116

10. REFERÊNCIAS 120

11. LISTA DE FIGURAS 130

12. LISTA DE TABELAS 131

13. LISTA DE QUADROS 132

14. ANEXOS 133

1. APRESENTAÇÃO

O presente Relatório é parte integrante de Projeto que tem por escopo a realização de estudos, pesquisas e ações voltados à promoção do desenvolvimento econômico e sustentável do Estado de Sergipe, fornecendo os subsídios técnico-científicos para o planejamento, desenvolvimento e implementação de um Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC.

O estudo contempla a quantificação e análise das emissões e remoções no território sergipano, por setor econômico, no período de 2020 a 2024, com base nas diretrizes do "*Intergovernmental Panel on Climate Change*" - *IPCC* (2006) e seu refinamento de 2019, e nas principais fontes de dados nacionais, a exemplo do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa - SEEG, Rede MapBiomas, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (atual Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico – SINISA).

A iniciativa está vinculada ao Contrato nº 08/2025 firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Ações Climáticas – SEMAC e a Fundação Instituto de Administração – FIA, com vistas a subsidiar políticas públicas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas no Estado.

O documento corresponde ao Produto 1.3 da Proposta Técnica da Fundação, atendendo à etapa de elaboração do inventário estadual de emissões de gases de efeito estufa no Estado de Sergipe e sua integração ao diagnóstico climático do PEAC/SE. Além de consolidar as estimativas de emissões e remoções de GEE por setor (Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos - IPPU, Agropecuária, Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas - MUT e Resíduos), o documento apresenta análises históricas e prognósticos, formando uma base técnica robusta para a formulação de metas climáticas regionais, alinhadas aos compromissos nacionais e internacionais assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris.

Os resultados das estimativas foram consolidados anualmente para o Estado como um todo, no período de 2020 a 2024, a fim de atualizar os dados até o último ano, porém, como já se dispõe de inventários anuais do SEEG desde 1970 até 2023 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024), detalhando emissões e remoções em nível municipal, procedeu-se à comparação dos resultados deste inventário com os dados históricos, além de uma análise das contribuições de cada mesorregião do Estado em

termos de emissões ou remoções de GEE, bem como a identificação dos setores de destaque em cada território.

Por fim, fez-se a concatenação do inventário com o Plano de Ações Climáticas e foram propostas iniciativas de âmbito mesorregional e estadual que podem ser tomadas, visando contribuir localmente para a mitigação do aquecimento global e consequente regulação do clima, tirando proveito da descarbonização dos processos e da economia como um todo.

2. OBJETIVOS DO INVENTÁRIO

Atendendo às finalidades contratuais que convergem para a promoção de estudos, pesquisas e ações voltados à promoção do desenvolvimento econômico e sustentável do Estado de Sergipe, fornecendo os subsídios técnico-científicos para o planejamento, desenvolvimento e implementação do Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC, do Estado de Sergipe, este estudo tem como objetivo quantificar as atuais emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Estado, no período de 1970 a 2024, agrupadas segundo os macrossetores, a fim de estabelecer uma linha de base sólida para futuras ações climáticas, bem como de proporcionar comparações com inventários prévios.

Mais especificamente, o estudo contemplou os seguintes objetivos específicos:

- realizar um resgate histórico das emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) referentes ao Estado de Sergipe;
- levantar dados para estimativa das emissões e remoções no período de 1970 a 2024, a partir dos dados do SEEG e atualizações, a fim de apresentar os inventários existentes, bem como possibilitar o confronto dos dados levantados com os resultados de estudos anteriores de domínio público, o que serve como critério de validação dos resultados do inventário; e
- a partir da análise dos resultados do inventário e, subsidiariamente, dos resultados de estudos anteriores, fazer prognósticos que sirvam de base para a proposição de políticas ambientais voltadas à redução das emissões e potencialização das remoções, em prol da melhoria do clima em escala local, regional e global.

3. PREMISSAS CONCEITUAIS

Este estudo propõe-se a analisar as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) no Estado de Sergipe, com foco na quantificação e identificação das principais fontes emissoras e sumidouros, numa sistemática que os subdivide em setores alinhados com setores econômicos, dentro de um contexto que se correlaciona muito bem com os

demais inventários já realizados, tanto em nível nacional quanto estadual. Entende-se que a elaboração deste inventário de emissões/remoções de GEEs é crucial para subsidiar políticas públicas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, fornecendo uma base robusta para a compreensão dos impactos ambientais locais e regionais.

Para o Brasil, o Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SEEG compila dados sobre dióxido de carbono (CO2), metano (CH4), óxido nitroso (N2O), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não-metano (NMVOC), óxidos de nitrogênio (NOx), fluorocarbonetos (CFCs, HFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF6). As estimativas de emissões de GEE são frequentemente categorizadas por setor, incluindo energia, processos industriais, agricultura, mudança no uso da terra e resíduos (Azevedo et al., 2018).

Considerando a importância do monitoramento contínuo dessas emissões e a necessidade de bases de dados robustas para subsidiar políticas públicas, o papel do SEEG destaca-se por ser uma das maiores bases de dados nessa área de âmbito mundial. Essa iniciativa foi criada justamente para preencher lacunas de informação e oferecer uma visão detalhada das emissões no Brasil, tornando-se referência nacional e internacional.

Apesar da existência de inventários nacionais, como os disponibilizados pelo SEEG, que incluem dados para Estados brasileiros e seus Municípios, a análise detalhada para Sergipe permite identificar as particularidades e os desafios específicos desse Estado na gestão de suas emissões de GEE, considerando sua estrutura econômica e energética. Adicionalmente, a investigação aprofundada em nível estadual é vital para o desenvolvimento de estratégias localizadas de descarbonização, que considerem as especificidades socioeconômicas e ambientais de Sergipe, diferenciando-as de abordagens nacionais mais genéricas (Azevedo et al., 2018).

A iniciativa SEEG é uma fonte fundamental para dados de GEE, oferecendo um conjunto de dados abrangente e atualizado em níveis nacional e subnacional, com milhões de registros, cobrindo 53 anos. Essa base de dados emprega as diretrizes do IPCC e incorpora fatores de emissão específicos do país, juntamente com informações de diversas fontes oficiais e não-oficiais, para estimar as emissões. A metodologia do SEEG segue os relatórios do Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas e Remoções de Gases de Efeito Estufa, publicados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, possibilitando estimativas com um nível de precisão “Tier 2”. Esses dados fornecem uma base sólida para análises detalhadas, como a que será realizada para Sergipe, permitindo identificar os setores mais impactantes e as oportunidades de redução de emissões (Azevedo et al., 2018).

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) e seus respectivos sumidouros representam métricas importantes para a avaliação das contribuições regionais às mudanças climáticas e para a formulação de estratégias de mitigação (Ballarin et al., 2023). Nesse contexto, uma avaliação atualizada das emissões e da capacidade de absorção de gases de efeito estufa no Estado de Sergipe, Brasil, é essencial para o desenvolvimento de políticas ambientais robustas e para a implementação de intervenções direcionadas.

O Acordo de Paris, tratado internacional juridicamente vinculante, estabelece metas de longo prazo para orientar todas as nações na redução das emissões globais de GEE (Melo et al., 2023). Especificamente, busca limitar o aumento da temperatura média global a bem menos de 2°C acima dos níveis pré-Revolução Industrial, com esforços adicionais para contê-lo a 1,5°C. Para isso, requer que todos os países signatários, incluindo o Brasil, apresentem suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), detalhando metas de redução de emissões. Esses compromissos demandam avaliações regionais precisas e atualizadas sobre fluxos de gases de efeito estufa, de modo a permitir o monitoramento eficaz dos avanços e a adaptação das estratégias de mitigação (Jones et al., 2023; Davoudabadi et al., 2024).

Os ecossistemas tropicais, como os encontrados no Brasil, são particularmente relevantes nesse esforço global devido ao seu elevado potencial de sequestro de carbono e à forte pressão das atividades antrópicas (Barros et al., 2023). Globalmente, o desmatamento, sobretudo em regiões tropicais, constitui um dos principais contribuintes às emissões antrópicas de GEE, impactando de forma significativa as mudanças climáticas e os serviços ecossistêmicos (Seydewitz et al., 2023).

As florestas, especialmente em biomas como a Amazônia e a Mata Atlântica, funcionam como reservatórios fundamentais de carbono, removendo ativamente o CO_2 da atmosfera e armazenando-o em sua biomassa — processo essencial para a mitigação das mudanças climáticas (Henud et al., 2021). Contudo, o papel dual das florestas como sumidouros de carbono e, ao mesmo tempo, potenciais fontes de emissões em decorrência do desmatamento e das mudanças de uso da terra, torna mais complexa a compreensão de sua contribuição (Qin et al., 2024). Além disso, os estoques substanciais de carbono no solo - cerca de três vezes maiores do que os da atmosfera - evidenciam a importância de estudos experimentais em escala local para quantificação do carbono edáfico em ecossistemas atlânticos, ou em sistemas de cultivos conservacionistas como o plantio direto a fim de aprimorar estimativas e fortalecer o entendimento do papel desses ecossistemas ou agroecossistemas na mitigação das mudanças climáticas (Mantovani et al., 2023).

O IPCC destaca que aproximadamente 12% das emissões globais de GEE são diretamente atribuíveis a mudanças no uso da terra, incluindo o desmatamento, ressaltando a necessidade de avaliações regionais minuciosas (Wang, 2024). No Brasil, 78% das emissões de GEE têm origem no uso da terra, evidenciando a importância da preservação de sua vasta vegetação natural representada pelos biomas - Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado - para os esforços globais de sequestro de carbono (Cação et al., 2022; Gonçalves et al., 2025).

A significativa contribuição das mudanças de uso da terra para o perfil de emissões do Brasil reforça a necessidade de avaliações regionais precisas, sobretudo considerando que a degradação florestal, isoladamente, tem frequentemente superado o desmatamento na Amazônia, levando a alterações expressivas nos estoques de carbono (Assis et al., 2022).

Sergipe, o menor Estado brasileiro, tem seu desenvolvimento econômico fortemente associado à expansão agrícola e à exploração de recursos naturais, processos que constituem importantes vetores de mudanças no uso e na cobertura da terra, contribuindo para as emissões de GEE (Bezerra et al., 2021). Portanto, compreender de forma precisa a dinâmica dessas alterações e seus impactos nos estoques de carbono é extremamente necessário para que Sergipe se alinhe às metas nacionais e internacionais de mitigação climática, em especial às previstas no Acordo de Paris (Sanquetta et al., 2022; Soterroni et al., 2023; Araza et al., 2023).

As principais atividades industriais em Sergipe são aquelas relacionadas à produção de petróleo, cimento e gás natural, que contribuem de forma expressiva para o perfil geral de emissões do Estado. Essas contribuições industriais, somadas à expansão agrícola e às mudanças no uso da terra, evidenciam a complexidade de se quantificar com precisão o balanço estadual de GEE.

O estudo apresenta uma análise atualizada das fontes e sumidouros de gases de efeito estufa em Sergipe, usando metodologias avançadas e modelos regionais para maior precisão, integrando dados recentes sobre atividades antrópicas como agricultura e mudanças no uso da terra. A necessidade de dados locais é destacada diante do baixo orçamento global de carbono e dos compromissos climáticos (Soterroni et al., 2023; Li et al., 2024; Uyar e Uyar, 2025; Guizzardi et al., 2025).

Dessa forma, atualizações regulares e acuradas dos inventários de GEE são indispensáveis para que o Brasil cumpra suas obrigações climáticas internacionais, já que as metas nacionais dependem diretamente da quantificação precisa das emissões e

remoções em todos os setores e regiões (Soterroni et al., 2023; Wójcik-Oliveira; Niedbała, 2018; Cierto et al., 2021).

4. METODOLOGIA

A elaboração do inventário estadual de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa - GEE para o Estado de Sergipe, referente ao período de 1970 a 2024, tem como base as diretrizes metodológicas do IPCC e os padrões utilizados nos inventários nacionais, destacando-se as análises do SEEG, atualmente na edição 12 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024). O objetivo central é fornecer um retrato técnico, coerente e comparável das emissões estaduais, alinhado às metodologias reconhecidas internacionalmente, ainda que considerando as restrições temporais e operacionais próprias desse ciclo de atualização.

4.1 DIRETRIZES IPCC 2006 E REFINAMENTO 2019

O inventário estadual foi elaborado em conformidade com as diretrizes do IPCC 2006 (IPCC, 2006) e seu refinamento 2019 (IPCC, 2019), que atualiza parâmetros e orientações para a elaboração de inventários robustos e transparentes. Esses documentos fornecem as recomendações metodológicas que estruturam inventários nacionais e subnacionais, baseados nos princípios de Transparência, Consistência, Comparabilidade, Completude e Exatidão - TCCCA.

As atualizações compatibilizam-se com as diretrizes anteriores, realizando complementações em relação aos fatores de emissão, boas práticas de coleta de dados e metodologias aprimoradas para setores-chave como energia, agropecuária, uso da terra e resíduos. A adoção dessas diretrizes assegura compatibilidade metodológica com os inventários nacionais do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações - MCTI e com os compromissos climáticos do Brasil no âmbito da "*United Nations Framework Convention on Climate Change*" – UNFCCC e do Acordo de Paris.

4.2 POTENCIAIS DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP)

Todas as estimativas de emissões mais atualizadas foram convertidas para dióxido de carbono equivalente (CO_2e) com base nos "*Potenciais de Aquecimento Global" - GWP* do *Quinto Relatório de Avaliação* - AR5 do IPCC, com horizonte temporal de 100 anos: $CO_2 = 1$; $CH_4 = 28$; $N_2O = 265$.

A adoção dos valores do GWP AR5 mantém a consistência temporal com a série SEEG e com os inventários oficiais brasileiros. Os dados deste inventário foram

atualizados com base no GWP do *Sexto Relatório de Avaliação - AR6* do IPCC[1]: CO_2 = 1; CH_4 não-fóssil = 27; CH_4 fóssil: 29,8; N_2O = 273. Os valores expressos em termos do padrão AR5 podem ser facilmente convertidos para a base AR6, bastando ajustes metodológicos simples para a equivalência entre séries históricas.

4.3 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DA ABORDAGEM METODOLÓGICA

A seleção da abordagem metodológica adotada neste inventário observou os princípios estabelecidos nas *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* e em seu Refinement (2019), segundo os quais a escolha entre metodologias Tier 1, Tier 2 e Tier 3 deve considerar simultaneamente a relevância das fontes emissoras, a disponibilidade e qualidade dos dados de atividade, a existência de fatores de emissão regionalizados, a capacidade institucional para obtenção dessas informações e a relação entre o ganho de precisão e o esforço técnico necessário para sua implementação.

Nesse contexto, é importante ressaltar que as diferentes abordagens metodológicas não representam graus de aceitabilidade científica, mas sim diferentes níveis de detalhamento e especificidade das informações empregadas. Todas as metodologias preconizadas pelo IPCC são tecnicamente válidas quando corretamente aplicadas, cabendo ao responsável pelo inventário selecionar aquela mais compatível com as características do território avaliado e com as bases de dados efetivamente disponíveis.

No caso do Estado de Sergipe, optou-se por uma estratégia metodológica predominantemente baseada em *Tier 1*, complementada, sempre que possível, por procedimentos equivalentes aos níveis *Tier 2* e *Tier 3* para setores ou subsetores que dispunham de informações mais detalhadas. Essa estratégia permitiu preservar simultaneamente a consistência metodológica, a comparabilidade com inventários nacionais e estaduais anteriores e a transparência dos procedimentos empregados.

Ressalta-se que a adoção de metodologias mais sofisticadas não depende exclusivamente da disponibilidade de modelos computacionais ou do conhecimento técnico da equipe executora, mas principalmente da existência de séries históricas suficientemente detalhadas sobre dados de atividade, fatores de emissão específicos das condições locais e sistemas permanentes de monitoramento das fontes emissoras. Na ausência desses elementos, o próprio IPCC recomenda a utilização de metodologias

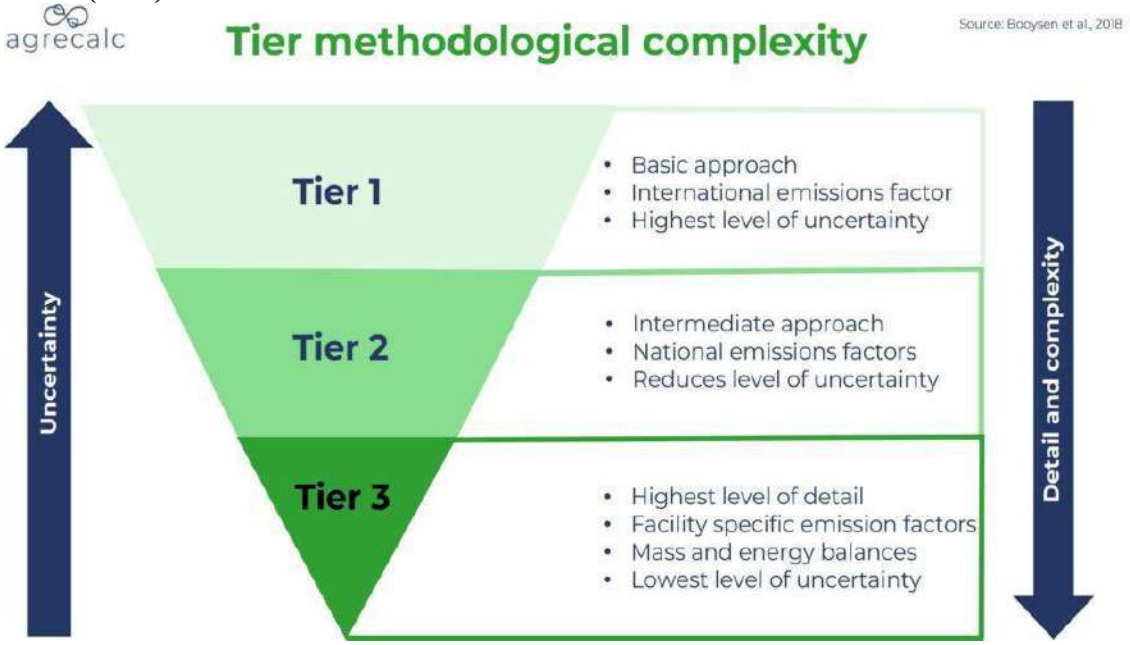
[1] https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf.

padronizadas, evitando a introdução de incertezas adicionais decorrentes da utilização de parâmetros locais insuficientemente caracterizados.

Dessa forma, o presente inventário deve ser entendido como uma linha de base metodologicamente consistente para o Estado de Sergipe, concebida de modo a possibilitar sua evolução gradual em futuras atualizações, à medida que novos dados primários sejam produzidos, sistematizados e disponibilizados pelos órgãos responsáveis.

Evidentemente, sabe-se que, como mostra a Figura 1, a abordagem "Tier 1", apesar de ser oficial, segundo o IPCC, é a que carrega maior nível de incerteza.

Figura 1: Abordagem metodológica em termos de complexidade e incerteza, conforme Brasil (2022)



Nota: *Tier methodological complexity* significa complexidade metodológica em camadas.

Fonte: BRASIL, 2022.

4.3.1 SÍNTESE DAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS ADOTADAS

Conforme estabelecido nas Diretrizes do IPCC (2006) e em seu *Refinement* (2019), a classificação metodológica em níveis "*Tier*" aplica-se às diferentes categorias de fontes e sumidouros, podendo coexistir, em um mesmo inventário, abordagens distintas em função da disponibilidade de dados de atividade, da existência de fatores de emissão específicos e da relevância das categorias inventariadas. Dessa forma, embora a estratégia metodológica global adotada neste trabalho tenha privilegiado procedimentos compatíveis com *Tier 1* nos setores em que inexistiam informações suficientemente detalhadas, diversos subsetores foram estimados mediante abordagens equivalentes aos níveis *Tier 2* e *Tier 3*, utilizando dados operacionais específicos, fatores de emissão

regionalizados ou bases técnicas especializadas. O Quadro 1 sintetiza a abordagem metodológica predominante empregada em cada setor e subsetor do inventário, bem como a justificativa técnica para sua classificação.

Quadro 1: Síntese das abordagens metodológicas empregadas no Inventário Estadual de Emissões e Remoções de GEE em Sergipe

SETOR/SUBSETOR	ABORDAGEM PREDOMINANTE	FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA
Consumo de combustíveis fósseis e biocombustíveis	Tier 2	Utilização de dados estaduais de comercialização e consumo disponibilizados pela ANP, associados a fatores de emissão recomendados pelo IPCC e pelo Inventário Nacional do SEEG.
Produção de petróleo e gás natural	Tier 2	Estimativas fundamentadas em dados reais de produção da ANP, permitindo representar adequadamente a dinâmica da atividade petrolífera estadual.
Geração termelétrica	Tier 2 / Tier 3	Emprego dos inventários elaborados pelo IEMA, baseados em informações operacionais das usinas, consumo efetivo de combustível, eficiência térmica e características tecnológicas das unidades geradoras.
Emissões fugitivas do setor energético	Tier 2	Utilização de dados nacionais de produção e movimentação de petróleo e gás natural combinados com fatores específicos recomendados pelo IPCC para a cadeia produtiva.
Processos industriais (IPPU)	Tier 1	Utilização de dados oficiais de produção industrial disponíveis, complementados por fatores de emissão específicos para os diferentes processos produtivos quando disponíveis. A inexistência de séries primárias por instalação industrial limitou a adoção de metodologias superiores.
Agricultura	Mista: Tier 1/Tier 2	Emprego de dados estaduais de produção agrícola e fatores de emissão específicos para diferentes culturas, complementados por parâmetros internacionais quando inexistiam informações regionalizadas.
Pecuária	Mista: Tier 1/Tier 2	Utilização de rebanhos estaduais oficiais e parâmetros zootécnicos do Inventário Nacional e IPCC, incorporando fatores diferenciados para categorias animais sempre que disponíveis.
Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (MUT)	Tier 2	Integração entre bases do MapBiomas, SEEG e dados estaduais, permitindo elevada resolução espacial para estimativa das mudanças de cobertura e dos fluxos de carbono.
Resíduos sólidos e efluentes	Mista: Tier 1/Tier 2	Utilização de informações do SNIS/SINISA, dados estaduais e parâmetros do IPCC, com regionalização sempre que suportada pelas

SETOR/SUBSETOR	ABORDAGEM PREDOMINANTE	FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA
		bases disponíveis.

Observa-se que a classificação apresentada no Quadro 1 evidencia a natureza híbrida da metodologia adotada neste inventário. Embora alguns subsetores ainda dependam de fatores de emissão padronizados recomendados pelo IPCC, diversos componentes do inventário utilizam dados de atividade específicos do Estado de Sergipe ou provenientes de instituições técnicas especializadas, conferindo maior representatividade às estimativas obtidas.

4.4 ESTRATÉGIA DE INTEGRAÇÃO DAS BASES DE DADOS

A elaboração de inventários estaduais de emissões de gases de efeito estufa constitui um processo de integração de informações provenientes de múltiplas instituições produtoras de dados, frequentemente concebidas para finalidades distintas daquelas relacionadas à contabilidade climática. Consequentemente, a consolidação de uma base de dados única exige compatibilização metodológica, padronização de unidades de medida, harmonização temporal das séries históricas e verificação da consistência entre diferentes fontes de informação.

No presente estudo foram priorizadas bases públicas oficiais de reconhecida confiabilidade, amplamente utilizadas em inventários nacionais e internacionais, incluindo informações provenientes do SEEG, IBGE, ANP, MapBiomas, SNIS/SINISA, SNIC, Embrapa e Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), entre outras fontes específicas utilizadas em cada setor inventariado.

Paralelamente, buscou-se complementar essas informações mediante a obtenção de dados estaduais mais desagregados, especialmente para os setores industrial, energético e agropecuário. Embora tenham sido empreendidos esforços para obtenção de informações adicionais junto às instituições potencialmente detentoras de dados primários, não foram disponibilizadas bases de dados operacionais em nível de detalhamento compatível com sua incorporação ao presente inventário dentro do período de elaboração do estudo.

Nessas situações, adotou-se rigorosamente a hierarquia metodológica recomendada pelo IPCC, priorizando dados oficiais públicos, fatores de emissão amplamente validados e procedimentos de cálculo internacionalmente reconhecidos, preservando a transparência, a rastreabilidade e a comparabilidade dos resultados obtidos.

As principais fontes utilizadas foram:

- **SEEG** - base principal para série histórica de 1970 a 2023 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024);
- **IBGE** - dados agropecuários, demográficos e energéticos;
- **ANP** - dados de produção e consumo de combustíveis fósseis e biocombustíveis;
- **MapBiomas** - dados de uso e cobertura da terra e matrizes de transição (essenciais para MUT);
- **SNIS/SINISA** - informações sobre saneamento e resíduos;
- **SNIC** - dados sobre produção de cimento e IPPU;
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa – informações agropecuárias nacionais;
- **IEMA** – Instituto de Energia e Meio Ambiente – dados sobre geração termelétrica;
- **ADEMA** – Administração Estadual do Meio Ambiente do Estado de Sergipe – dados sobre antigos lixões e aterros sanitários; entre outras citadas nos locais oportunos.

Essas fontes subsidiaram dados, sobretudo fatores de emissão e outros parâmetros requeridos pelos modelos utilizados nas estimativas setoriais, permitindo rastreabilidade dos cálculos e reprodutibilidade dos resultados.

A partir dos dados do SEEG e atualizações foi então considerado nesse trabalho o período de 1970 a 2024, caracterizando uma análise histórica que se constitui em um dos produtos preconizados no inventário, conforme o seu Termo de Referência. Tais dados serviram ainda: (i) como base comparativa e de calibração; (ii) para preenchimento de lacunas em anos e setores com dados limitados, conforme discutido nos capítulos finais deste inventário; e (iii) como parâmetro de controle de consistência para os cálculos realizados com dados estaduais.

Essa integração garante alinhamento metodológico com a série nacional e com relatórios internacionais.

4.5 NOTAS SOBRE INCERTEZAS E LACUNAS DE DADOS

Todo inventário de emissões de gases de efeito estufa incorpora diferentes níveis de incerteza associados tanto aos dados de atividade quanto aos fatores de emissão utilizados nas estimativas. As Diretrizes do IPCC reconhecem que tais incertezas são inerentes ao processo de quantificação e recomendam sua explicitação de forma transparente, permitindo ao usuário interpretar adequadamente os resultados apresentados.

No presente inventário, as principais fontes de incerteza concentram-se na disponibilidade de dados primários específicos para determinadas atividades econômicas desenvolvidas no Estado, sobretudo em subsetores industriais, emissões fugitivas associadas ao setor energético e parâmetros zootécnicos regionais aplicáveis à pecuária.

Em contrapartida, setores cuja base de dados é amplamente consolidada, como consumo de combustíveis, produção agropecuária oficial, geração termelétrica, uso e cobertura da terra e saneamento básico, apresentam menor grau de incerteza, uma vez que utilizam informações provenientes de sistemas oficiais de monitoramento ou plataformas reconhecidas nacionalmente.

Deve-se destacar que as incertezas existentes tendem a afetar principalmente a magnitude absoluta das emissões estimadas para determinados subsetores, sem alterar de forma significativa a identificação das principais fontes emissoras, a participação relativa de cada setor na composição das emissões estaduais nem as tendências temporais observadas ao longo da série histórica. Assim, tais limitações não comprometem a utilização do inventário como linha de base para formulação de políticas públicas, definição de metas de mitigação ou acompanhamento da evolução das emissões estaduais.

Como em todo inventário subnacional, há incertezas associadas à disponibilidade e qualidade dos dados, especialmente em setores com baixa sistematização em nível estadual. As principais lacunas e incertezas identificadas foram as que se seguem:

- ausência de séries estaduais completas para determinados subsetores agropecuários e industriais;
- necessidade de interpolação ou uso de valores típicos para determinados anos e atividades;
- limitações na cobertura de dados sobre saneamento e resíduos em municípios menores;
- emissões fugitivas no setor energético ainda pouco detalhadas; e
- mudanças metodológicas recentes no setor de uso da terra (integração MapBiomas/SEEG) que ampliaram a sensibilidade na detecção de conversões.

Essas limitações foram tratadas conforme as boas práticas do IPCC, com a explicitação de todas as hipóteses adotadas e priorização de dados oficiais. A opção metodológica por “Tier 1” com complementos “Tier 2” pontuais representa um equilíbrio entre rigor técnico e viabilidade temporal, sem perda de coerência metodológica e com bom suporte à proposição de políticas e ações climáticas.

4.6 SETORIZAÇÃO DAS EMISSÕES/REMOÇÕES E PRINCIPAIS GASES INVENTARIADOS

O inventário de Sergipe foi realizado de acordo com as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima de 2006 e seu refinamento do ano de 2019, segundo os setores listados na Figura 2 (BRASIL, 2022) e delineados no item sobre a regionalização de resultados.

Figura 2: Setores inventariados, segundo Brasil (2022)



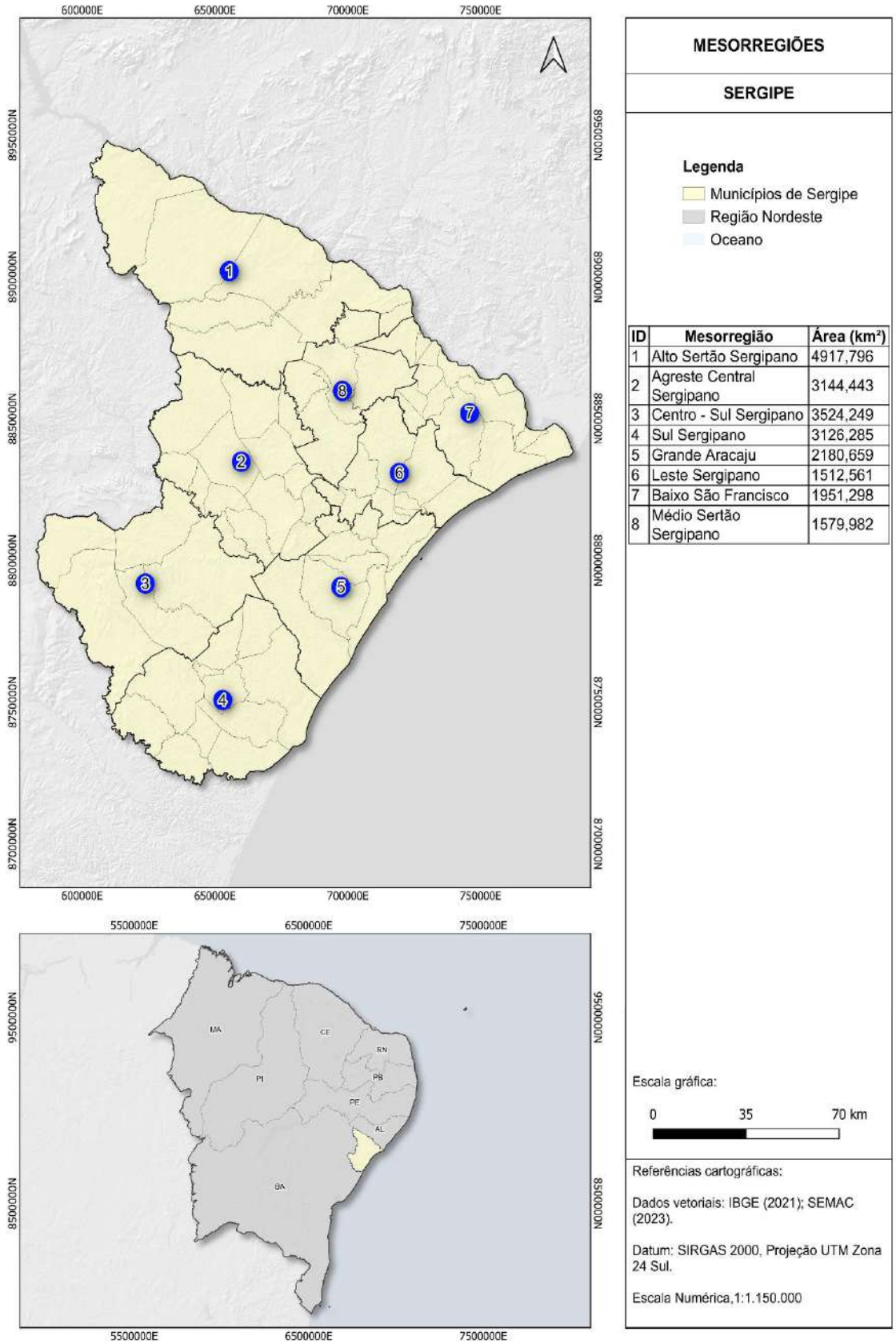
Fonte: BRASIL, 2022.

Os principais gases inventariados foram: dióxido de carbono, CO_2; metano, CH_4; óxido nitroso, N_2O; hexafluoreto de enxofre, SF_6; hidrofluorocarbonetos, HFCs; e perfluorocarbonetos, PFCs. Vale ressaltar que nem todos os setores são emissores de todos estes gases, nem tampouco esses são os únicos gases de efeito estufa. Na realidade, a lista de gases é muito mais ampla e pode ser consultada em IPCC (2024), porém, em termos de relevância e de frequência nos inventários nacionais e globais, estes são os comumente levantados.

4.7 REGIONALIZAÇÃO DOS RESULTADOS

O Estado de Sergipe possui 75 municípios que serão agrupados em mesorregiões, conforme ilustrado no mapa da Figura 3.

Figura 3: Mapa do Estado de Sergipe subdividido em territórios



Fonte: Adaptado de SEMAC, 2025.

Apesar de o inventário de emissões/remoções ter sido desenvolvido utilizando a sistemática delineada no item anterior, com base na distribuição de fontes emissoras de GEE e suas categorias, segundo os territórios de Sergipe, os resultados serão contextualizados de modo a apropriar a alocação de fontes/sumidouros mais relevante no cenário atual (vide Quadro 2).

Quadro 2: Divisão das fontes e sumidouros de GEE em setores econômicos e os destaques em Sergipe

SETOR DE EMISSÃO/ REMOÇÃO	CATEGORIA EMISSORA/REMOVEDORA	DESTAQUES EM SERGIPE
Energia	Emissões fugitivas; emissões pela queima de combustíveis; agropecuário; comercial; geração de eletricidade (serviço público); industrial; produção de combustíveis; público; residencial; transportes.	Uso de GLP; uso de GNL (termelétrica); transporte rodoviário (gasolina, etanol, diesel, GNV); uso de óleo combustível; queima de lenha e outras biomassas; uso do GNC.
Processos industriais e uso de produtos (IPPU)	Indústria química; produtos minerais; emissões de HFCs e PFCs; uso de SF_6.	FAFEN-SE; cerâmicas; fábricas de cimento; usinas de açúcar e destilarias de álcool; indústrias de sucos; usina de cloreto de potássio; produção de cal.
Agropecuária	Cultivo de arroz; outras culturas; fermentação entérica; manejo de dejetos animais; queima de resíduos agrícolas; solos manejados.	Cana-de-açúcar; milho; mandioca; laranja; bovinocultura; outros rebanhos.
Uso da terra, mudanças de uso da terra e florestas	Alterações de uso da terra; carbono orgânico no solo; resíduos florestais.	Desmatamento; pastagens; expansão urbana; manguezais; recuperação florestal; outras transições.
Resíduos	Efluentes líquidos; resíduos sólidos.	Lixões encerrados; aterros sanitários; efluentes líquidos.
Remoções	Carbono orgânico no solo; remoção em áreas protegidas; remoção por regeneração; remoção por mudança de uso da terra; remoção por vegetação secundária.	Pouco pronunciado em Sergipe.

Legenda: Gás Liquefeito de Petróleo – GLP; Gás Natural Liquefeito – GNL; Gás Natural Veicular – GNV; Gás Natural Comprimido – GNC; Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe – FAFEN/SE.
Fonte: Os autores.

5. ANÁLISE HISTÓRICA DAS EMISSÕES DE GEE

O conhecimento sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e seus impactos sobre o clima global tem se desenvolvido ao longo de mais de um século, envolvendo avanços científicos, marcos políticos internacionais e a criação de instrumentos legais e técnicos para mensuração e redução dessas emissões. No Brasil, esse processo se consolidou a partir da década de 1990, com a institucionalização de inventários nacionais e a implementação de políticas climáticas.

Nos últimos anos, estados e municípios passaram a desempenhar papel cada vez mais importante nesse esforço, com destaque para iniciativas como o *Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária - ABC+* e inventários estaduais. Este texto apresenta uma linha do tempo e uma contextualização histórica da evolução dos estudos sobre emissões de GEE, desde a gênese da agenda climática global até os esforços mais recentes no Estado de Sergipe.

As primeiras discussões científicas sobre o efeito estufa remontam ao século XIX, com os trabalhos de Arrhenius (1896), que identificou a relação entre concentrações atmosféricas de dióxido de carbono e o aquecimento global. Na década de 1950, a medição sistemática de CO_2 por Charles Keeling no Observatório de Mauna Loa forneceu as primeiras evidências empíricas da elevação contínua desse gás. A intensificação dos estudos sobre mudanças climáticas nas décadas seguintes culminou na criação, em 1988, do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), órgão da ONU responsável por sintetizar o conhecimento científico global. O Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC (1990) foi fundamental para a assinatura da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), na ECO-92, no Rio de Janeiro.

5.1 MARCOS LEGAIS E INSTRUMENTOS INTERNACIONAIS

A UNFCCC entrou em vigor em 1994 e estabeleceu compromissos para elaboração de inventários nacionais de emissões de GEE e adoção de medidas de mitigação. Em 1997, foi assinado o Protocolo de Quioto, primeiro acordo internacional vinculante para redução de emissões. Em 2015, o Acordo de Paris reafirmou o compromisso global de limitar o aquecimento global a bem menos de 2 °C, com esforços para não ultrapassar 1,5 °C. As metodologias para elaboração de inventários foram desenvolvidas pelo IPCC em 1996 e posteriormente atualizadas em 2000, 2003, 2006 e 2019.

5.2 EVOLUÇÃO INSTITUCIONAL E METODOLÓGICA NO BRASIL

O Brasil ratificou a UNFCCC em 1994 e iniciou a elaboração de seus inventários nacionais no final da década de 1990. O primeiro inventário foi submetido em 2004 (referente aos anos de 1990 e 1994); o segundo em 2010 (1990–2005); e o terceiro em 2016 (1990–2010). A Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187, de 2009) e seu Decreto regulamentador nº 7.390, de 2010, estabeleceram metas voluntárias de redução de emissões entre 36,1% e 38,9% até 2020. Em 2017, o Decreto nº 9.172 instituiu o Sistema de Registro Nacional de Emissões – SIRENE.

Desde 2012, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI publica periodicamente as estimativas anuais de emissões de GEE no Brasil, hoje em sua 6ª edição (2022). Essas estimativas, alinhadas às diretrizes do IPCC, cobrem os setores de energia, processos industriais, agropecuária, mudança de uso da terra e resíduos.

Além das estimativas oficiais, o SEEG, coordenado pelo Observatório do Clima, fornece séries históricas anuais desde 1970, com detalhamento por estado e setor. O SEEG utiliza metodologias compatíveis com as diretrizes do IPCC e complementa os dados nacionais, reforçando a transparência e acessibilidade das informações.

Outras iniciativas, como o MapBiomas, contribuem para a análise de mudança de uso e cobertura da terra, principal fonte histórica de emissões no País.

5.3 EVOLUÇÃO SETORIAL E INTEGRAÇÃO NORMATIVA

Os inventários brasileiros organizam as emissões em cinco setores principais: energia, processos industriais e uso de produtos (IPPU), agropecuária, mudança de uso da terra e florestas e resíduos. Historicamente, as maiores emissões provêm do desmatamento e da agropecuária. Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2010), houve avanços na destinação de resíduos e redução da quantidade de lixões, rumo à erradicação. O Plano ABC+ também representa um marco relevante de mitigação setorial.

Na sequência, é apresentada uma linha do tempo dos marcos históricos, consistindo num eixo cronológico (de 1896 até 2025), com os principais eventos:

- **1896 – Arrhenius e a teoria do efeito estufa:**

O marco inicial do entendimento científico sobre o aquecimento global remonta a 1896, quando o cientista sueco Svante Arrhenius publicou um artigo pioneiro demonstrando que a concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera desempenha papel crucial no controle da temperatura média global. Em seus cálculos, Arrhenius estimou que a duplicação do CO_2 poderia elevar a temperatura da Terra em cerca de 5 °C, valor surpreendentemente próximo das estimativas modernas. À época, suas ideias eram apenas teóricas e sem grande repercussão política, mas abriram caminho para uma nova compreensão dos ciclos climáticos e do papel dos gases de efeito estufa (GEE).

- **1958 — Início da Curva de Keeling:**

Mais de meio século depois da contribuição de Arrhenius, o pesquisador norte-americano Charles David Keeling iniciou medições sistemáticas das concentrações atmosféricas de CO_2 no Observatório de Mauna Loa, no Havaí (EUA). Essas medições

resultaram na famosa Curva de Keeling, que mostra claramente o aumento constante dos níveis de CO_2 na atmosfera, acompanhados de variações sazonais naturais. A curva forneceu a primeira evidência empírica sólida de que as emissões humanas estavam alterando a composição atmosférica — um divisor de águas para a ciência do clima.

- **1988 – Criação do IPCC:**

Com o acúmulo crescente de dados científicos e a percepção de que o aquecimento global poderia ter consequências severas, a Organização Meteorológica Mundial - OMM e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC em 1988. O IPCC tem como missão avaliar, de forma sistemática e rigorosa, o conhecimento científico, técnico e socioeconômico sobre a mudança do clima, seus impactos e estratégias de mitigação e adaptação. Essa iniciativa marca a transição do debate estritamente científico para um debate político e internacional estruturado.

- **1990 – 1º Relatório IPCC:**

Dois anos após sua criação, o IPCC publicou seu primeiro relatório de avaliação, consolidando um consenso científico sobre o fato de que o clima global está aquecendo e que as atividades humanas - sobretudo a queima de combustíveis fósseis - são a principal causa desse processo. O relatório teve forte impacto político, servindo de base para as primeiras negociações internacionais no âmbito das Nações Unidas sobre o clima, ao mesmo tempo em que ampliou a conscientização pública global sobre o problema.

- **1992 – UNFCCC:**

O avanço dessas negociações culminou na assinatura da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC, durante a Conferência Rio-92, no Rio de Janeiro. A Convenção estabeleceu o arcabouço jurídico internacional para estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera e evitar interferências perigosas no sistema climático. Ela consagrou princípios fundamentais como a responsabilidade comum, porém diferenciada, reconhecendo a contribuição histórica dos países desenvolvidos para o problema e a necessidade de apoio aos países em desenvolvimento.

- **1997 – Protocolo de Quioto:**

O Protocolo de Quioto, firmado em 1997, foi o primeiro acordo internacional vinculante no âmbito da UNFCCC. Ele definiu metas obrigatórias de redução de emissões para países desenvolvidos no período 2008–2012, e introduziu mecanismos de mercado, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL, que permitia a compensação de emissões por meio de projetos de mitigação em países em desenvolvimento. O Brasil participou ativamente desse processo, inclusive com projetos pioneiros de MDL, especialmente nos setores energético e florestal.

- **2004 – 2016 – Inventários brasileiros I, II e III:**

No plano nacional, o Brasil deu passos importantes ao publicar seus três primeiros inventários nacionais de emissões de GEE entre 2004 e 2016. Esses documentos, elaborados segundo as diretrizes do IPCC, consolidaram informações sobre emissões e remoções em diversos setores - energia, processos industriais, agropecuária, mudança no uso da terra e resíduos - criando a base técnica para o planejamento climático brasileiro. Além disso, forneceram dados oficiais que passaram a orientar políticas públicas e compromissos internacionais do país.

- **2009 – PNMC:**

A Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC foi instituída pela Lei nº 12.187, de 2009, estabelecendo metas voluntárias de redução de emissões e criando instrumentos de governança para mitigação e adaptação no Brasil. Entre seus mecanismos estão a elaboração de planos setoriais, a promoção de tecnologias limpas, incentivos econômicos e a integração entre esferas federal, estadual e municipal. A PNMC consolidou a mudança climática como tema de política pública nacional.

- **2010 – PNRS e Decreto n° 7.390, de 09 de dezembro de 2010:**

No ano seguinte, dois marcos reforçaram o arcabouço regulatório brasileiro: a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS e o Decreto 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamentou a PNMC, tendo sido revogado pelo Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018. A PNRS introduziu diretrizes para destinação adequada de resíduos e encerramento de lixões, com forte impacto no setor de emissões de CH_4. O Decreto detalhou as metas de redução e as responsabilidades dos setores emissores, fortalecendo a estrutura legal para monitorar e reduzir GEE no país.

- **2012 – O SEEG e 1ª edição das estimativas anuais:**

Em 2012, foi lançado o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SEEG, coordenado pelo Observatório do Clima. O SEEG tornou públicas as estimativas anuais de emissões de GEE por setor e estado, com base em metodologias transparentes e dados oficiais. Essa ferramenta ampliou significativamente a transparência e a participação da sociedade civil, fornecendo informações estratégicas para governos, pesquisadores e gestores.

- **2015 – Acordo de Paris:**

O Acordo de Paris, firmado em 2015, no âmbito da COP21, consolidou o compromisso global de conter o aquecimento global bem abaixo de 2 °C, buscando esforços para limitá-lo a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Diferentemente de Quioto, envolveu todos os países, inclusive o Brasil, que apresentou sua Contribuição

Nacionalmente Determinada - NDC. O Acordo marcou uma nova fase, mais abrangente e inclusiva, da governança climática internacional.

- **2017 – Decreto 9.172, de 17 de outubro de 2017 (SIRENE):**

No Brasil, a política climática avançou com a criação do Sistema de Registro Nacional de Emissões - SIRENE por meio do Decreto nº 9.172, de 17 de outubro de 2017. O sistema oficializa o registro e a transparência das emissões de GEE no território nacional, permitindo maior controle, padronização e alinhamento com as diretrizes metodológicas do IPCC. O SIRENE fortaleceu a capacidade institucional de reporte e acompanhamento das metas climáticas nacionais.

- **2020 – Plano ABC Sergipe:**

Em 2020, Sergipe lançou seu Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - ABC. Inspirado no plano nacional, o ABC Sergipe articula práticas sustentáveis no setor agropecuário, como recuperação de pastagens degradadas, integração lavoura-pecuária-floresta e fixação biológica de nitrogênio. Essa iniciativa representa a inserção concreta do Estado na agenda climática nacional e internacional.

5.4 SERGIPE NO CONTEXTO NACIONAL

Sergipe vem ampliando sua inserção nas políticas climáticas nacionais. Inicialmente, o Estado dependia exclusivamente dos dados desagregados do SEEG e das séries oficiais do MCTI. A partir de 2020, passou a implementar o Plano ABC Estadual, com ênfase em práticas de agricultura de baixa emissão de carbono, recuperação de pastagens degradadas e integração lavoura-pecuária-floresta.

No setor de resíduos, destaca-se a transição de lixões para aterros sanitários e projetos de recuperação ambiental, como no município de Itabaiana. No setor energético, observa-se um papel crescente do gás natural e de fontes renováveis. A análise de mudança de uso da terra tem se beneficiado de dados de plataformas como MapBiomas, com atenção especial aos manguezais e áreas costeiras.

Nesse contexto, a trajetória dos estudos sobre emissões de GEE revela uma evolução que vai da consolidação científica e política internacional até a implementação de políticas locais no Brasil e em seus estados. Sergipe, ao se inserir nesse cenário, fortalece sua capacidade de planejamento climático, contribuindo para as metas nacionais e globais de mitigação. A atualização do inventário estadual e a integração com instrumentos legais e plataformas de dados são passos estratégicos para a governança climática subnacional.

O presente inventário estadual, com integração de dados das principais fontes emissoras e sumidouros de GEE, utilizando metodologias atualizadas, embasadas no IPCC e alinhadas com o SEEG e o SIRENE, representa um avanço estratégico na governança climática estadual, oferecendo subsídios técnicos para planejamento de políticas públicas, definição de metas regionais e cumprimento dos compromissos climáticos brasileiros no Acordo de Paris e em convenções posteriores.

5.5 INTEGRAÇÃO COM DADOS DO ÚLTIMO INVENTÁRIO NACIONAL E COM OS INVENTÁRIOS DO SEEG

O inventário Nacional produzido pelo SEEG, intitulado *"Análises das Emissões de Gases de Efeito Estufa e Suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil (1970-2021)*[2], publicado em 2023, em comemoração aos 10 anos do SEEG, apresenta uma compilação das emissões/remoções por tipo de fonte/sumidouro e suas respectivas categorias emissoras, que servirá de base para comparação com os dados gerados no inventário sergipano objeto deste estudo. O Quadro 2 destaca apenas os dados para o Estado de Sergipe extraídos desse inventário nacional.

Quadro 3: Compilação das emissões/remoções de GEE (GWP-AR5) para o Estado de Sergipe em 2021

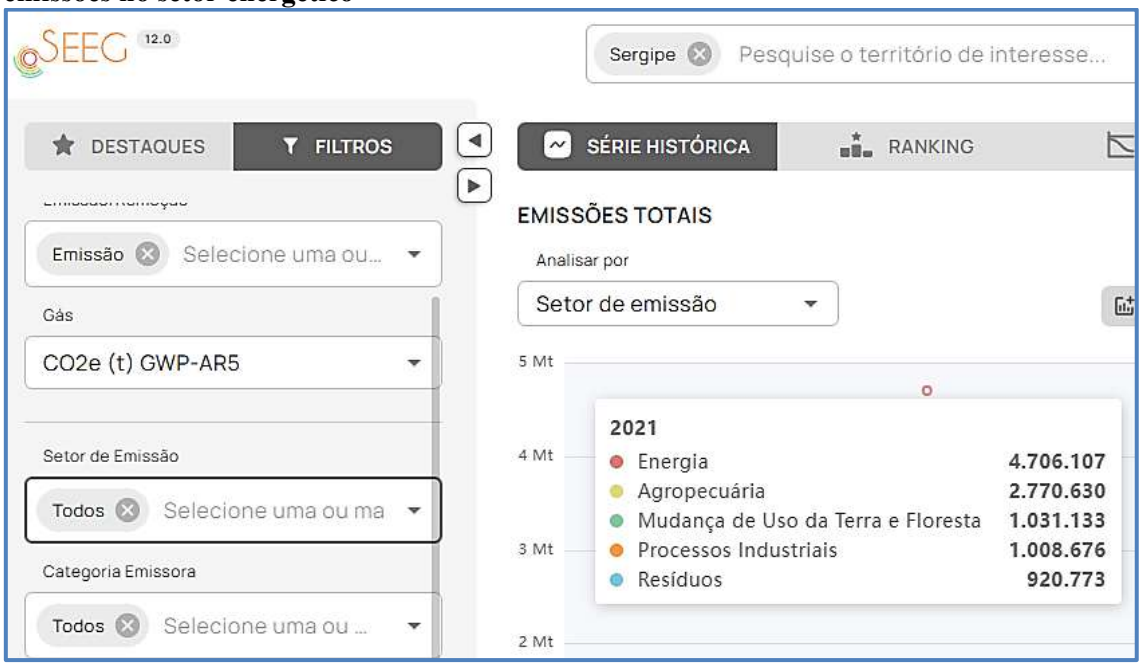
FONTES DE EMISSÃO	EMISSÕES/REMOÇÕES (tCO2e) GWP-AR5 (2021)
AGROPECUÁRIA	2.776.933
Cultivo de Arroz	41.065
Fermentação Entérica	1.824.624
Manejo de Dejetos Animais	133.553
Queima de Resíduos Agrícolas	12.554
Solos Manejados	765.137
ENERGIA	4.709.648
Emissões Fugitivas	14.870
Emissões pela Queima de Combustíveis	4.694.778
Agropecuário	9.408
Comercial	9.894
Geração de Eletricidade (Serviço Público)	2.090.016
Industrial	1.009.728
Produção de Combustíveis	31.084
Público	3.623
Residencial	190.801

[2] https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-10-anos-v4.pdf

FONTES DE EMISSÃO	EMISSÕES/REMOÇÕES (tCO2e) GWP-AR5 (2021)
Transportes	1.350.223
MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTA	805.262
Alterações de Uso da Terra	735.367
Carbono Orgânico no Solo	9.650
Resíduos Florestais	60.245
PROCESSOS INDUSTRIAIS	1.422.611
Indústria Química	570.500
Produtos Minerais	852.111
RESÍDUOS	922.660
Efluentes Líquidos	290.548
Resíduos Sólidos	632.112
TOTAL	10.637.113
REMOÇÕES	890.250
Carbono Orgânico no Solo	68
Remoção em Áreas Protegidas	11.315
Remoção por Mudança de Uso da Terra	3.378
Remoção por Vegetação Secundária	875.489
TOTAL EMISSÕES LÍQUIDAS	9.746.863

Nota: O total de emissões do setor de Energia apresenta uma inconsistência, já que o somatório dos tipos de fontes deste setor daria um total de 9.404.425 tCO2e, ao invés do valor declarado de 4.709.648 tCO2e. Por meio de uma consulta à série histórica na Plataforma SEEG, pôde-se constatar que havia um erro na totalização dos dados, sendo o total referente a tais emissões igual a 4.706.107 tCO2e. Portanto, apesar de não ter sido possível rastrear em qual categoria emissora houve o erro na totalização das emissões, acredita-se que tenha sido nas "emissões pela queima de combustíveis", cujo valor figura muito elevado, praticamente igual ao total obtido diretamente da Plataforma, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4: Tela capturada da Plataforma SEEG mostrando a totalização de dados de emissões no setor energético



Fonte: SEEG, 2025.

Em 2024, o SEEG publicou novo inventário nacional intitulado Análises das Emissões de Gases de Efeito Estufa e Suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil (1970-2023) (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024) também contendo as alocações das emissões/remoções por estado, de onde foi possível recortar o trecho que contém a situação de Sergipe, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5: Compilação das emissões de GEE (GWP-AR5), mostrando a posição de Sergipe em 2023

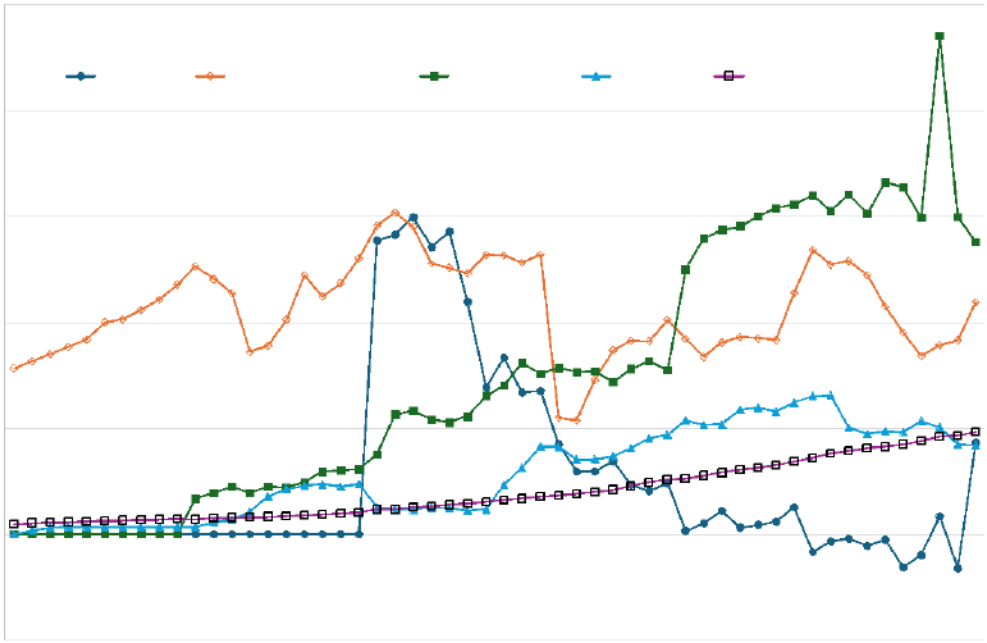
	$MtCO_2e$ GWP – AR5	NORDESTE								
	SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA	AL	BA	CE	MA	PB	PE	PI	RN	SE
EMISSÕES	**TOTAL**	**11**	**135**	**35**	**173**	**15**	**27**	**36**	**13**	**10**
	Mudança de Uso da Terra e Floresta	**2**	**75**	**14**	**138**	**5**	**7**	**26**	**4**	**2**
	Alterações de uso da terra	2	67	13	127	4	6	23	4	2
	Resíduos florestais	0,04	3	1	7	0,2	0,3	1	0,2	0,1
	Carbono orgânico no solo	0,1	4	0,4	5	0,1	0,2	2	0,1	0,05
	Agropecuária	**4**	**32**	**8**	**23**	**4**	**8**	**6**	**3**	**3**
	Fermentação entérica	2	23	5	16	3	5	3	2	2
	Solos manejados	1	8	2	5	1	2	2	1	1
	Manejo de dejetos animais	0,2	1	1	1	0,3	1	1	0,3	0,2
	Cultivo de arroz	0,02	-	0,02	0,03	-	0,002	0,03	0,003	0,04
	Queima de resíduos agrícolas	0,1	0,03	-	0,003	0,03	0,1	0,01	0,01	0,01
	Energia	**3**	**21**	**8**	**10**	**4**	**9**	**3**	**4**	**3**
	Transportes	2	11	5	5	2	6	2	2	2
	Industrial	1	4	1	1	1	1	0,0	0,2	1
	Produção de Combustíveis	0,03	3	0,1	0,1	-	1	-	0,5	0,02
	Residencial	0,3	1	1	0,5	0,4	1	0,3	0,3	0,2
	Geração de Eletricidade (Serviço Público)	0,1	1	0,3	1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,01
	Agropecuário	0,01	0,2	0,2	2	0,1	0,1	0,01	0,2	0,0001
	Comercial	0,02	0,1	0,04	0,01	0,02	0,1	0,01	0,02	0,01
	Público	0,003	0,02	0,004	0,001	0,001	0,04	0,0001	0,004	0,004
	Não Identificado	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Resíduos	**1**	**6**	**4**	**2**	**2**	**3**	**1**	**1**	**1**
	Disposição Final de Resíduos sólidos	1	3	3	1	1	1	1	1	1
	Tratamento de efluentes domésticos	0,4	2	1	1	1	1	0,4	0,4	0,2
	Efluentes líquidos industriais	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,01	0,03	0,1
	Incineração ou queima a céu aberto	0,03	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,04	0,02
	Tratamento biológico de resíduos sólidos	-	0,0003	-	0,00002	0,0003	0,0005	-	-	-
	Processos Industriais	0,1	1	1	1	2	0,1	-	0,4	1
	Produção de metais	-	0,3	-	0,4	-	-	-	-	-
	Produtos minerais	0,1	0,5	1	0,1	2	0,1	-	0,4	1
	Indústria Química	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Produção e uso de HFCs	-	0	-	-	-	-	-	-	0
	Uso não-energético de combustíveis e solventes em outros setores	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Uso de SF6 em equipamentos elétricos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Produção e uso de CFs	-	-	-	-	-	-	-	-	-
REMOÇÕES	**TOTAL**	**-1**	**-27**	**-6**	**-28**	**-3**	**-5**	**-8**	**-3**	**-1**
	Remoção em áreas protegidas	-0,1	-3	-0,3	-8	-0,03	-0,2	-1	-0,02	-0,01
	Remoção por vegetação secundária	-1	-24	-6	-20	-3	-4	-7	-3	-1
	Remoção por mudança de uso da terra	-0,001	-0,1	-0,01	-0,2	-0,01	-0,01	-0,1	-0,004	-0,002
	Carbono orgânico no solo	-0,00005	-0,003	-	-	-0,0002	-0,0001	-0,001	-	-0,00005
EMISSÕES LÍQUIDAS		**9**	**108**	**29**	**146**	**12**	**22**	**28**	**10**	**9**

Fonte: SEEG, 2024.

Apesar de os valores das emissões/remoções estarem expressos em MtCO2e (milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente), estimados com base no potencial de aquecimento global para o horizonte temporal de 100 anos, designado como GWP-AR5[3], observa-se que o total de emissões líquidas para o Estado de Sergipe em 2023 foi da ordem de 9 MtCO2e (GWP-AR5).

Ainda utilizando os dados abundantes da Plataforma SEEG, obtidos com base nas melhores práticas metodológicas disponíveis, foram elaboradas a Figura 6, mostrando um histórico das emissões líquidas no Estado de Sergipe no período de 1970 a 2023, e a Figura 7, que contempla o período de 1990 a 2023 e mostra os prognósticos para o período 2024 a 2030, baseado em ajustes lineares das tendências de cada setor, também com dados do SEEG.

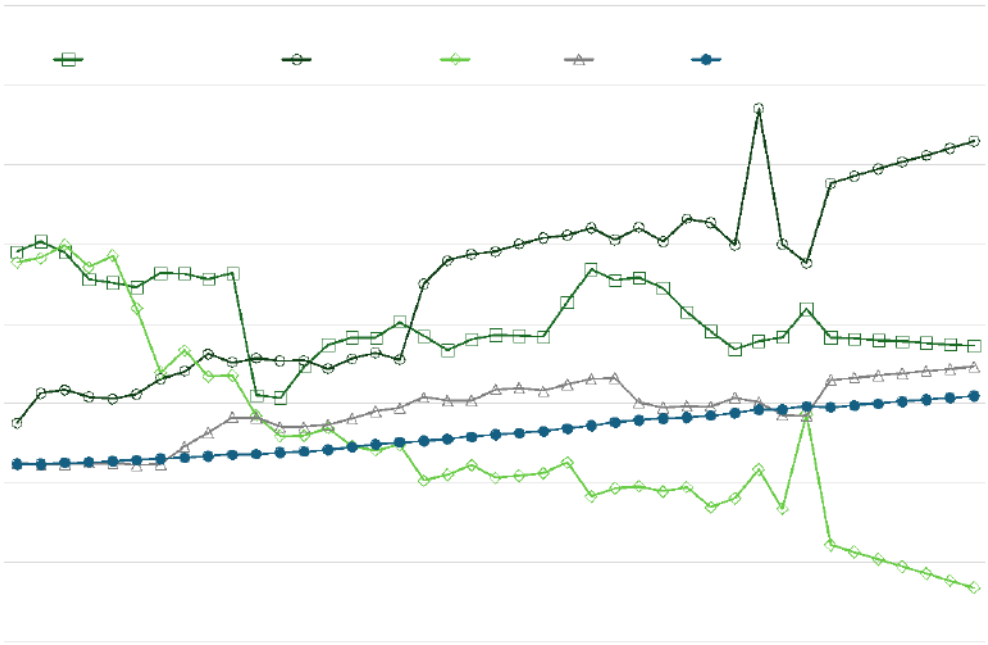
Figura 6: História das emissões por tipo de fonte (1970-2023) com dados do SEEG



Fonte: Adaptado de SEEG, 2025.

[3] IPCC *Fifth Assessment Report*, 2014 (AR5), disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf.

Figura 7: História das emissões por tipo de fonte (1990-2023) e projeções lineares (2024-2030)



Fonte: Adaptado de SEEG, 2025.

A divisão da análise entre os dois gráficos fica perfeitamente justificada mediante uma inspeção cuidadosa da planilha de dados do SEEG, a qual revela que o setor de energia não apresenta dados no período de 1970 a 1979, bem como o setor MUT não possui dados registrados até 1989. Logo, a decisão de construir o gráfico da Figura 7 visa aumentar a representatividade dos dados, visando aos prognósticos para o período de 2024 a 2030.

A análise das séries históricas de emissões de gases de efeito estufa (GEE) por setor econômico em Sergipe, com base nos dados consolidados do SEEG, evidencia pontos de inflexão relevantes ao longo do período de 1970 a 2023. As anomalias foram identificadas com base em estatística descritiva, considerando-se como “rupturas” as variações anuais iguais ou superiores a 1,8 desvios-padrões (σ) das mudanças médias históricas por setor (IPCC, 2006).

Entre os principais anos identificados destacam-se 2007 e 2021 (picos no setor Energia), 2022 (queda no mesmo setor), 2000 (anomalia significativa no setor de agropecuária), 1990 (IPPU), e inflexões nos períodos de 1990–1993, 2001–2002, 2008–2009, 2014–2016 e 2020–2022.

O setor Energia apresentou comportamento estável até meados dos anos 2000, seguido por elevação associada ao aumento do despacho térmico no Brasil e, mais recentemente, ao início da operação da UTE Porto de Sergipe I em Barra dos Coqueiros,

a partir de 2019. Esse marco explica os saltos observados na série estadual em 2021, quando uma crise hídrica nacional levou ao maior despacho térmico da história recente (ONS, 2022; SEEG, 2023). Em 2022, a melhora das condições hidrológicas resultou em queda significativa nas emissões (ONS, 2023).

O apagão de 2001–2002 também provocou retração temporária no consumo e despacho de energia, enquanto em 2020 os efeitos da pandemia da COVID-19 reduziram a demanda energética e, consequentemente, as emissões (ONS, 2002; SEEG, 2023).

O aumento das emissões de gases de efeito estufa provenientes do setor de energia em 2021 foi impulsionado, sobretudo, pela retomada das atividades econômicas pós-pandemia da Covid-19, o que elevou significativamente o consumo energético. Isso se refletiu diretamente na elevação das emissões do setor de energia, especialmente nos subsetores de transporte e geração termelétrica. Somado a isso, a escassez hídrica enfrentada pelo Brasil naquele ano foi determinante, pois exigiu maior utilização de usinas termelétricas movidas por combustíveis fósseis para garantir o fornecimento de eletricidade, o que está em conformidade com os registros do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) e do Observatório do Clima (2022).

Esse comportamento também foi captado em Sergipe, onde há forte dependência da geração termelétrica a gás natural, sobretudo após a entrada em operação da Usina Porto de Sergipe I, no município de Barra dos Coqueiros. O aumento na atividade econômica e na demanda por transporte terrestre, predominantemente rodoviário, reforçou esse movimento ascendente nas emissões estaduais de CO_2 associadas ao setor energético.

No setor agropecuário nacional, as emissões em 2021 atingiram o maior patamar desde 1970, impulsionadas pelo crescimento do rebanho bovino (3,1%), resultado da retenção de fêmeas para reprodução, menor abate e valorização de animais, em contexto de alta demanda por commodities. A fermentação entérica — responsável por cerca de 79% das emissões do setor — destaca-se como principal fator desse incremento. Também houve aumento significativo no uso de fertilizantes nitrogenados e calcário, elevando as emissões de N_2O originadas de solos manejados por meio da desnitrificação.

Em Sergipe, essa alta foi intensificada pela expansão da bovinocultura leiteira no Alto Sertão Sergipano, região com a maior concentração de bovinos do Estado, ainda predominantemente baseada em manejo convencional, o que elevou as emissões de metano e óxido nitroso. O Plano ABC Sergipe reconhece que a intensificação pecuária sem controle das emissões é um desafio para reduzir a pegada de carbono do setor rural (SERGIPE, 2020).

No setor de Mudanças de Uso da Terra (MUT), após 2021, as emissões líquidas cresceram devido ao aumento do desmatamento, à queda nas remoções de CO_2 por regeneração florestal e à adoção, pelo SEEG, de matrizes mais precisas do MapBiomas, permitindo melhor identificação das conversões de vegetação nativa para pastagens e agricultura (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2022). O revolvimento do solo também contribuiu para maior liberação de CO_2.

As emissões agropecuárias em Sergipe são influenciadas principalmente pela fermentação entérica, manejo de dejetos e emissões de solos agrícolas (IPCC, 2006; SEEG, 2023). Destaca-se uma ruptura estatística em 2000, relacionada à lacuna entre os Censos Agropecuários de 1995/96 e 2006, que gerou recalibração das séries (IBGE, 1996; IBGE, 2006). Entre 2013 e 2015, variações devem-se à recomposição dos rebanhos após seca severa (2012–2016); em 2019 verificou-se leve retração na atividade, e em 2020–2021, oscilações associadas à pandemia e à retomada econômica (SEEG, 2023).

A série de IPPU mostra uma forte queda em 1990, em consequência do choque recessivo causado pelo "Plano Collor" e sua repercussão sobre os setores industriais do país (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 1991; IBGE, 1991). A crise financeira global de 2008–2009 também provocou retração das emissões, particularmente nos subsetores de cimento, cal e vidro (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2009). Já em 2020, a pandemia reduziu a atividade industrial, com reflexos diretos nas emissões de processos (SEEG, 2023).

As principais anomalias do setor MUT/LULUCF ocorrem no início dos anos 1990, meados dos anos 2000 e no período 2021–2023. O intervalo de 1990 a 2005 corresponde a um período de forte supressão de vegetação nativa no Brasil, com impacto também na Caatinga e na Mata Atlântica sergipanas (MAPBIOMAS, 2023; PRODES, 2023; SEEG, 2023).

Após 2010, observa-se uma tendência de estabilização, associada a políticas de conservação e regeneração natural, com a criação e ampliação de áreas protegidas. Já o período recente (2021–2023) reflete maior variabilidade, possivelmente relacionada a secas intensas e aumento de queimadas (MAPBIOMAS, 2023).

As emissões do setor de resíduos cresceram continuamente até 2010, quando a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) impulsionou a substituição de lixões por aterros sanitários e a ampliação dos sistemas de coleta de esgoto, alterando a dinâmica das emissões de CH_4 (BRASIL, 2010; SNIS, 2022; SEEG, 2023).

Outro aspecto que chama bastante a atenção na curva do setor de resíduos é o seu bom comportamento linear, explicado pela dominação das categorias “efluentes sanitários: tratamento e disposição final” e “resíduos sólidos urbanos”, os quais, devido à escassez de dados reais, são estimados por ancoragem nos dados demográficos do IBGE.

Alguns períodos coincidem com eventos políticos e econômicos nacionais de grande impacto. A crise da dívida externa dos anos 1980 provocou retração nas atividades industriais e agrícolas; o Plano Collor (1990–1992) gerou recessão brusca, afetando IPPU e Energia; o Plano Real (1994) estabilizou a economia e impulsionou a retomada gradual de atividades; o racionamento de energia de 2001 reduziu emissões no setor energético; a crise de 2008–2009 atingiu vários setores simultaneamente; a pandemia de COVID-19 em 2020 provocou queda abrupta em energia, transportes e processos industriais; e a crise hídrica de 2021 ampliou emissões no setor energético (ONS, 2002; IBGE, 1991; BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2009; SEEG, 2023).

5.6 ORDENAMENTO DOS MAIORES EMISSORES LÍQUIDOS DE GEEs DA SÉRIE HISTÓRICA (2000-2023)

Analisando-se com maior profundidade os dados da planilha do SEEG e as respectivas notas metodológicas dos setores, observa-se que, a partir do ano 2000, houve um detalhamento maior das emissões e remoções por categorias e subcategorias dentro de cada setor, para cada município do Estado. Assim, a partir da extração de dados do inventário do SEEG para o período 2000-2023, fez-se a compilação das emissões líquidas acumuladas ao longo do período, de cujos resultados constatou-se a existência de um conjunto relativamente estável de municípios com maior densidade populacional, atividade econômica mais diversificada e/ou presença de infraestruturas intensivas em energia e resíduos. Em contraste, municípios com predomínio de atividades agropecuárias extensivas, menor densidade ou maiores áreas com dinâmica de remoções (p.e. vegetação em regeneração em determinados anos) tendem a apresentar saldos mais baixos e, em alguns casos, próximos do equilíbrio entre emissões e remoções.

As emissões líquidas acumuladas (emissões – remoções), totalizadas no período de 2000 a 2023, permitem o estabelecimento da seguinte classificação para os 10 principais municípios emissores:

1) Aracaju (SE): 24.987.632 tCO_2e;
2) Lagarto (SE): 5.216.725 tCO_2e;
3) Nossa Senhora do Socorro (SE): 4.618.759 tCO_2e;
4) Itabaiana (SE): 3.439.349 tCO_2e;
5) Itaporanga d'Ajuda (SE): 3.408.274 tCO_2e;

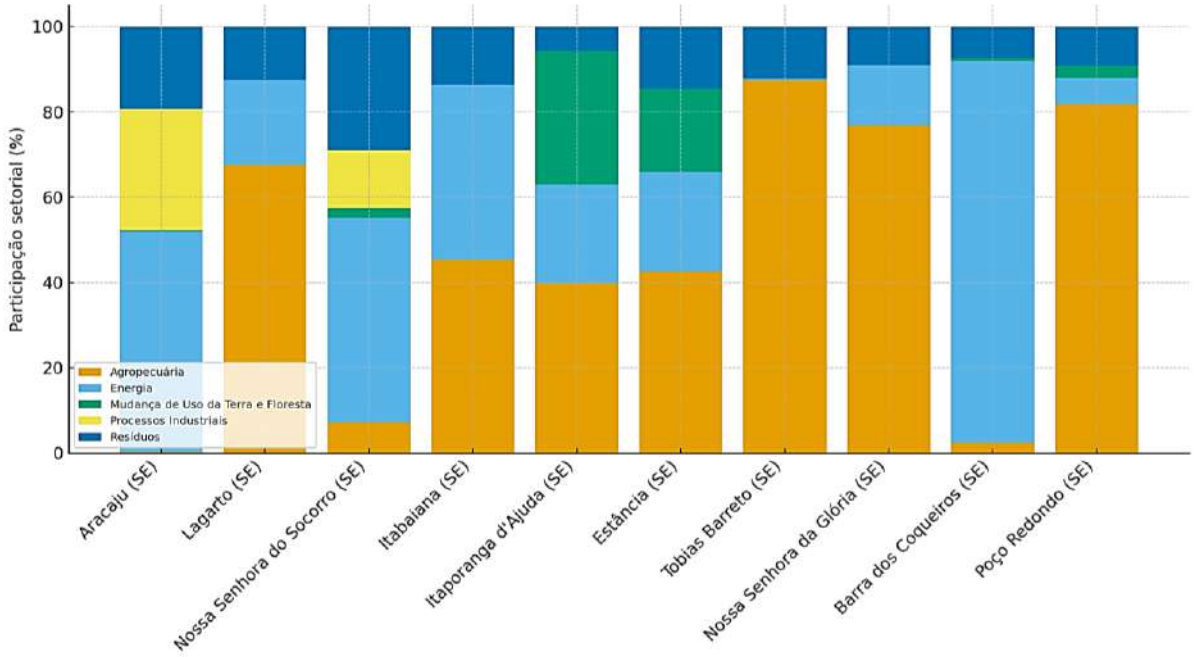
6) Estância (SE): 3.305.877 tCO_2e;
7) Tobias Barreto (SE): 3.264.807 tCO_2e;
8) Nossa Senhora da Glória (SE): 3.182.676 tCO_2e;
9) Barra dos Coqueiros (SE): 2.913.995 tCO_2e;
10) Poço Redondo (SE): 2.686.876 tCO_2e.

Dentre os principais emissores identificados no acumulado 2000–2023, destaca-se um padrão recorrente de liderança metropolitana e de polos regionais. Esses municípios costumam combinar:

- **Energia (combustão e uso final):** Fração relevante do saldo líquido dos maiores emissores decorre do consumo de energia associado a transporte urbano e rodoviário, setor comercial/serviços e consumo residencial. A presença de centros urbanos e eixos logísticos intensifica a demanda energética, elevando CO_2 de combustão. Em anos com maior uso de termelétricas na matriz elétrica regional/nacional (com reflexos indiretos), há tendência de aumento das emissões associadas ao consumo de eletricidade.
- **Resíduos (sólidos urbanos e esgotos):** Capitais e cidades de médio porte concentram a geração de RSU e cargas poluidoras em esgotos. Quando não há captura e queima de biogás, o CH_4 em aterros/lixões responde por parcela expressiva das emissões. Mudanças operacionais - como transição de lixões para aterros sanitários - também alteram a trajetória temporal, podendo reduzir fatores de emissão futuros, mas os estoques legados de resíduos permanecem gerando metano por anos, afetando o saldo 2000–2023.
- **Agropecuária:** Em municípios com rebanhos bovinos bem representativos, o CH_4 entérico e o N_2O de solos manejados e dejetos contribuem de forma consistente. Em polos agropecuários, essa pressão supera o efeito de eventuais remoções, sustentando saldos positivos no acumulado.
- **MUT:** Onde ocorreram perdas líquidas de cobertura vegetal (desmatamentos históricos, conversões de uso ou redução de estoques de carbono), o setor MUT tende a agravar o saldo emissor. A mecanização excessiva do solo tem grande contribuição no balanço de emissão de CO_2 para a atmosfera. Inversamente, áreas com vegetação secundária em regeneração podem exibir remoções que amortecem o total municipal - em alguns casos, alterando a tendência ao longo do período.
- **IPPU:** Normalmente menor em Sergipe, mas pontualmente relevante em municípios com indústrias específicas (p.ex., minerais não-metálicos, alimentos/bebidas ou químicos), contribuindo com CO_2 de processo e alguns fluxos de N_2O e *Compostos Orgânicos Voláteis não-Metano - NMVOCs*, conforme a atividade.

A composição setorial dos 10 principais municípios emissores evidencia essas marcas: centros urbanos exibem maior peso relativo de resíduos e energia (vide Figura 8), enquanto polos agropecuários apresentam maior participação de agropecuária; já casos com história recente de conversões de uso do solo tendem a apresentar parcela relevante de MUT no saldo acumulado.

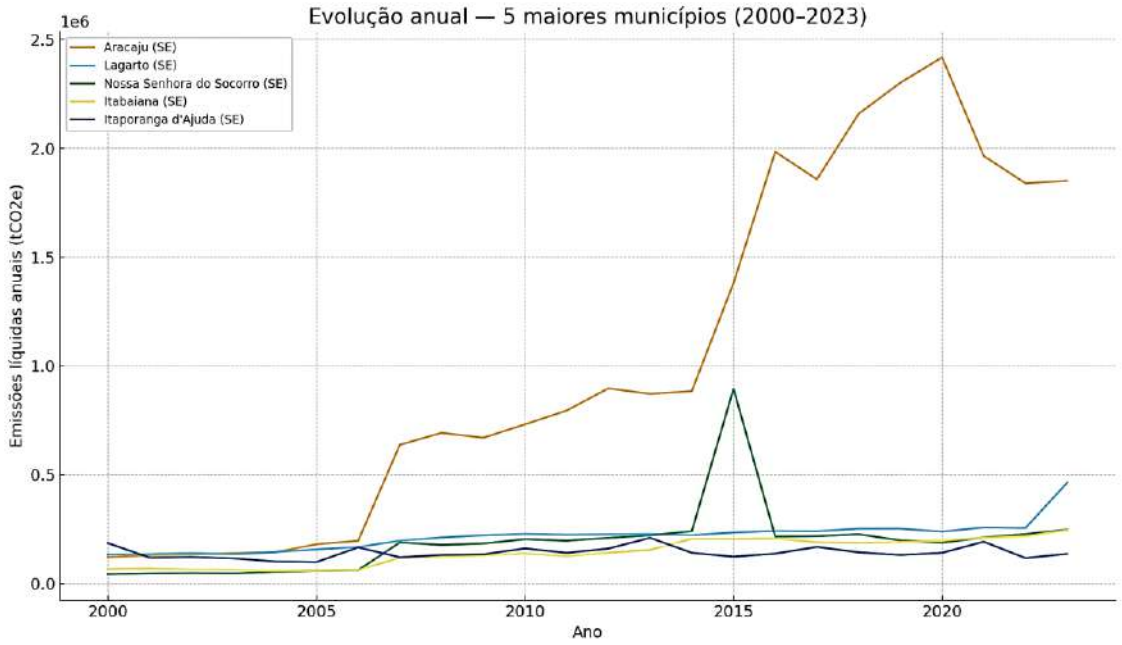
Figura 8: Composição setorial do saldo de emissões de GEEs em Sergipe no período 2000-2023



Fonte: Adaptado de SEEG, 2024.

Por outro lado, a Figura 9 mostra a dinâmica das emissões líquidas acumuladas para os 5 municípios mais emissores.

Figura 9: Evolução das emissões líquidas acumuladas para os 5 maiores emissores em Sergipe



Fonte: Adaptado de SEEG, 2024.

A evolução temporal 2000 a 2023 aponta três padrões típicos:

- **Crescimento sustentado**: municípios com expansão urbana, frota motorizada crescente e/ou incremento de rebanhos tendem a exibir aumento absoluto do total anual. Nesse caso, a combinação dos setores de Energia e "resíduos" em centros urbanos e agropecuária em áreas rurais são as maiores forças motrizes;
- **Estabilização/platô**: locais em que melhorias de gestão de resíduos (transição de lixões para aterros, aumento de cobertura de esgotamento sanitário) e ganhos de eficiência energética compensaram parcialmente o crescimento demográfico/econômico, mantendo um perfil mais estável;
- **Redução**: municípios com melhoria expressiva na gestão de resíduos (p.e., encerramento de lixões e melhores práticas) e/ou remoções líquidas em MUT (regeneração de vegetação secundária) mostram quedas absolutas no saldo anual, mesmo quando a agropecuária permanece relevante.

É comum observar picos em anos específicos - por exemplo, quando há choques de atividade (efeito da Pandemia da Covid-19, maior geração de resíduos, variações de operação de infraestruturas energéticas regionais ou secas que afetam esgoto/efluentes) - seguidos de reversão parcial com políticas públicas e ajustes operacionais. As possíveis causas locais são:

- **Municípios do aglomerado metropolitano:** saldos elevados impulsionados por resíduos sólidos urbanos (CH_4 de aterros/lixões) e energia (transporte urbano, GLP e gás natural). Mudanças no sistema de destinação (encerramento de lixões) e eficiência energética podem explicar inflexões negativas na série.

- **Polos agropecuários:** destaque para CH_4 entérico e N_2O de solos/dejetos.
- **Municípios com dinâmica de uso do solo**: quando a regeneração supera as perdas, o saldo cai (ou aproxima-se de zero) ao longo do período; o inverso ocorre quando há conversões que reduzam os estoques de carbono.
- **Núcleos industriais específicos (IPPU)**: podem explicar diferenças marginais entre municípios próximos em termos de total, sobretudo nos casos do cimento e da cal ou outros processos intensos na geração de CO_2.

6. EMISSÕES/REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR SETOR

O quadro apresentado no item "Referencial Metodológico" mostra a divisão do objeto de estudo em setores de emissão/remoção e categoria de fontes/sumidouros, buscando-se o alinhamento com o IPCC e demais organizações envolvidas com inventários de gases de efeito estufa, o que reforça a qualidade dos resultados, dada a oportunidade de validação externa dos mesmos por meio de comparações. Os itens subsequentes deste Capítulo estão apresentados segundo esses setores.

6.1 SETOR DE ENERGIA

A rigor, este setor tem certa transversalidade, já que compreende emissões que podem parecer ser pertencentes ao setor IPPU, porém se referem à queima direta de combustíveis em atividades industriais. Além disso, o setor abrange categorias como petróleo e gás natural, agropecuária, comercial, geração de eletricidade para serviço público, produção de combustíveis, atividades públicas, residenciais e de transportes.

Quanto aos tipos de combustíveis e fontes energéticas utilizados, destacam-se o uso de GLP, GNL (na termelétrica UTE Porto de Sergipe I), e o transporte rodoviário que utiliza gasolina, etanol, diesel e GNV. Também são relevantes o uso de óleo combustível, a queima de lenha e outras biomassas, bem como o uso do GNC. Todos esses vetores energéticos contribuem para as emissões de gases de efeito estufa no setor de energia, devendo ser considerados na avaliação e projeção das emissões estaduais.

6.1.1 METODOLOGIA

As estimativas estaduais foram feitas a partir das vendas de combustíveis líquidos e gasosos disponibilizadas pela ANP, dos relatórios da SERGÁS, de relatórios do IEMA, de onde foram extraídos dados para o Estado de Sergipe no período de 2020 a 2024. Os dados originalmente expressos em volumes mensais (m^3) foram convertidos para energia (TJ) com base em densidades e poderes caloríficos inferiores (PCI) médios

de referência da ANP. A metodologia de cálculo seguiu majoritariamente o nível de detalhamento "Tier 1" das Diretrizes do IPCC (2006), considerando fatores de emissão de CO_2, CH_4 e N_2O e potenciais de aquecimento global (GWP) do AR6 (IPCC, 2024).

O inventário do setor agrega as emissões de todos os subsetores de energia, contemplando:

i) Emissões por combustíveis líquidos e GLP;
ii) Emissões na geração de termeletricidade (UTE Porto de Sergipe I);
iii) Emissões fugitivas do setor petróleo e gás natural;
iv) Conversões, fatores de emissão, equações e fontes metodológicas segundo o IPCC 2006 e refinamento 2019, para o padrão GWP-AR6.

- **Tratamento e Normalização dos Dados:** A fonte primária foram as planilhas da ANP contendo as vendas mensais de combustíveis (m^3) no Estado de Sergipe, entre 2020 e 2024.
- **Metodologia do IPCC – "Tier 1":** Conforme o "2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Volume 2 – Energy)", com atualizações do "2019 Refinement" (IPCC, 2019).
- **Separação de emissões fósseis e biogênicas**: a Gasolina C foi fracionada em gasolina A (fóssil) e etanol anidro (biogênico, não contabilizado no total fóssil), com teor de 27% (E27, válido até jul/2025).
- **Óleo diesel**: considerado diesel B, com teores B10 (2020–2022), B12 (2023/abr–dez), B14 (2024–jul/2025) e B15 (ago–dez/2025). A fração biodiesel foi tratada como CO_2 biogênico (não contabilizado no total fóssil).
- **Etanol hidratado**: CO_2 tratado integralmente como biogênico (apenas o CH_4 e o N_2O gerados na combustão entraram no total de emissões de carbono fóssil).

Para a estimativa de dados para combustíveis líquidos e GLP, foram utilizados dados mensais de consumo de: etanol hidratado, gasolina C, gasolina de aviação, GLP, óleo diesel, óleo combustível, *Querosene de Aviação - QAV*.

Esses volumes (expressos em m^3) foram convertidos para energia (TJ) a partir de densidades médias e poderes caloríficos inferiores (PCI) recomendados pelo IPCC e ANP, conforme detalhamento a seguir. As propriedades dos combustíveis encontram-se compiladas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades dos combustíveis líquidos

COMBUSTÍVEL	DENSIDADE (T/M³)	PCI (GJ/T)	PCI (GJ/M³)
Etanol hidratado	0,809	26,34	21,3
Gasolina C	0,754	39,36	29,7
Gasolina de aviação	0,726	44,38	32,2

COMBUSTÍVEL	DENSIDADE (T/M³)	PCI (GJ/T)	PCI (GJ/M³)
GLP	0,552	46,48	25,7
Óleo diesel	0,840	42,27	35,5
Óleo combustível	1,000	40,14	40,1
QAV	0,799	43,54	34,8

Fontes: IPCC (2006), ANP (2024).

- **Emissões de CO_2:** As emissões de CO_2 foram obtidas multiplicando a energia (TJ) pelos fatores de emissão de CO_2 específicos de cada combustível, listados na Tabela 2.

$$Emissões\ de\ CO_2\ (t) = E_{TJ} \times EF_{CO_2}(\frac{tCO_2}{TJ})$$

Tabela 2: Fatores de emissão de CO_2 por tipo de combustível

COMBUSTÍVEL	EF CO_2 (T/TJ)
Gasolina C	69,3
Gasolina de aviação	69,3
GLP	63,1
Óleo diesel	74,1
Óleo combustível	77,4
QAV	71,5
Etanol hidratado	0,0 (*)

(*) Emissões biogênicas de CO_2 são contabilizadas separadamente.
Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

- **Emissões de CH_4 e N_2O:**

$$Emissão\ (kg) = E_{TJ} \times EF_{ga's}$$

Os fatores de emissão “Tier 1” utilizados, expressos em kg/TJ, encontram-se resumidos na Tabela 3.

Tabela 3: Fatores de emissão de CH_4 e N_2O por tipo de combustível

CATEGORIA	CH_4	N_2O
Gasolina	25,0	2,6
Diesel	3,9	3,9
Etanol	18,0	84,0
Aviação (QAV e gasolina av.)	0,5	2,0
GLP	1,0	0,1
Óleo combustível	3,0	0,6

Fonte: IPCC, 2006.

- **Conversão para dióxido de carbono equivalente (CO_2):**

Os resultados foram expressos em toneladas de CO_2 equivalente (tCO2e), utilizando o padrão GWP AR6:

- CO_2 = 1;
- CH_4 fóssil = 29,8;
- CH_4 biogênico = 27,2;
- N_2O = 273.

Para gasolina e diesel foram considerados os percentuais de mistura com biocombustíveis (etanol e biodiesel), conforme legislação vigente, já discutidos.

- **Emissões da Termelétrica – UTE Porto de Sergipe I:**

A estimativa de emissões da termelétrica foi realizada com base na geração anual (MWh) e no poder calorífico do gás natural liquefeito (GNL), de acordo com metodologia IPCC "Tier 1".

$$E_{TJ} = \frac{G_{MWh} \times 3{,}6}{\eta_{termica}}$$

As gerações anuais em MWh, bem como as eficiências térmicas (denominador na expressão) foram fornecidas pelos relatórios do IEMA (2020 a 2023), tendo sido estimada a geração para 2024 com base nos dias de operação noticiados oficialmente pelo Governo de Sergipe. Já o fator de emissão de CO2 para o GNL foi adotado como sendo de 56,1 tCO_2/TJ (IPCC 2006).

- **Emissões Fugitivas – Petróleo e Gás Natural:**

As emissões fugitivas foram consolidadas a partir de dados anuais de atividades nos segmentos:

- Produção;
- Processamento;
- Transporte;
- Distribuição;
- Refino;
- "Flare" (queima controlada).

As emissões foram estimadas em termos do metano, por ser o componente mais volátil e mais abundante no gás natural, associado ou não ao petróleo, conforme a expressão:

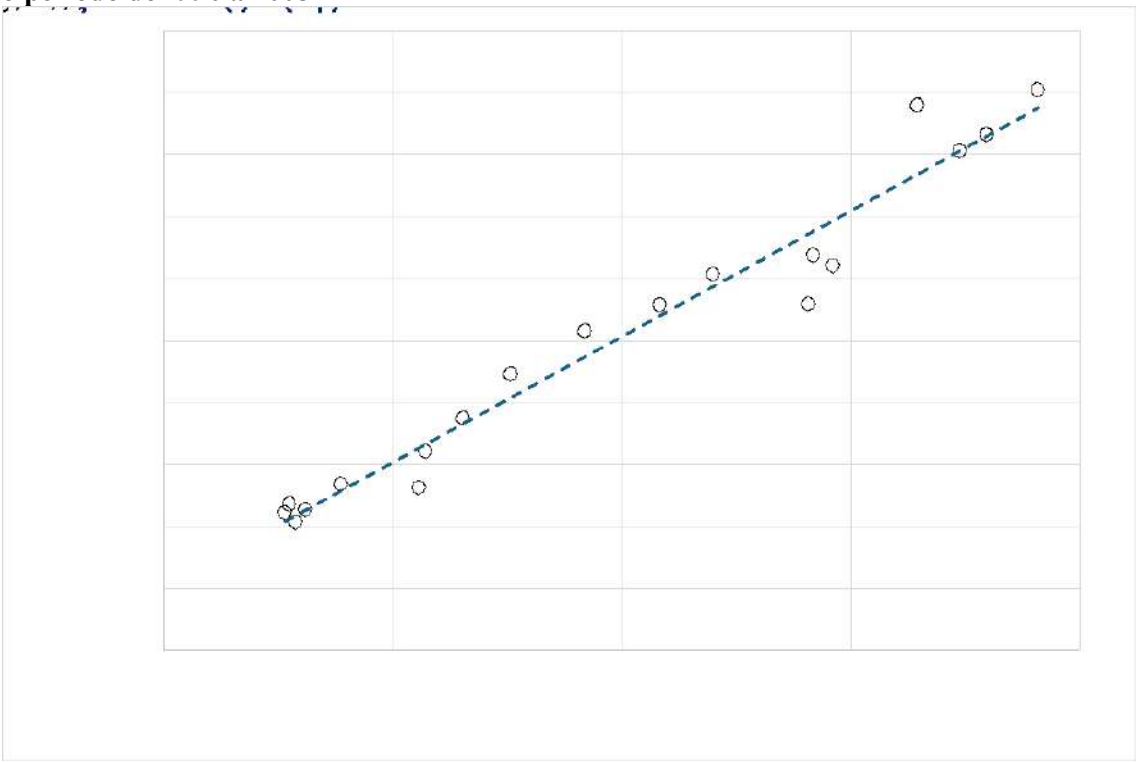
$$Emissões(tCO_2e) = V \times EF_{fugitivo} \times GWP_{CH_4}$$

onde:

- V= volume anual produzido (Nm^3);
- $EF_{fugitivo}$= fator de emissão estimado com base nos dados relatados pela ANP;
- GWP AR6 (CH_4 = 29,8).

Como não se dispunha de dados dos fatores de emissão para Sergipe, foram utilizados relatórios anuais da ANP contendo a produção por estado, os usos internos e as quantidades queimadas, bem como dados de emissões de CH_4, CO_2 e N_2O com base na produção sergipana total de hidrocarbonetos de petróleo (HCs), expressa em Tonelada Equivalente de Petróleo – TEP, no período de 1990 a 2008. A partir desses dados foram obtidas correlações que proporcionaram a estimativa de fatores de emissão, conforme mostram as Figuras 10 a 12.

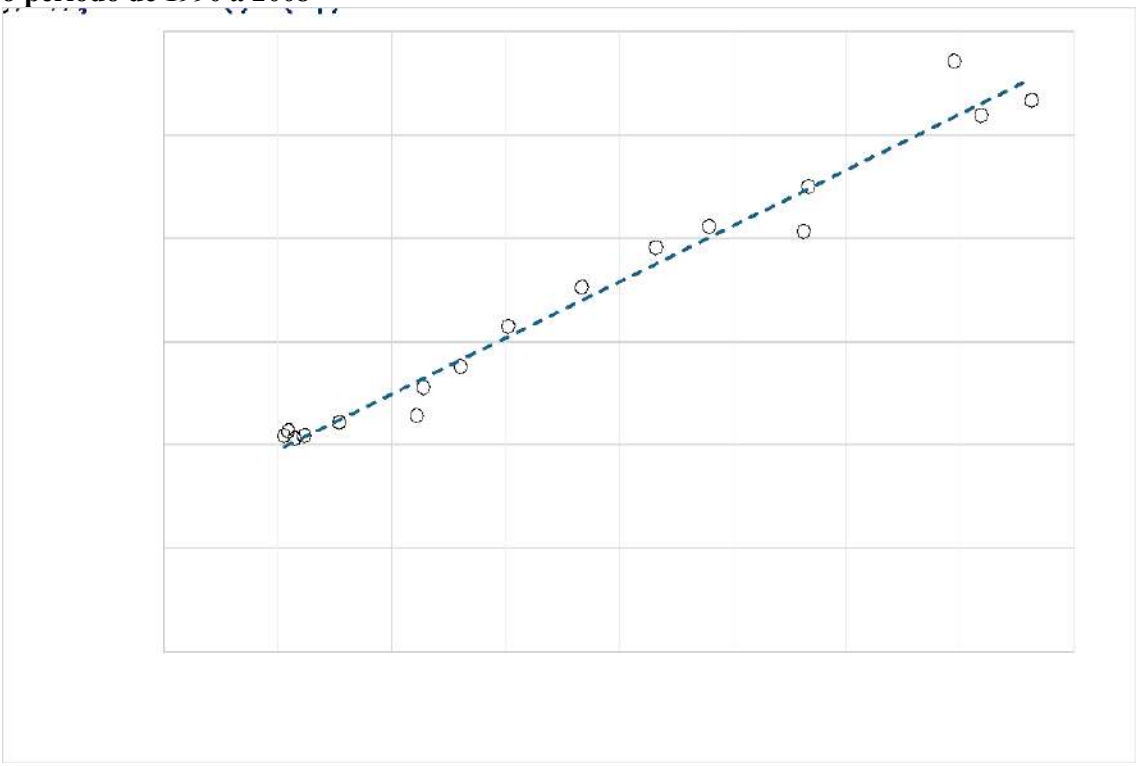
Figura 10: Correlação entre as emissões de CO2 e a produção total em óleo equivalente para o período de 1990 a 2008



Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

A partir da informação da Figura 10, depreende-se que o fator de emissão de CO_2 é de **0,10 tCO_2/tep**, resultante da inclinação da reta ajustada por regressão dos dados. De modo análogo, foram obtidas as curvas para o CH_4 e o N_2O.

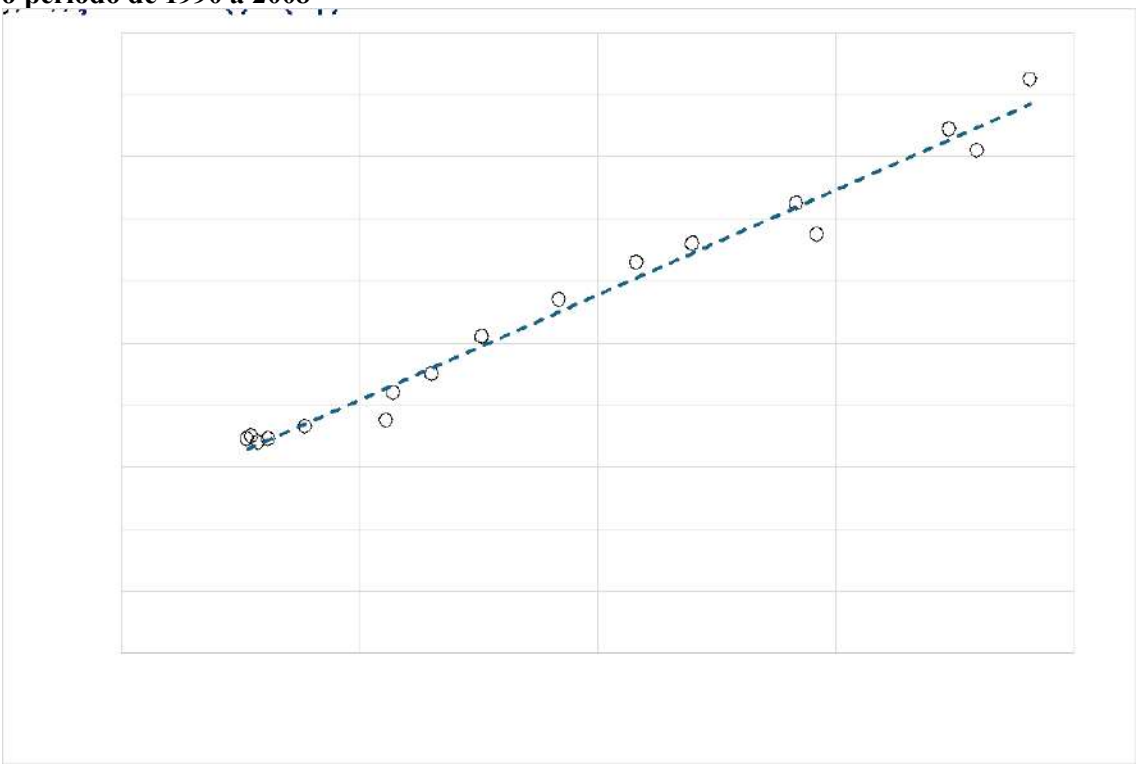
Figura 11: Correlação entre as emissões de CH4 e a produção total em óleo equivalente para o período de 1990 a 2008



Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Deduz-se, portanto, que o fator de emissão de CH_4 é de **$1{,}08x10^{-3}$ tCH_4/tep**, expresso pelo coeficiente angular da curva ajustada.

Figura 12: Correlação entre as emissões de N2O e a produção total em óleo equivalente para o período de 1990 a 2008



Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Finalmente, o fator de emissão de N_2O é de **1,69x10^{-6} tN_2O/tep**.

Dessa forma, com base na produção total de óleo equivalente de Sergipe no período de 2020 a 2024, foram estimadas as emissões de GEE fugitivas e oriundas da queima da categoria emissora "petróleo e gás natural" utilizando esses respectivos fatores.

Considerações metodológicas específicas sobre as fontes estacionárias de geração termelétrica

Embora a estrutura geral do presente inventário esteja fundamentada nas Diretrizes do IPCC (2006) e em seu Refinement (2019), com predominância de metodologias do tipo Tier 1 para diversos subsetores, a estimativa das emissões associadas à geração termelétrica no Estado de Sergipe foi desenvolvida a partir de bases de dados substancialmente mais específicas.

Para esse subsetor foram utilizados os inventários de emissões publicados pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), instituição de reconhecida competência técnica na elaboração de inventários atmosféricos do setor elétrico brasileiro. Diferentemente das abordagens baseadas exclusivamente em fatores médios de emissão por combustível ou em estatísticas agregadas de consumo energético, os inventários produzidos pelo IEMA utilizam informações operacionais específicas das unidades geradoras, contemplando parâmetros como combustível efetivamente consumido, características tecnológicas das usinas, eficiência térmica dos sistemas de geração, fatores de emissão específicos e condições reais de operação.

Consequentemente, as estimativas referentes às emissões provenientes da geração termelétrica incorporadas ao presente inventário apresentam grau de especificidade significativamente superior ao normalmente associado às metodologias Tier 1, aproximando-se conceitualmente das abordagens classificadas pelo IPCC como Tier 2 e, em determinados aspectos, Tier 3. Dessa forma, buscou-se preservar elevada representatividade das emissões oriundas desse importante segmento da matriz energética estadual, reduzindo significativamente as incertezas normalmente associadas ao emprego de fatores médios generalizados.

No caso específico da UTE Porto de Sergipe I, empreendimento de elevada relevância para o setor elétrico nacional e para o perfil de emissões do Estado, as estimativas adotadas refletem as condições efetivas de despacho da usina nos respectivos anos analisados, conforme disponibilizado nas bases utilizadas pelo IEMA. Essa abordagem permite representar de forma consistente a variabilidade operacional característica das usinas termelétricas despachadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), evitando a utilização de médias anuais que poderiam mascarar oscilações

importantes decorrentes das condições hidrológicas e das necessidades operacionais do Sistema Interligado Nacional.

Por essa razão, a contribuição da geração termelétrica apresentada neste inventário deve ser interpretada como resultado da operação efetivamente observada durante o período considerado, refletindo a dinâmica real do setor elétrico brasileiro e não uma simples extrapolação baseada na capacidade instalada ou em fatores médios de emissão da matriz elétrica nacional.

Em termos de emissões fugitivas de gases de efeito estufa no manuseio do gás natural, os sistemas modernos de transporte e processamento são concebidos para operar com elevados padrões de integridade operacional, incorporando dispositivos de monitoramento contínuo, válvulas de segurança, sistemas de recuperação de gases e procedimentos preventivos destinados à minimização de perdas de metano ao longo da cadeia logística. Consequentemente, a magnitude das emissões fugitivas depende muito mais das características operacionais e das práticas de manutenção dos sistemas do que da simples extensão da infraestrutura instalada.

No caso específico da cadeia de gás natural liquefeito (GNL), parte das perdas potenciais decorre da evaporação natural do produto criogênico (boil-off gas). Entretanto, nas modernas cadeias logísticas de GNL esse gás é, em grande parte, recuperado e utilizado como combustível para a própria propulsão das embarcações ou reintegrado aos sistemas de processamento e regaseificação, reduzindo significativamente as emissões efetivas para a atmosfera. Assim, embora tais emissões integrem conceitualmente o conjunto das emissões fugitivas, sua contribuição relativa tende a ser significativamente inferior às emissões associadas às etapas de produção, processamento e combustão do gás natural.

6.1.2 RESULTADOS

As emissões estimadas para o setor de energia encontram-se resumidas a seguir, segundo a categoria emissora integrante deste setor.

- **Consumo de combustíveis:**

Com base nos dados do consumo de combustíveis obtidos dos relatórios da ANP, totalizados para o Estado de Sergipe e seguindo-se a metodologia anteriormente delineada, foram gerados os resultados da Tabela 4.

Tabela 4: Emissões de GEEs expressas em CO2 equivalente (GWP AR6) para todos os tipos de combustíveis

EMISSÕES (tCO_2E)								
Ano	Etanol hidratado	Gasolina C	Óleo diesel	GLP	Gasolina de aviação	Querosene de aviação (QAV)	Óleo combustível	Total anual
2020	20.270	614.623	739.314	208.847	107	31.946	5.468	1.620.575
2021	18.425	629.269	769.784	201.587	86	34.847	1.790	1.655.789
2022	16.473	656.208	905.246	220.588	57	52.157	781	1.851.509
2023	16.921	720.110	903.295	232.268	45	40.986	742	1.914.366
2024	28.768	749.239	911.739	236.143	92	41.277	1.327	1.968.586

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

- **Geração termelétrica:**

A Tabela 5 resume os resultados das emissões de GEEs na termelétrica Porto Sergipe I, no período de 2020 a 2024.

Tabela 5: Emissões de GEEs na geração termelétrica a partir do GNL

ANO	GERAÇÃO (GWH)	EFICIÊNCIA	ENERGIA DO COMBUSTÍVEL (TJ)	CO_2 (t)	CH_4 (t)	N_2O (t)	CO_2e GWP AR6 (t)
2020	1131	61%	6.672	374.266	7	1	374.692
2021	4631	61%	27.309	1.531.203	27	3	1.532.501
2022	806	56%	5.184	290.799	5	1	291.090
2023	0	56%	-	-	-	-	-
2024	781,7	56%	5.025	281.916	5	1	282.190

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

- **Resultados consolidados para o setor:**

Combinando-se as principais contribuições de GEEs, advindas da queima de combustíveis (dados da ANP), com a geração termelétrica e a indústria do petróleo e gás natural, chega-se aos resultados sintetizados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados consolidados das emissões de GEEs no setor de energia, no período de 2020 a 2024

ANO	EMISSÕES (tCO_2e)			
	COMBUSTÍVEIS	TERMELÉTRICA	PETRÓLEO E GN	TOTAL ANUAL
2020	1.620.575	374.692	65.556	2.060.822
2021	1.655.789	1.532.501	54.386	3.242.676
2022	1.851.509	291.090	31.374	2.173.973
2023	1.914.366	-	59.700	1.974.066
2024	1.968.586	282.190	90.840	2.341.615

Nota: Não foram contempladas aqui as contribuições oriundas da combustão no setor IPPU, dependentes do levantamento de dados para as principais indústrias, no contexto das emissões associadas à energia (elétrica e calorífica).
Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

6.2 SETOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS – IPPU

Neste setor, as principais categorias de fontes emissoras em Sergipe englobam a indústria química, a produção de minerais não metálicos, as emissões de hidrofluorocarbonetos (HFCs) e perfluorocarbonetos (PFCs), além do uso de hexafluoreto de enxofre (SF_6), sendo estas três últimas categorias pouco relevantes para o Estado e as mais complexas em termos da disponibilidade de dados para estimativa das emissões.

Entre as principais indústrias e segmentos industriais presentes no Estado, destacam-se a FAFEN-SE, as cerâmicas, as fábricas de cimento, as usinas de açúcar e destilarias de álcool, as indústrias de sucos, a usina de cloreto de potássio e as unidades de produção de cal. Essas atividades representam as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa no setor IPPU em Sergipe, refletindo o perfil industrial local considerado no inventário estadual de emissões.

O setor IPPU se diferencia de outros setores por considerar emissões originadas diretamente de transformações químicas ou físicas de materiais, excluindo as emissões provenientes da combustão de combustíveis, que são alocadas ao setor de energia (Azevedo et al., 2018). Este setor abrange uma ampla gama de atividades, desde a produção de cimento e produtos químicos até o uso de aerossóis, com cada processo industrial possuindo fatores de emissão específicos para os gases de efeito estufa relevantes (Hjelgaard & Nielsen, 2023; Janssens-Maenhout et al., 2019).

A produção de cimento constitui uma das principais fontes de emissões de processo do setor IPPU, em virtude da decomposição térmica dos carbonatos presentes no calcário durante a etapa de produção do clínquer, reação que libera dióxido de carbono independentemente do combustível utilizado para aquecimento dos fornos. Em muitas situações, essas emissões de processo podem representar parcela igual ou superior às emissões decorrentes da combustão de combustíveis fósseis empregados na fabricação do cimento.

A indústria cimenteira é destaque no cenário sergipano, contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa por meio da calcinação do clínquer e do consumo de energia térmica (Azevedo et al., 2018). Em Sergipe, as indústrias de cimento realizam coprocessamento de resíduos, uma prática que pode impactar a quantificação das

emissões diretas e indiretas de CO2 (Oliveira et al., 2023), sobretudo pela escassez de dados específicos para essa prática.

Sob a ótica do nível metodológico Tier 1, foram utilizados os dados de produção anuais de cimento e fatores de emissão padronizados para estimar as emissões de GEE da categoria. Esta abordagem inicial permite um panorama geral das fontes de emissão no setor IPPU, com a ressalva de que a precisão das estimativas pode ser aprimorada futuramente com a incorporação de metodologias Tier 2 ou Tier 3, que exigem dados mais detalhados sobre os processos e tecnologias empregadas pelas indústrias locais (Azevedo et al., 2018; Puig et al., 2013).

No presente inventário, buscou-se representar essa contribuição utilizando a melhor combinação de informações públicas oficialmente disponíveis para o Estado de Sergipe. Para tanto, foram empregados dados de produção industrial obtidos junto às bases estatísticas oficiais, complementados por informações técnicas disponibilizadas pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) e pelos fatores de emissão recomendados pelo IPCC para as diferentes rotas produtivas e tipos de cimento comercializados no País.

Essa estratégia permitiu estimar separadamente as emissões associadas aos processos industriais propriamente ditos e aquelas relacionadas ao consumo energético, evitando dupla contagem das emissões e preservando a compatibilidade metodológica com os inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa.

Deve-se reconhecer, entretanto, que a adoção de metodologias equivalentes ao Tier 3 dependeria da disponibilidade de informações industriais primárias, tais como produção anual de clínquer por unidade fabril, composição mineralógica das matérias-primas, fator clínquer/cimento efetivamente praticado por cada fabricante, utilização de materiais cimentícios suplementares e características específicas dos sistemas de produção. Essas informações, em geral, não integram bases públicas de acesso livre, razão pela qual sua incorporação dependeria de acordos institucionais específicos junto às empresas produtoras ou aos órgãos governamentais responsáveis pela sistematização dessas informações.

6.2.1 METODOLOGIA

O setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) apresenta particularidades metodológicas que os diferenciam dos demais setores inventariados, uma vez que parcela significativa de suas emissões decorre diretamente das transformações físico-químicas inerentes aos processos produtivos, independentemente do consumo

energético associado às instalações industriais. Consequentemente, a estimativa dessas emissões requer, idealmente, informações detalhadas sobre volumes de produção, composição das matérias-primas, características tecnológicas dos processos e parâmetros operacionais específicos de cada unidade industrial.

As diretrizes do IPCC estabelecem que metodologias *Tier 2* e *Tier 3* são preferenciais quando tais informações encontram-se disponíveis de forma sistematizada. Entretanto, na ausência de bases primárias suficientemente detalhadas, recomenda-se a utilização de dados oficiais de produção associados a fatores de emissão tecnicamente consolidados, procedimento igualmente reconhecido pelo IPCC e amplamente empregado em inventários nacionais e subnacionais.

Considerando esse contexto, a metodologia adotada para o setor IPPU buscou maximizar o grau de especificidade das estimativas mediante a utilização de informações oficiais sobre a atividade industrial do Estado de Sergipe, complementadas por fatores de emissão específicos para cada processo produtivo, provenientes da literatura técnica, do Inventário Nacional de Emissões e das diretrizes do IPCC, preservando a consistência metodológica e a comparabilidade dos resultados.

Foram estimadas emissões para o período de 2020 a 2024 nas seguintes categorias: produção de amônia, com ajuste por captura de CO_2 para produção de ureia; cimento e mineração de cloreto de potássio (KCl) e calcário.

As diretrizes, abordagens e fatores utilizados baseiam-se no IPCC 2006, incluindo o refinamento de 2019 para questões de realocação e setoriais. Para **amônia**, foi adotado o fator de emissão (EF) "Tier 1" de **1,694 tCO_2/tNH_3**, típico de plantas modernas a gás natural, considerando tanto o combustível quanto a matéria-prima, conforme IPCC[4].

Quanto à energia, para fins de checagem via gás natural, utilizou-se a conversão de Nm^3 para MJ com poder calorífico inferior (PCI) do gás natural entre aproximadamente 36 e 40 MJ/m^3, sendo 38,7 MJ/m^3 considerado como valor típico. O fator de emissão de CO_2 é de 56,1 tCO_2/TJ ("Tier 1"), segundo IPCC (2006).

Na categoria cimento, quando não há medição direta de clínquer, o cálculo das emissões de CO_2 é realizado multiplicando-se o volume de clínquer produzido pelo fator de emissão do clínquer ($EF_{clínquer}$), cujo valor de referência varia de 0,507 a 0,525 tCO_2

[4] EFDB – Emission Factor Database. IPCC Guidelines, 2006. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/efdb/find_ef.php?ipcc_code=2.B.1&ipcc_level=2.

por tonelada de clínquer, já incluindo ajustes para CKD (“pó de forno de clínquer”, em português) quando aplicável (CKD típico igual a 1,02), conforme IPCC (2006).

A produção de fertilizantes nitrogenados, particularmente amônia e ureia, constitui uma das categorias mais complexas do setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), uma vez que as emissões de gases de efeito estufa decorrem simultaneamente das reações químicas inerentes ao processo industrial e da elevada demanda energética necessária à conversão do gás natural em hidrogênio, à síntese da amônia e à produção de ureia. Em decorrência dessa característica, inventários elaborados segundo metodologias Tier 2 e Tier 3 recomendam a utilização de balanços de massa e energia, consumo específico de matérias-primas, produção efetiva das unidades industriais e parâmetros operacionais próprios de cada planta.

No caso da Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe (FAFEN-SE), localizada no município de Laranjeiras, verificou-se que o período abrangido por este inventário foi caracterizado por expressiva descontinuidade operacional. Após o processo de arrendamento da unidade à iniciativa privada, a planta passou por sucessivas alterações em seu regime de funcionamento, incluindo períodos de retomada parcial das atividades, redução operacional e posterior suspensão da produção, culminando na paralisação das operações em 2024 por razões de natureza econômico-operacional. Apenas ao final de 2025 iniciou-se o processo de reativação da unidade sob nova estrutura operacional.

Esse contexto operacional excepcional limita significativamente a utilização de metodologias baseadas em indicadores médios de produção ou em fatores específicos da planta, uma vez que tais parâmetros pressupõem relativa estabilidade do processo produtivo ao longo do período analisado. Adicionalmente, durante a elaboração do presente inventário não foram identificadas bases públicas contendo informações anuais suficientemente desagregadas sobre produção efetiva de amônia e ureia, consumo de gás natural, balanços de massa, consumo energético ou demais parâmetros operacionais necessários à aplicação de metodologias equivalentes ao *Tier 3*.

Em razão dessas limitações, optou-se pela utilização das melhores informações públicas oficialmente disponíveis, complementadas por fatores de emissão internacionalmente reconhecidos e compatíveis com as Diretrizes do IPCC, preservando a transparência metodológica, a comparabilidade com os inventários nacionais e a rastreabilidade dos procedimentos empregados. Essa abordagem evita a adoção de hipóteses especulativas acerca do desempenho operacional da unidade industrial, privilegiando estimativas fundamentadas em dados verificáveis e tecnicamente defensáveis.

Recomenda-se que futuras atualizações do inventário incorporem informações operacionais primárias da FAFEN-SE, caso estas venham a ser disponibilizadas pelos operadores da unidade ou pelos órgãos competentes. A utilização desses dados permitirá aprimorar a segregação entre emissões de processo e emissões energéticas, bem como reduzir as incertezas associadas à estimativa das emissões industriais do segmento de fertilizantes nitrogenados.

Em relação à ureia, o CO_2 capturado na síntese desse produto deve ser deduzido das emissões de NH_3 na categoria IPPU. Esse CO_2 deve ser posteriormente incluído quando ocorre a aplicação agrícola da ureia, utilizando o fator de emissão "Tier 1", segundo o IPCC (2006).

Os dados da produção de cimento e de amônia e ureia foram obtidos junto ao IBGE (Tabela 7 e Tabela 8); o consumo de gás natural da FAFEN foi levantado pelos relatórios da SERGAS; e a produção mineral bruta foi obtida junto à Agência Nacional de Mineração[5]. Para as lacunas nos dados entre 2020 e 2024, foi aplicada regressão linear sobre a série histórica.

Tabela 7: Produção de amônia e ureia no período de 2020 a 2024, segundo o IBGE

ANO	UREIA (T)	AMÔNIA (T)
2020	-	-
2021	150.000	100.000
2022	500.000	350.000
2023	300.000	200.000
2024	250.000	150.000

Fonte: IBGE, 2024.

Tabela 8: Produção de cimento no período de 2021 a 2024, por tipo, segundo o IBGE

ANO	CP I (T)	CP II (T)	CP III (T)	CP IV (T)	CP V (T)
2021	0	1.862.332	-	60.715	223.319
2022	0	1.571.504	132.687	152.854	79.022
2023	0	1.397.799	115.992	258.006	142.518

Fonte: IBGE, 2024.

Embora a capacidade nominal da unidade industrial seja amplamente conhecida, inventários baseados em metodologias *Tier 2* e *Tier 3* requerem informações referentes à produção efetiva, ao fator de utilização da capacidade instalada, ao consumo específico de matérias-primas e aos balanços de massa e energia da planta. Tais informações não integram bases públicas de acesso aberto e tampouco foram identificadas em relatórios

[5] Agência Nacional de Mineração: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/producao-mineral

institucionais ou estatísticas oficiais referentes ao período inventariado, impossibilitando sua utilização sem recorrer a regressões de dados e prognósticos com incertezas mais elevadas.

- **Procedimentos de cálculo:**
    - Amônia (NH_3):

$$CO_{2NH3,bruto} = Produção\ NH_3\ (t) \times 1{,}694 tCO_2/tNH_3$$

    - Ureia (captura de CO_2 na própria planta industrial):

A ureia incorpora carbono do CO_2 gerado na produção de amônia. Deduz-se do inventário IPPU de NH_3:

$$CO_{2capturado\ p/\ ureia} = Produção\ de\ Ureia\ (t) \times \frac{44}{60} \approx 0{,}733 tCO_2/t$$

$$CO_{2IPPU,NH3} = CO_{2NH3,bruto} - CO_{2capturado\ p/\ ureia}$$

O CO_2 "descontado" será emitido na aplicação agrícola da ureia e deve ser incluído nas emissões do setor MUT.

    - Cimento:

Como não foram publicados dados sobre a produção de clínquer, esta foi estimada a partir da produção de cimento por tipo (CP I a CP V), multiplicada pela fração de clínquer no cimento, cujos valores típicos no Brasil são: CP I/CP V: 0,95; CP II: 0,75–0,85; CP IV: 0,60–0,75; CP III: 0,25–0,65 (conforme ABNT NBR 16.697:2018). Em seguida:

$$CO_{2processo} = Cl\acute{\imath}nquer\ (t) \times EF_{cl\acute{\imath}nquer}$$

onde EF – fator de emissão de CO2 para o clínquer, EF = 0,507 a 0,525 $tCO_2/t\ clínquer$.

6.2.2 RESULTADOS

A Tabela 9 apresenta uma compilação dos resultados das estimativas de emissões anuais de CO_2 nas indústrias de cimento e na fabricação de amônia e ureia.

Tabela 9: Totalização das emissões de CO2 no setor "Indústria", geradas nos processos

ANO	CIMENTO (t CO2)	AMÔNIA E UREIA (t CO2)	TOTAL (t CO2)
2020	982.687	-	982.687
2021	932.565	59.400	991.965

ANO	CIMENTO (t CO2)	AMÔNIA E UREIA (t CO2)	TOTAL (t CO2)
2022	802.165	226.233	1.028.398
2023	792.182	118.800	910.982
2024	701.921	70.767	772.687

Nota: Estão pendentes as contribuições das cerâmicas e as demais indústrias/fábricas sergipanas devido à indisponibilidade de dados acessíveis.
Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

6.3 SETOR AGROPECUÁRIA

Este setor abrange uma vasta gama de atividades, desde a produção de alimentos e fibras até a pecuária que requer uma atenção especial devido à sua complexidade e à diversidade de fontes de emissão, que incluem a fermentação entérica, a gestão de dejetos animais e as emissões dos solos agrícolas, conforme as diretrizes do IPCC (Azevedo et al., 2018; Nielsen et al., 2023). Esses materiais contribuem predominantemente para as emissões de metano e óxido nitroso (N2O), gases com potenciais de aquecimento global significativamente superiores ao do dióxido de carbono (Wang et al., 2024).

Para facilitar a abordagem metodológica e a própria leitura, o setor será subdividido em “agricultura” e “pecuária”, mantendo o diálogo entre os subsetores quando houver similaridade dos métodos de estimativa das emissões de GEEs.

A agricultura no Estado de Sergipe é caracterizada predominantemente por cultivos como: arroz, cana-de-açúcar, milho, mandioca e laranja, cada qual contribuindo de maneira distinta para as emissões de gases de efeito estufa (GEEs). O arroz, em especial, destaca-se pelo manejo de água em sistema de inundação contínua durante o ciclo da cultura, favorecendo a produção de metano. A cana-de-açúcar, de grande relevância econômica, por sua relação com o setor sucroalcooleiro, é responsável por emissões expressivas de GEEs durante o cultivo, principalmente pelo manejo agrícola.

Entre as técnicas agrícolas empregadas, destaca-se a queima de resíduos, prática que libera gases diretamente na atmosfera, e o manejo de solos, que altera suas propriedades e pode intensificar a emissão de óxido nitroso (N2O) e gás carbônico (CO2) pela intensificação da decomposição da matéria orgânica. Os solos manejados, especialmente quando modificados por insumos químicos, com destaque para a adubação e a calagem, ou práticas agrícolas, têm impacto relevante nas emissões, reforçando a necessidade de monitoramento e adoção de técnicas sustentáveis para mitigar os impactos ambientais desse setor.

No setor pecuário, a bovinocultura é predominante na região, sendo a principal responsável pelas emissões de metano e óxido nitroso por meio da fermentação entérica

e do manejo de dejetos animais. A fermentação entérica ocorre em ruminantes, como bovinos e outros animais de unhas fendidas, e consiste em um processo biológico que resulta na liberação de metano durante a digestão dos alimentos. O manejo dos dejetos, que envolve o armazenamento e o tratamento dos resíduos produzidos, também contribui para a geração de GEEs, ampliando o impacto ambiental da criação animal.

6.3.1 METODOLOGIA (EMISSÕES NA AGRICULTURA)

A partir dos dados-base (IBGE-PAM) que publica anualmente as áreas plantadas, colhidas, produção e produtividade por cultura, fez-se uma compilação de dados para o Estado de Sergipe, no período de 2020 a 2024, como mostra a Tabela 10.

Segundo o SEEG (2012), no setor agropecuário, as principais fontes emissoras de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), de acordo com a metodologia proposta pelo IPCC, são:

- Fermentação entérica (CH_4);
- Manejo de dejetos animais (CH_4 e N_2O);
- Cultivo de arroz (CH_4);
- Queima de resíduos agrícolas (CH_4, N_2O, CO e NO_x);
- Solos manejados (incluem as emissões de CO_2 de calagem e aplicação de fertilizantes nitrogenados).

Os métodos de cálculo das emissões são predominantemente classificados no nível "*Tier 1*", conforme as equações do IPCC (2019), cujo delineamento é mostrado em seguida.

Tabela 10: Áreas cultivadas em Sergipe por tipo de cultura, segundo o PAM/IBGE, para o período de 2020 -2024

ANO	PRODUTO	ÁREA (ha)	ANO	PRODUTO	ÁREA (ha)
2020	Amendoim (em casca)	820	2023	Amendoim (em casca)	912
2020	Arroz (em casca)	4.620	2023	Arroz (em casca)	5.038
2020	Banana (cacho)	1.853	2023	Banana (cacho)	2.035
2020	Batata-doce	4.066	2023	Batata-doce	3.719
2020	Cana-de-açúcar	38.380	2023	Cana-de-açúcar	43.077
2020	Coco-da-baía	22.395	2023	Coco-da-baía	19.985
2020	Feijão (em grão)	5.310	2023	Feijão (em grão)	3.059
2020	Fumo (em folha)	210	2023	Goiaba	147
2020	Goiaba	197	2023	Mandioca	12.306
2020	Mandioca	11.026	2023	Melancia	139
2020	Melancia	125	2023	Milho (em grão)	178.840

ANO	PRODUTO	ÁREA (ha)	ANO	PRODUTO	ÁREA (ha)
2020	Milho (em grão)	152.103	2023	Tomate	160
2020	Tomate	148	2024	Amendoim (em casca)	960
2021	Amendoim (em casca)	826	2024	Arroz (em casca)	6.414
2021	Arroz (em casca)	6.126	2024	Banana (cacho)	2.128
2021	Banana (cacho)	1.962	2024	Batata-doce	3.740
2021	Batata-doce	4.425	2024	Cana-de-açúcar	49.683
2021	Cana-de-açúcar	37.108	2024	Coco-da-baía	19.836
2021	Coco-da-baía	21.894	2024	Feijão (em grão)	2.628
2021	Feijão (em grão)	3.575	2024	Goiaba	122
2021	Fumo (em folha)	2	2024	Mandioca	12.122
2021	Goiaba	177	2024	Melancia	155
2021	Mandioca	10.669	2024	Milho (em grão)	178.383
2021	Melancia	130	2024	Tomate	155
2021	Milho (em grão)	165.543	Os dados de 2025 não estão disponíveis		
2021	Tomate	251			
2022	Amendoim (em casca)	955			
2022	Arroz (em casca)	4.296			
2022	Banana (cacho)	2.072			
2022	Batata-doce	4.565			
2022	Cana-de-açúcar	37.936			
2022	Coco-da-baía	20.989			
2022	Feijão (em grão)	3.409			
2022	Goiaba	142			
2022	Mandioca	12.389			
2022	Melancia	112			
2022	Milho (em grão)	175.993			
2022	Tomate	260			

Fonte: PAM/IBGE, 2024.

- **N_2O de solos manejados (fertilizante sintético):**

Nitrogênio aplicado (expresso em toneladas de N):

$$N_{aplicado}\ (t\ N) = \text{área (ha)} \times \text{taxa média N (kgN/ha)}/1000$$

Nota: Na Tabela 10, as culturas banana, coco-da-baía e goiaba são classificadas como permanentes.

Emissões diretas de N_2O:

$$N_2O = N_{aplicado} \times EF1 \times (44/28)$$

Emissões indiretas de N_2O por volatilização/deposição:

$$Nvol = N_{aplicado} \times Frac_{GASF} \times EF4$$

Emissões indiretas de N_2O por lixiviação/escoamento:

$$N_{lix} = N_{aplicado} \times Frac_{LEACH} \times EF5$$

Os valores dos parâmetros para solos manejados (N_2O) – "*Tier 1*", segundo IPCC (2019), são:

- EF1 (N_2O direto, fertilizante sintético): 0,01 kg N_2O/kg $N_{aplicado}$;
- $FRAC_{GASF}$ (volatilização NH_3/NO_x do N sintético): 0,10 kg N_{vol}/kg $N_{aplicado}$;
- EF4 (N_2O da deposição atmosférica): 0,01 kg N_2O/kg $N_{volatilizado}$;
- $FRAC_{LEACH}$ (lixiviação/escorrimento de N): 0,24 kg N_{lix}/kg $N_{aplicado}$;
- EF5 (N_2O da lixiviação/escorrimento): 0,0075 kg N_2O/kg $N_{lixiviado}$.

a) CO_2 da ureia – "Tier 1" do IPCC:

A ureia sofre hidrólise no solo sob ação da urease, liberando CO_2. Sob a hipótese de que 60% do fertilizante nitrogenado sintético são aplicados como ureia (dado típico para o Brasil) e levando-se em conta os fatores estequiométricos: 46% de N na ureia e 0,20 tC/t de ureia:

$$\text{Massa de ureia} = N_{ureia}/0,46$$

$$CO_2 = \text{Massa de ureia} \times 0,733\ tCO_2/t\ \text{ureia}$$

b) CO_2 da ureia – "Tier 1" do IPCC:

CO_2 = taxa de aplicação de calcário ($CaCO_3$) × Área (ha) x 0,44 tCO_2/t.

Foi adotada a taxa de aplicação de calcário 0,5 t/ha/ano.

c) CH_4 do arroz irrigado (áreas inundadas) "Tier 1" (IPCC 2019):

Fator de emissão: 1,27 kg CH_4/ha/dia (média mundial)

Período de cultivo: 120 dias (ciclo típico), já que a Embrapa relata ciclos de 120 a 135 dias.

$$CH_4\ (t) = \text{área} \times 1,19 \times 120/1000$$

Conversão para CO_2e (GWP 100, IPCC AR6):

N_2O=273, CH_4=27,2.

Taxas médias de N usadas (kg N/ha·ano, Nordeste brasileiro):

- Arroz irrigado: 90 (60–100 kg/ha);
- Milho: 119 (60–100 kg/ha) (Barros, 2016a; Barros, 2016b);
- Feijão: 60 (20–90 kg/ha) (Embrapa, 2011; Embrapa, 2023);
- Mandioca: 40 (Embrapa, 2004);
- Melancia: 100 (80–120 kg/ha) (Embrapa, 2025);
- Tomate: 120 (100–180 kg/ha) (INCAPER, s. d.);
- Cana-de-açúcar: 80;
- Amendoim: 0 (leguminosa; não se recomenda N mineral quando inoculado);
- Banana: 180 (produção: 160–400 kg/ha/ano) (Borges, s. d.);
- Coco-da-baía: 200;
- Goiaba: 100 (50–120 kg/ha) (Embrapa, 1994; Cardoso et al., 2011);
- Batata-doce: 55;
- Fumo: 150 (Agostineto et al., 2004).

d) Emissões de GEEs da queima pré-colheita da cana (CH_4 e N_2O):

- Carga de palha seca (MB): 12,0 t matéria seca/ha;
- Fator de combustão (Cf): 0,80 (adimensional);
- Fator de emissão da queima – CH_4: 2,7 g CH_4/kg matéria seca queimada;
- Fator de emissão da queima – N_2O: 0,07 g N_2O/kg matéria seca queimada;

Nota: CO_2 biogênico da queima não entra no total setorial; deve-se contabilizar apenas CH_4 e N_2O.

e) Fração da área de cana com queima (colheita manual):

- 2020: 0,85;
- 2021: 0,85;
- 2022: 0,85;
- 2023: 0,83;
- 2024: 0,795.

6.3.2 METODOLOGIA (EMISSÕES NA PECUÁRIA)

As emissões de metano provenientes da fermentação entérica são particularmente relevantes em sistemas de pecuária extensiva, comuns em algumas regiões de Sergipe, enquanto o óxido nitroso é liberado do solo, principalmente devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados e ao manejo de resíduos vegetais e animais.

A metodologia adotada pelo IPCC, citada por SEEG (2024), propõe a utilização de dados específicos de cada país para o cálculo de emissões de N2O a partir do nitrogênio excretado (Azevedo et al., 2018). Nos casos em que se dispõe apenas dos dados quantitativos anuais sobre os rebanhos, por tipo de gado, utiliza-se o método "Tier 1", que aplica fatores de emissão padrões baseados no número de animais, todavia, a disponibilidade de dados mais específicos, como a composição da dieta e o manejo do esterco, permitiria a aplicação do método "Tier 2", resultando em estimativas mais exatas (Tinitana-Bayas et al., 2023).

Principais fontes de dados:

- Rebanhos: dados do IBGE (Pesquisa Pecuária Municipal – PPM). As emissões por fermentação entérica (CH_4) e manejo de dejetos (CH_4 e N_2O) são calculadas multiplicando populações animais por fatores do IPCC ajustados ao Brasil;
- Pastagens: emissões de N_2O do solo pelo uso de esterco e fixação biológica de nitrogênio, com parâmetros do inventário nacional.

Os dados obtidos da PPM/IBGE foram compilados na Tabela 11.

Tabela 11: Efetivo dos rebanhos por tipo de rebanhos, segundo a PPM/SIDRA/IBGE

TIPO DE REBANHO	2020	2021	2022	2023	2024
Bovino	1.045.507	1.090.821	1.121.930	1.294.262	1.348.720
Bubalino	327	514	463	465	454
Equino	66.150	67.818	69.306	71.886	72.614
Suíno - matrizes de suínos	6.910	8.306	9.029	10.868	12.497
Caprino	22.441	24.000	25.383	24.746	24.865
Ovino	165.386	177.690	194.650	208.224	214.227
Galináceos - total	5.594.029	5.657.900	5.510.247	5.993.398	6.292.380
Galináceos - galinhas	1.359.070	1.550.819	1.566.930	1.837.066	2.217.004
Codornas	6.075	10.920	16.941	27.856	31.923

Fonte: PPM/SIDRA/IBGE, 2025.

Estes dados foram utilizados para o cálculo das emissões, segundo a metodologia citada, como detalhado a seguir.

Emissões de CH_4 por fermentação entérica:

- **Rebanhos:** Bovinos, bubalinos, ovinos e caprinos (ruminantes);
- **Metodologia:** "*Tier 1*" (IPCC 2006/2019), multiplicando-se o efetivo animal de cada rebanho por fator de emissão (EF). Ressalta-se que a situação mais indicada seria subdividir a população dos rebanhos em: vacas leiteiras, bovinos de corte (touros, jovens, bezerros, machos > 2 anos, não confinados e fêmeas > 2 anos, não confinadas), suínos de subsistência (aleitamento/creche, engorda e reprodutores), a exemplo de como foi procedido em SEEG (2024), porém, não foram obtidos os dados com tal nível de detalhamento para o período considerado, optando-se pela utilização dos dados consolidados por cabeça, para cada ano.
- **Fatores de eficiência (EF) usados (kg CH_4/cabeça/ano):**
    - Bovino: 56;
    - Bubalino: 55;
    - Ovino: 5;
    - Caprino: 5.
- **Conversão para CO_2e no padrão GWP_{100} (AR6):** CH_4 = 27,2.

Emissões de CH_4 no manejo de esterco:

- **Rebanhos:** bovinos, bubalinos, suínos, ovinos, caprinos, equinos e aves.
- **Metodologia:** "*Tier 1*" (IPCC 2006, Capítulo 10).
- **Fatores de emissão (kg CH_4/cabeça/ano):** bovino: 1,0; bubalino: 1,0; suíno: 1,0; ovino: 0,20; caprino: 0,22; equino: 2,19; aves: 0,02.

Observação: Como foi quantificada a categoria "galináceos - total", as subcategorias galinhas e codornas foram desconsideradas, para evitar dupla contagem.

- **Fator de conversão de CH_4 (t) para CO_2e (t), com GWP_{100} AR6**: 27,2.

Emissões de N_2O decorrente do manejo de esterco:

- **Rebanhos:** todos os rebanhos com manejo de esterco.
- **Metodologia:** Tier 1 (IPCC 2006, Cap. 10).
- **Parâmetros aplicados:** Os símbolos dos parâmetros utilizados estão de acordo com a metodologia do IPCC (2019).
- **Nex (kg N/cabeça/ano):** bovino: 40; bubalino: 55; suíno total: 12; suíno matrizes: 20; ovino/caprino: 12; equino: 45; aves: 0,6.
- **Distribuição em sistemas de manejo (MS):** valores médios padrões para a América Latina (frações de esterco em lagoas, líquidos, sólido, cama profunda etc.).
- **EF_3 por sistema (kg N_2O–N/kg N):** sólidos: 0,005; fração seca: = 0,02; esterco com crosta: 0,005; poça: 0,002; lagoa anaeróbia: 0; aves com/sem cama: 0,001.

- **Emissões indiretas - via volatilização:**

  (FracGasMS médios de IPCC, 2019) × EF_4, sendo EF4 = 0,01.

- **Fator de conversão de N_2O (t) para CO_2e (t) (GWP_{100} AR6)**: 273.

Nota: A fração depositada no pasto não foi considerada na gestão de dejetos, pois é tratada em solos agrícolas.

Fração de nitrogênio efetivamente manejada:

Na falta de dados reais para o Estado de Sergipe, foram adotadas frações de manejo típicas do IPCC para a América Latina. Pressupõe-se que o restante é deixado nas pastagens e não entra nas estimativas de emissões ligadas ao manejo do esterco. Eis as frações efetivamente manejadas, por tipo de rebanho:

- Bovino: 0,15;
- Bubalino: 0,15;
- Ovino: 0,12;
- Caprino: 0,12;
- Equino: 0,60;
- Suíno (total): 1,00;
- Suíno (matrizes): 1,00;
- Aves (total): 1,00;
- Aves (galinhas): 1,00;
- Codornas: 1,00.

Fator EF_3 médio (para emissões diretas de N_2O do manejo de esterco):

O fator EF_3 médio, que representa as emissões diretas de N_2O provenientes do manejo de esterco (em kg N_2O/kg de N), apresenta variações de acordo com a espécie animal, considerando-se aproximações médias coerentes com sistemas típicos utilizados. Para bovinos e bubalinos, o valor é de 0,007; para ovinos e caprinos: 0,006; para equinos: 0,010; para suínos (tanto total quanto matrizes): 0,004; para aves (total e galinhas): 0,001; e para codornas, também 0,001.

Volatilização (emissões indiretas):

A fração média volatilizada de gases como amônia (NH_3) e óxidos de nitrogênio (NO_x), representada na metodologia do IPCC por $Frac_{Gasmédio}$, apresenta os seguintes valores, por tipo de rebanho: bovinos e bubalinos: 0,30; ovinos e caprinos: 0,15; equinos: 0,20; suínos (tanto total quanto matrizes): 0,45; aves (tanto total quanto galinhas): 0,45; e codornas: 0,45.

Já o fator de emissão EF_4, que se refere ao fator de geração de N_2O proveniente do nitrogênio volatilizado, é de 0,01 kgN_2O/kg de nitrogênio volatilizado. Para a conversão de N_2 para N_2O, utiliza-se a relação de massas molares de 44/28.

Fatores de conversão para dióxido de carbono equivalente - CO_2e:

- CH_4: 27,2;
- N_2O: 273.

Os cálculos das emissões de gases de efeito estufa associados às atividades agropecuárias foram realizados utilizando planilhas Excel, segundo a metodologia descrita nos itens precedentes, utilizando os dados públicos levantados, as equações e os parâmetros obtidos da literatura. No item seguinte, são apresentadas as emissões estimadas na seguinte ordem: (1) Atividades agrícolas, (2) Atividades da pecuária e (3) Consolidação das duas partes do setor agropecuário.

6.3.3 RESULTADOS

Os itens a seguir apresentarão os resultados obtidos para o setor Agropecuária.

a) Emissões da agricultura

As emissões geradas na agricultura foram totalizadas nas tabelas seguintes (Tabelas 12 a 16).

Tabela 12: Totalização das emissões das atividades agrícolas em Sergipe no ano de 2020

PRODUTO	ÁREA (ha)	$N_{aplicado}$ (t)	CO2e N_2O_{dir} (t)	CO2e $N_2O_{ind_atm}$ (t)	CO2e $N_2O_{ind_lix}$ (t)	CO_{2ureia} (t)	$CO_{2calagem}$ (t)	CO2e CH_{4arroz} (t)	$CO2e_{queima_cana}$ (t)	$CO2e_{total}$ (t)
Amendoim (em casca)	820	-	-	-	-	-	180	-	-	180
Arroz (em casca)	4.620	416	1.784	178	321	398	1.016	19.151	-	22.849
Banana (cacho)	1.853	334	1.431	143	258	319	408	-	-	2.558
Batata-doce	4.066	224	959	96	173	214	895	-	-	2.336
Cana-de-açúcar	38.380	3.070	13.172	1.317	2.371	2.937	8.444	-	17.050	45.291
Coco-da-baía*	22.395	4.479	19.215	1.921	3.459	4.284	4.927	-	-	33.806
Feijão (em grão)	5.310	319	1.367	137	246	305	1.168	-	-	3.222
Fumo (em folha)	210	32	135	14	24	30	46	-	-	249
Goiaba	197	20	85	8	15	19	43	-	-	170
Mandioca	11.026	441	1.892	189	341	422	2.426	-	-	5.269
Melancia	125	13	54	5	10	12	28	-	-	108
Milho (em grão)	152.103	18.100	77.650	7.765	13.977	17.313	33.463	-	-	150.168
Tomate	148	18	76	8	14	17	33	-	-	147
TOTAIS	241.253	27.464	117.819	11.782	21.207	26.270	53.076	19.151	17.050	266.355

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 13: Totalização das emissões das atividades agrícolas em Sergipe no ano de 2021

PRODUTO	ÁREA (ha)	$N_{aplicado}$ (t)	CO2e N_2O_{dir} (t)	CO2e $N_2O_{ind_atm}$ (t)	CO2e $N_2O_{ind_lix}$ (t)	CO_{2ureia} (t)	$CO_{2calagem}$ (t)	CO2e CH_{4arroz} (t)	$CO2e_{queima_cana}$ (t)	$CO2e_{total}$ (t)
Amendoim (em casca)	826	-	-	-	-	-	182	-	-	182
Arroz (em casca)	6.126	551	2.365	237	426	527	1.348	25.394	-	30.297
Banana (cacho)	1.962	353	1.515	152	273	338	432	-	-	2.709
Batata-doce	4.425	243	1.044	104	188	233	974	-	-	2.543
Cana-de-açúcar	37.108	2.969	12.735	1.274	2.292	2.840	8.164	-	16.485	43.790
Coco-da-baía*	21.894	4.379	18.785	1.879	3.381	4.188	4.817	-	-	33.050
Feijão (em grão)	3.575	215	920	92	166	205	787	-	-	2.170
Fumo (em folha)	2	0	1	0	0	0	0	-	-	2
Goiaba	177	18	76	8	14	17	39	-	-	153
Mandioca	10.669	427	1.831	183	330	408	2.347	-	-	5.099
Melancia	130	13	56	6	10	12	29	-	-	112
Milho (em grão)	165.543	19.700	84.511	8.451	15.212	18.843	36.419	-	-	163.437
Tomate	251	30	129	13	23	29	55	-	-	249
TOTAIS	**252.688**	**28.897**	**123.969**	**12.397**	**22.315**	**27.641**	**55.591**	**25.394**	**16.485**	**283.792**

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 14: Totalização das emissões das atividades agrícolas em Sergipe no ano de 2022

PRODUTO	ÁREA (ha)	$N_{aplicado}$ (t)	CO2e N_2O_{dir} (t)	CO2e $N_2O_{ind_atm}$ (t)	CO2e $N_2O_{ind_lix}$ (t)	CO_{2ureia} (t)	$CO_{2calagem}$ (t)	CO2e CH_{4arroz} (t)	$CO2e_{queima_cana}$ (t)	$CO2e_{total}$ (t)
Amendoim (em casca)	955	-	-	-	-	-	210	-	-	210
Arroz (em casca)	4.296	387	1.659	166	299	370	945	17.808	-	21.246
Banana (cacho)	2.072	373	1.600	160	288	357	456	-	-	2.861
Batata-doce	4.565	251	1.077	108	194	240	1.004	-	-	2.623
Cana-de-açúcar	37.936	3.035	13.020	1.302	2.344	2.903	8.346	-	16.853	44.767
Coco-da-baía*	20.989	4.198	18.009	1.801	3.242	4.015	4.618	-	-	31.684
Feijão (em grão)	3.409	205	877	88	158	196	750	-	-	2.069
Goiaba	142	14	61	6	11	14	31	-	-	123
Mandioca	12.389	496	2.126	213	383	474	2.726	-	-	5.921
Melancia	112	11	48	5	9	11	25	-	-	97
Milho (em grão)	175.993	20.943	89.846	8.985	16.172	20.033	38.718	-	-	173.754
Tomate	260	31	134	13	24	30	57	-	-	258
TOTAIS	**263.118**	**29.943**	**128.456**	**12.846**	**23.122**	**28.641**	**57.886**	**17.808**	**16.853**	**285.612**

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 15: Totalização das emissões das atividades agrícolas em Sergipe no ano de 2023

PRODUTO	ÁREA (ha)	$N_{aplicado}$ (t)	CO2e N_2O_{dir} (t)	CO2e $N_2O_{ind_atm}$ (t)	CO2e $N_2O_{ind_lix}$ (t)	CO_{2ureia} (t)	$CO_{2calagem}$ (t)	CO2e CH_{4arroz} (t)	$CO2e_{queima_cana}$ (t)	$CO2e_{total}$ (t)
Amendoim (em casca)	912	-	-	-	-	-	201	-	-	201
Arroz (em casca)	5.038	453	1.945	195	350	434	1.108	20.884	-	24.916
Banana (cacho)	2.035	366	1.571	157	283	350	448	-	-	2.810
Batata-doce	3.719	205	877	88	158	196	818	-	-	2.137
Cana-de-açúcar	43.077	3.446	14.784	1.478	2.661	3.296	9.477	-	19.137	50.833
Coco-da-baía*	19.985	3.997	17.147	1.715	3.086	3.823	4.397	-	-	30.168
Feijão (em grão)	3.059	184	787	79	142	176	673	-	-	1.856
Goiaba	147	15	63	6	11	14	32	-	-	127
Mandioca	12.306	492	2.112	211	380	471	2.707	-	-	5.881
Melancia	139	14	60	6	11	13	31	-	-	120
Milho (em grão)	178.840	21.282	91.300	9.130	16.434	20.357	39.345	-	-	176.565
Tomate	160	19	82	8	15	18	35	-	-	159
TOTAIS	**269.417**	**30.473**	**130.729**	**13.073**	**23.531**	**29.148**	**59.272**	**20.884**	**19.137**	**295.773**

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 16: Totalização das emissões das atividades agrícolas em Sergipe no ano de 2024

PRODUTO	ÁREA (ha)	$N_{aplicado}$ (t)	CO2e N_2O_{dir} (t)	CO2e $N_2O_{ind_atm}$ (t)	CO2e $N_2O_{ind_lix}$ (t)	CO_{2ureia} (t)	$CO_{2calagem}$ (t)	CO2e CH_{4arroz} (t)	$CO2e_{queima_cana}$ (t)	$CO2e_{total}$ (t)
Amendoim (em casca)	960	-	-	-	-	-	211	-	-	211
Arroz (em casca)	6.414	577	2.476	248	446	552	1.411	26.588	-	31.721
Banana (cacho)	2.128	383	1.643	164	296	366	468	-	-	2.938
Batata-doce	3.740	206	882	88	159	197	823	-	-	2.149
Cana-de-açúcar	49.683	3.975	17.051	1.705	3.069	3.802	10.930	-	22.071	58.629
Coco-da-baía*	19.836	3.967	17.019	1.702	3.063	3.795	4.364	-	-	29.943
Feijão (em grão)	2.628	158	676	68	122	151	578	-	-	1.595
Goiaba	122	12	52	5	9	12	27	-	-	106
Mandioca	12.122	485	2.080	208	374	464	2.667	-	-	5.793
Melancia	155	16	66	7	12	15	34	-	-	134
Milho (em grão)	178.383	21.228	91.066	9.107	16.392	20.305	39.244	-	-	176.114
Tomate	155	19	80	8	14	18	34	-	-	154
TOTAIS	**276.326**	**31.024**	**133.094**	**13.309**	**23.957**	**29.675**	**60.792**	**26.588**	**22.071**	**309.487**

Nota: Vide legenda na página seguinte.
Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Legenda:

- CO2e N2Odir (t) = CO2 equivalente ao N2O das emissões diretas;
- CO2e N2Oind_atm (t) = CO2 equivalente ao N2O direto emitido para a atmosfera;
- CO2e N2Oind_lix (t) = CO2 equivalente ao N2O indireto lixiviado;
- CO2ureia = CO2 gerado na hidrólise da ureia;
- CO2calagem = CO2 oriundo da aplicação de cal;
- CO2eCH4arroz = CO2 emitido do cultivo de arroz;
- CO2equeima_cana = CO2 equivalente (não biogênico) às emissões da queima de cana;
- CO2etotal = CO2 equivalente total das atividades agrícolas.

b) Emissões da pecuária:

As emissões geradas na pecuária foram agrupadas segundo as principais fontes já discutidas na metodologia, aqui resgatadas com a finalidade de facilitar a leitura e a análise: fermentação entérica (CH_4), manejo de dejetos animais (CH_4 e N_2O).

A Tabela 17 mostra as gerações de CH_4 e suas equivalências em CO_2, e a Tabela 19 reúne as estimativas de N_2O e os totais expressos em CO_2 equivalente (GWP-AR6), segundo o IPCC, tudo isso no manejo de dejetos de animais (esterco).

Tabela 17: Geração de CH4 e CO2 equivalente no manejo do esterco, por tipo de rebanho (2021-2024)

ANO	TIPO DE REBANHO	CABEÇAS	EF_{CH4} (KG/CABEÇA/ANO)	CH_4 (T)	CO_2E (T)
2021	Aves (total)	5.657.900	0,02	113	3.078
2021	Bovino	1.090.821	1,00	1.091	29.670
2021	Bubalino	514	1,00	1	14
2021	Caprino	24.000	0,22	5	144
2021	Equino	67.818	2,19	149	4.040
2021	Ovino	177.690	0,20	36	967
2021	Suínos (matrizes)	8.306	1,00	8	226
2021	Suínos (total)	109.873	1,00	110	2.989
2022	Aves (total)	5.510.247	0,02	110	2.998
2022	Bovino	1.121.930	1,00	1.122	30.517
2022	Bubalino	463	1,00	0	13
2022	Caprino	25.383	0,22	6	152
2022	Equino	69.306	2,19	152	4.128

ANO	TIPO DE REBANHO	CABEÇAS	EF_{CH4} (KG/CABEÇA/ANO)	CH_4 (T)	CO_2E (T)
2022	Ovino	194.650	0,20	39	1.059
2022	Suínos (matrizes)	9.029	1,00	9	246
2022	Suínos (total)	121.058	1,00	121	3.293
2023	Aves (total)	5.993.398	0,02	120	3.260
2023	Bovino	1.294.262	1,00	1.294	35.204
2023	Bubalino	465	1,00	0	13
2023	Caprino	24.746	0,22	5	148
2023	Equino	71.886	2,19	157	4.282
2023	Ovino	208.224	0,20	42	1.133
2023	Suínos (matrizes)	10.868	1,00	11	296
2023	Suínos (total)	150.840	1,00	151	4.103
2024	Aves (total)	6.292.380	0,02	126	3.423
2024	Bovino	1.348.720	1,00	1.349	36.685
2024	Bubalino	454	1,00	0	12
2024	Caprino	24.865	0,22	5	149
2024	Equino	72.614	2,19	159	4.325
2024	Ovino	214.227	0,20	43	1.165
2024	Suínos (matrizes)	12.497	1,00	13	340
2024	Suínos (total)	171.472	1,00	171	4.664

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 18: Totalização anual do metano proveniente do esterco, expresso em CO2e (padrão GWP-AR6), IPCC (2024):

ANO	CO2e (t)
2021	41.127
2022	42.404
2023	48.438
2024	50.764

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 19: Geração de N2O e CO2 equivalente no manejo do esterco, por tipo de rebanho (2021-2024)

ANO	TIPO DE REBANHO	CABEÇAS	NEX (KGN/CABEÇA/ANO)	FATOR DE MANEJO	$EF3_{MÉDIO}$	$FRACGAS_{MÉDIO}$	N_2O_{DIR} (T)	N_2O_{IND} (T)	N_2OTOTAL (T)	CO_2E TOTAL (T)
2021	Aves (total)	5.657.900	0,60	1,00	-	0,45	5,33	24,01	29,34	8.009,89
2021	Bovino	1.090.821	40,00	0,15	0,01	0,30	71,99	30,85	102,85	28.077,73
2021	Bubalino	514	55,00	0,15	0,01	0,30	0,05	0,02	0,07	18,19
2021	Caprino	24.000	12,00	0,12	0,01	0,15	0,33	0,08	0,41	111,20
2021	Equino	67.818	45,00	0,60	0,01	0,20	28,77	5,75	34,53	9.426,43
2021	Ovino	177.690	12,00	0,12	0,01	0,15	2,41	0,60	3,02	823,27
2021	Suíno (matrizes)	8.306	20,00	1,00	-	0,45	1,04	1,17	2,22	605,76
2021	Suíno (total)	109.873	12,00	1,00	-	0,45	8,29	9,32	17,61	4.807,82
2022	Aves (total)	5.510.247	0,60	1,00	-	0,45	5,20	23,38	28,57	7.800,86
2022	Bovino	1.121.930	40,00	0,15	0,01	0,30	74,05	31,73	105,78	28.878,48
2022	Bubalino	463	55,00	0,15	0,01	0,30	0,04	0,02	0,06	16,39
2022	Caprino	25.383	12,00	0,12	0,01	0,15	0,34	0,09	0,43	117,60
2022	Equino	69.306	45,00	0,60	0,01	0,20	29,41	5,88	35,29	9.633,26
2022	Ovino	194.650	12,00	0,12	0,01	0,15	2,64	0,66	3,30	901,85
2022	Suíno (matrizes)	9.029	20,00	1,00	-	0,45	1,14	1,28	2,41	658,48
2022	Suíno (total)	121.058	12,00	1,00	-	0,45	9,13	10,27	19,40	5.297,26
2023	Aves (total)	5.993.398	0,60	1,00	-	0,45	5,65	25,43	31,08	8.484,85
2023	Bovino	1.294.262	40,00	0,15	0,01	0,30	85,42	36,61	122,03	33.314,30
2023	Bubalino	465	55,00	0,15	0,01	0,30	0,04	0,02	0,06	16,46
2023	Caprino	24.746	12,00	0,12	0,01	0,15	0,34	0,08	0,42	114,65
2023	Equino	71.886	45,00	0,60	0,01	0,20	30,50	6,10	36,60	9.991,87

ANO	TIPO DE REBANHO	CABEÇAS	NEX (KGN/CABEÇA/ANO)	FATOR DE MANEJO	$EF3_{MÉDIO}$	$FRACGAS_{MÉDIO}$	N_2O_{DIR} (T)	N_2O_{IND} (T)	N_2O TOTAL (T)	CO_2E TOTAL (T)
2023	Ovino	208.224	12,00	0,12	0,01	0,15	2,83	0,71	3,53	964,74
2023	Suíno (matrizes)	10.868	20,00	1,00	-	0,45	1,37	1,54	2,90	792,60
2023	Suíno (total)	150.840	12,00	1,00	-	0,45	11,38	12,80	24,18	6.600,46
2024	Aves (total)	6.292.380	0,60	1,00	-	0,45	5,93	26,70	32,63	8.908,12
2024	Bovino	1.348.720	40,00	0,15	0,01	0,30	89,02	38,15	127,17	34.716,05
2024	Bubalino	454	55,00	0,15	0,01	0,30	0,04	0,02	0,06	16,07
2024	Caprino	24.865	12,00	0,12	0,01	0,15	0,34	0,08	0,42	115,20
2024	Equino	72.614	45,00	0,60	0,01	0,20	30,81	6,16	36,97	10.093,06
2024	Ovino	214.227	12,00	0,12	0,01	0,15	2,91	0,73	3,64	992,56
2024	Suíno (matrizes)	12.497	20,00	1,00	-	0,45	1,57	1,77	3,34	911,41
2024	Suíno (total)	171.472	12,00	1,00	-	0,45	12,93	14,55	27,48	7.503,27

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 20: Totalização anual de N_2O proveniente do esterco, expresso em CO_2e (padrão GWP-AR6), IPCC (2024)

ANO	CO2E (T)
2021	51.880,29
2022	53.304,18
2023	60.279,93
2024	63.255,74

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Por outro lado, a Tabela 21 apresenta as estimativas de geração de CH4 e CO2 equivalente (GWP-AR6) na fermentação entérica, segundo o tipo de rebanho, para o período de 2021 a 2024.

Tabela 21: Geração de CH4 e CO2 equivalente na fermentação entérica, por tipo de rebanho (2021-2024)

ANO	TIPO DE REBANHO	EF (KGCH4/CABEÇA/ ANO)	EMISSÕES DE CH_4 (T)	EMISSÕES DE CO_2E (T)
2021	Bovino	56	61.086	1.661.539
2021	Bubalino	55	28	769
2021	Caprino	5	120	3.264
2021	Ovino	5	888	24.166
2022	Bovino	56	62.828	1.708.924
2022	Bubalino	55	25	693
2022	Caprino	5	127	3.452
2022	Ovino	5	973	26.472
2023	Bovino	56	72.479	1.971.420
2023	Bubalino	55	26	696
2023	Caprino	5	124	3.365
2023	Ovino	5	1.041	28.318
2024	Bovino	56	75.528	2.054.370
2024	Bubalino	55	25	679
2024	Caprino	5	124	3.382
2024	Ovino	5	1.071	29.135

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 22: Totalização anual do CH4 de origem entérica, expresso em CO2e (padrão GWP-AR6), IPCC (2024):

ANO	EMISSÕES DE CO2e (t)
2021	1.689.737
2022	1.739.541
2023	2.003.799
2024	2.087.566

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

6.4 SETOR USO DA TERRA, MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTA (MUT)

Mudanças no uso e cobertura da terra são processos dinâmicos com profundas implicações para os serviços ecossistêmicos, a biodiversidade e o sistema climático global (Krūmiņš; Kļaviņš, 2025). Globalmente, aproximadamente 62% das áreas terrestres passaram por transformações significativas, de vegetação natural para paisagens agrícolas

e urbanas, alterando assim os ciclos biogeoquímicos e o balanço energético da Terra (Afuye et al., 2024). Essas modificações antropogênicas, abrangendo urbanização, expansão agrícola, desmatamento e florestamento, representam ameaças expressivas à sustentabilidade dos serviços ecossistêmicos em escalas que variam do local ao global (Radwan et al., 2021; Badshah et al., 2024).

A degradação florestal e o desmatamento, por si só, contribuem com aproximadamente 10% para as emissões globais de gases de efeito estufa (Mansori et al., 2023). Tais alterações levaram a reduções mensuráveis na produtividade agrícola, maior suscetibilidade a desastres naturais e modificações significativas nos padrões de drenagem (Dipto et al., 2023). As implicações se estendem a perdas substanciais de biodiversidade, aumento da erosão do solo e considerável estresse nos ciclos hidrológicos, exigindo atenção imediata a esses desafios ambientais interconectados (Afuye et al., 2024).

Em termos de emissões de gases de efeito estufa, as mudanças no uso do solo, incluindo a expansão de áreas urbanas e terras agrícolas, contribuem significativamente para as concentrações atmosféricas de CO2, N2O e CH4 (Li et al., 2024; Pongratz et al., 2021). Isso é impulsionado principalmente por atividades como o desmatamento para expansão agrícola e urbanização, que liberam carbono sequestrado e reduzem a capacidade de sequestro de carbono do solo (Li et al., 2024; Wang, 2024).

Além disso, a transformação de terras para fins agrícolas é reconhecida como a principal causa do desmatamento global, sendo responsável por aproximadamente 90% da perda florestal (Dipto et al., 2023). Essa conversão para terras agrícolas não apenas diminui os sumidouros de carbono, mas também frequentemente leva à degradação do solo e ao aumento das emissões de gases de efeito estufa por meio de práticas alteradas de manejo da terra (Ward et al., 2014; Pongratz et al., 2021) como a excessiva mecanização do solo.

O inventário de GEEs representa um desafio complexo, particularmente no que diz respeito à contabilização precisa do uso da terra, das mudanças no uso da terra e das emissões e remoções florestais, que são cruciais para os inventários nacionais de gases de efeito estufa (Mcglynn et al., 2022). No entanto, avanços metodológicos são continuamente necessários para integrar observações de satélite com modelos, especialmente para distinguir entre fatores naturais e antropogênicos e incorporar processos sub-representados, como a degradação (Pongratz et al., 2021).

No Brasil, o MapBiomas é uma iniciativa importante que fornece mapas de uso e cobertura do solo em alta resolução que auxiliam no monitoramento dessas mudanças e

seus impactos (Radwan et al., 2021). Esses conjuntos de dados detalhados permitem uma quantificação mais precisa das emissões e remoções do setor terrestre, reduzindo assim as incertezas nos inventários nacionais de gases de efeito estufa (Buscardo et al., 2021).

Essa melhor compreensão e monitoramento do uso do solo são essenciais para a formulação de políticas e mecanismos de fiscalização eficazes que visem atingir as metas de emissão líquida zero (Early et al., 2023). Especificamente, o setor agrícola, florestal e outros setores de uso do solo contribuem significativamente para as emissões globais de gases de efeito estufa, respondendo por aproximadamente um terço do total, com quase três quartos das emissões do Brasil originadas desse setor, principalmente devido ao desmatamento (Soterroni et al., 2023).

6.4.1 METODOLOGIA

Esta seção detalha a estrutura analítica e as abordagens empíricas empregadas para investigar a complexa relação entre a dinâmica do uso da terra e as emissões de gases de efeito estufa, utilizando desde metodologias de aquisição, processamento e modelagem de dados, ao uso implícito de imagens geradas pela Rede MapBiomas (coleção 10), até o emprego de métodos mais simples, baseados em fatores de emissão. A seleção da metodologia apropriada é indispensável para avaliar adequadamente as implicações das mudanças no uso da terra no ciclo do carbono, que estão fortemente interligadas com as mudanças nas fontes e sumidouros de carbono nos ecossistemas (Huo et al., 2025).

As diretrizes do IPCC, mais especificamente o refinamento de 2019, propõem a integração de mapas de biomassa nos relatórios nacionais de uso da terra, mudanças no uso da terra e silvicultura para aumentar a exatidão das estimativas de emissões e remoções (Málaga et al., 2022). Esta abordagem faz a diferença, particularmente para se discernir entre flutuações naturais e mudanças antropogênicas nos fluxos de gases de efeito estufa, uma distinção frequentemente aprimorada pela incorporação de imagens de satélite e informações cadastrais (Nielsen et al., 2023).

No Brasil, o SEEG desenvolveu metodologias robustas para estimar as emissões de gases de efeito estufa em vários setores, com foco particular no uso da terra, mudanças no uso da terra e florestas, integrando estatísticas nacionais com dados de sensoriamento remoto (Soterroni et al., 2023). Especificamente, a metodologia SEEG utiliza dados de desmatamento do IBAMA e do MAPBIOMAS, juntamente com fatores de emissão para transições de floresta para desmatamento, para quantificar as emissões de CO2 decorrentes de mudanças no uso da terra (Azevedo et al., 2018).

O procedimento metodológico adotado para o cálculo das emissões e remoções no setor MUT para o Estado de Sergipe demandou uma abordagem metodológica adaptada às condições reais de disponibilidade de dados e prazos para a realização de inventários. Embora as diretrizes metodológicas do IPCC (2006) e seu refinamento de 2019 forneçam um quadro conceitual robusto para a quantificação de fluxos de carbono e gases de efeito estufa associados ao uso da terra, sua aplicação direta exige dados de alta resolução temporal e espacial - nem sempre disponíveis de forma consolidada e aberta no contexto estadual.

No caso específico de Sergipe, as séries de dados provenientes do MapBiomas - embora valiosas - mostraram-se insuficientes para permitir o cálculo direto de todas as componentes do balanço de emissões e remoções no setor MUT. Em especial, observou-se carência de informações para quantificar fluxos associados ao carbono orgânico do solo, resíduos florestais e algumas parcelas de remoções. Soma-se a isso a limitação de tempo para a elaboração do inventário estadual, o que impôs a necessidade de soluções metodológicas que permitissem alcançar resultados confiáveis, ainda que baseados em parâmetros calibrados, mantendo a rastreabilidade científica e a coerência com inventários consolidados.

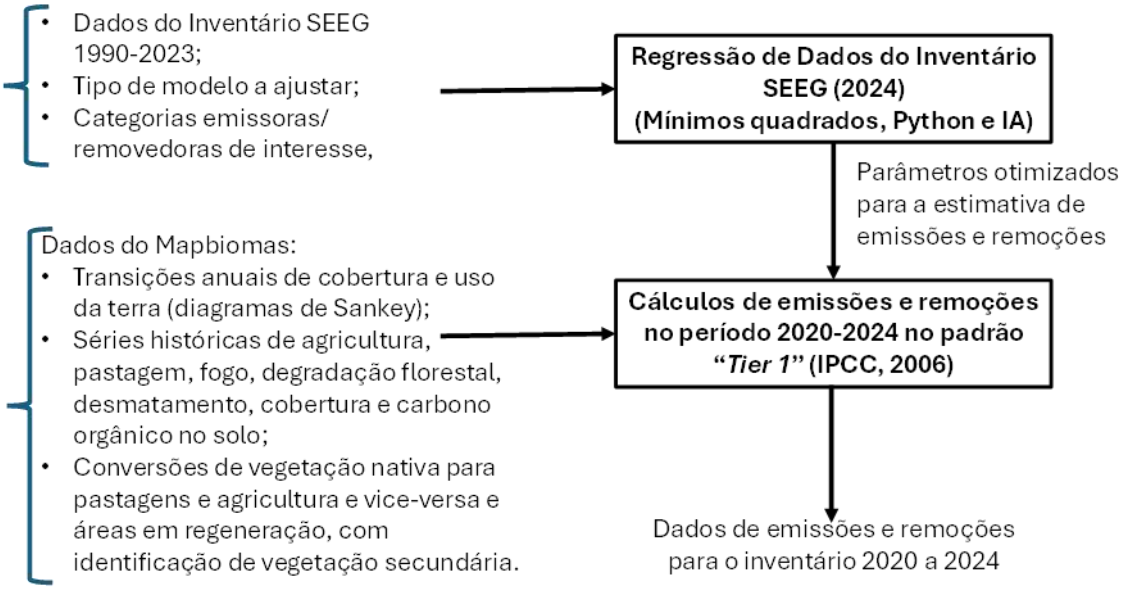
Diante desse contexto, optou-se por utilizar, além dos dados do MapBiomas, as séries históricas do SEEG 12 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024), que cobre o período de 1970 a 2023. Para fins de obtenção de parâmetros de emissão e remoção de GEE, foi utilizada a subsérie de 1990 a 2023, extraída da série mais ampla, de modo a evitar distorções das décadas iniciais e alinhar o inventário estadual às informações mais consolidadas. Com base nos dados de 1990 a 2023, foi possível estimar parâmetros representativos (por meio de regressões de dados) que, combinados aos dados atuais de uso e mudança de uso da terra e cobertura florestal, permitiram estimar emissões e remoções para o período de 2020 a 2024.

A operacionalização dessa metodologia foi realizada com uma rotina computacional desenvolvida em linguagem Python, utilizando ferramentas estatísticas e de inteligência artificial para ajustes e regressões. As séries de dados utilizadas contemplaram informações detalhadas sobre transições anuais de cobertura e uso da terra (diagramas de Sankey gerados pela Plataforma GPBiomas), séries históricas de agricultura, pastagem, fogo, degradação florestal, desmatamento, cobertura e carbono orgânico no solo, abrangendo o período de 1985 a 2024. Foram minerados dados referentes às principais transições de uso da terra, destacando-se conversões de vegetação nativa para pastagens e agricultura, ocorrência de queimadas e áreas em regeneração, com identificação de vegetação secundária.

Com base nessas informações, as emissões associadas às alterações de uso da terra foram estimadas a partir da multiplicação das áreas convertidas por fatores agregados de emissão de carbono por hectare, calibrados com os dados da série SEEG 12. De forma semelhante, as emissões de carbono orgânico no solo foram derivadas das áreas convertidas para agricultura e pastagem, enquanto as emissões de resíduos florestais foram estimadas com base nas áreas queimadas anuais e em fatores de emissão derivados do IPCC (2006) e seu refinamento (IPCC, 2019). As remoções foram tratadas a partir de diferentes frentes: ganho líquido de vegetação, regeneração, áreas protegidas, vegetação secundária e incremento de carbono no solo, combinando fatores de área com parâmetros calibrados ou tendências estatísticas extraídas da regressão de dados do inventário do SEEG.

Em particular, para componentes cujos fatores diretos não estavam disponíveis (como remoções por áreas protegidas, solo, regeneração e vegetação secundária), foram aplicados ajustes de tendência linear, usando a técnica dos mínimos quadrados, baseados nos valores do SEEG de 1990 a 2023, conforme ilustra a Figura 13. Essa estratégia contornou a indisponibilidade de dados específicos para cada categoria emissora/removedora, sobretudo numa situação de cronograma apertado.

Figura 13: Abordagem metodológica para obtenção de parâmetros usados na estimativa de emissões e remoções de GEE no setor "MUT"



Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Adicionalmente, para os resíduos florestais, foi realizado o desmembramento do CO_2e em CH_4 e N_2O, a partir de fatores de emissão efetivos ponderados pela fração florestal anual da paisagem. Tal procedimento permitiu detalhar a contribuição relativa de cada gás, mantendo a coerência com os fatores de emissão "Tier 1" do IPCC e com os

potenciais de aquecimento global do GWP-AR6, subsidiando a obtenção de resultados para o período 2020–2024. Essa abordagem, embora reconhecidamente menos refinada que métodos “Tier 2” ou “Tier 3”, apresenta vantagens importantes em cenários de limitação de dados, pois garante transparência metodológica, reprodutibilidade dos cálculos, coerência temporal com inventários nacionais e compatibilidade com o sistema SEEG. Além disso, não impede futuras atualizações, quando dados mais detalhados estiverem disponíveis.

Em síntese, a utilização combinada de dados do MapBiomas com regressões baseadas no SEEG demonstrou ser uma estratégia eficaz para assegurar estimativas abrangentes e tecnicamente defensáveis no contexto de prazo em que foi desenvolvido o inventário, mantendo a consistência metodológica com as diretrizes do IPCC e com inventários nacionais, ao tempo em que garante rastreabilidade e clareza para eventuais revisões futuras.

a) Emissões oriundas de alterações de uso da terra (CO2):

A estimativa das emissões de CO_2 provenientes de alterações de uso da terra foi realizada por meio de um modelo simplificado baseado em perdas e incrementos de estoque de carbono. O cálculo segue a expressão:

$$Emissão_{ALT} = k_{alt}\ (tCO_2/ha) \times A_{trans}\ (ha)$$

onde:

- A_{trans} – área de transição do tipo área de vegetação para área antropizada, que representa a área de transição de vegetação (florestal, campestre ou secundária) para usos antrópicos, expressa em hectares.
- k_{alt} – coeficiente angular da regressão de dados do SEEG para o período de 2020 a 2023 por mínimos quadrados sem intercepto, refletindo a variação do estoque de carbono médio por unidade de área convertida (estoques acima/abaixo do solo e mudanças estruturais), multiplicado pelo fator 44/12 para equivalência com o método de estoques do IPCC/SEEG.
- $Emissão_{ALT}$ – emissões devido à alteração do uso da terra, expressa em tCO_2, para cada ano da série.

Assim, “$Emissão_{ALT}$” é a emissão por perda de biomassa quando a vegetação é convertida para uso antrópico (qualquer classe não vegetada ou produtiva antrópica).

b) Emissões relacionadas ao carbono orgânico do solo (CO_2)

Envolvem as emissões de CO_2 relacionadas à conversão de vegetação para agricultura e pastagem, calculadas ano a ano, as quais foram estimadas por um modelo

do tipo combinação linear, alinhado aos dados do inventário do SEEG, conforme a equação:

$$Emissão_{solo} = k_{agri} \times A_{veg_agr} + k_{past} \times A_{veg_past}$$

sendo:

- $k_{agri} = -[(FLU_{agri} - 1) \times SOC_{ref}] \cdot (44/12)$
- $k_{past} = -[(FLU_{past} - 1) \times SOC_{ref}] \cdot (44/12)$
- A_{veg_agr} e A_{veg_past} - são as áreas (ha) que, em cada ano, saem de vegetação e entram em agricultura/pastagem, obtidas das transições (planilhas dos diagramas de Sankey, geradas no MapBiomas).
- SOC_{ref} – sigla para carbono orgânico do solo (em inglês), obtido do IPCC (2006).

Nota: o sinal negativo garante a positividade para emissões, já que, em geral, $FLU_{agri} < 1$ e $FLU_{past} < 1$ (estoques em uso agrícola/pastagem são menores que o de referência florestal/natural). Então, (FLU-1) é negativo (perda de carbono do solo implica em emissão de CO_2). Se, por hipótese, o novo uso aumentar o SOC (FLU>1), k ficaria negativo, indicando remoção de CO_2 atmosférico.

A interpretação das equações para o cálculo das constantes k_{agri} e k_{past} está fundamentada no seguinte: para cada hectare de vegetação convertido para agricultura ou pastagem, há uma variação do conteúdo de carbono orgânico no solo (SOC). No Tier 1 do IPCC (2006), com o refinamento de 2019, o estoque de carbono no solo é modelado como:

$$SOC = SOC_{ref} \times FLU \times FMG \times FI$$

onde:

- **SOC_{ref}**: estoque de referência (t C/ha) para o clima/solo (0–30 cm);
- **FLU**: fator de uso da terra (do Inglês: "*factor of land-use*");
- **FMG**: fator de manejo;
- **FI**: fator devido aos insumos utilizados.

A mudança de estoque de carbono no solo ao trocar de uso (p. e. vegetação para agricultura) é a diferença entre o SOC final e o inicial. Na abordagem "*Tier 1*", essa mudança é, por padrão, distribuída ao longo de um período de transição (tipicamente 20 anos). Para se converter carbono (C) para dióxido de carbono (CO_2) multiplica-se por 44/12.

c) Emissões derivadas de resíduos florestais (CH_4, N_2O, CO_2e)

Para as emissões provenientes de resíduos florestais, empregou-se também um modelo linear agregado, conforme segue:

$$Emissão_{resid} = k_{resid} \times A_{fogo}$$

onde: A_{fogo} corresponde à área queimada anual (ha); o fator k_{resid} incorpora a carga de combustível, fração queimada, fator de combustão e fatores de emissão para CH_4 e N_2O, além da conversão para CO_2e, segundo o GWP - AR6.

d) Remoções por mudança de uso da terra (CO_2)

A remoção de CO_2 atmosférico por ganho de vegetação foi estimada por um modelo baseado no fator de ganho líquido, expresso por:

$$Remoção_{MUT} = k_{rmut} \times A_{veg}$$

onde A_{veg} representa a área que passa a ser vegetada; o coeficiente k_{rmut} reflete ganhos médios de estoque e incrementos iniciais.

e) Demais remoções (áreas protegidas, solo, vegetação secundária, regeneração)

Para componentes sem forças-motrizes diagnosticadas nos diagramas de Sankey, foram aplicadas tendências lineares detectadas para o período 2015 a 2023, às magnitudes das áreas referentes aos diversos tipos de biomas da série histórica dos dados do SEEG, tendo sido proposta uma regressão linear do tipo:

$$Remoção_X(y) = a_X + b_X \cdot y$$

onde:

- y= ano (ex.: 2020, 2021, 2022, …).
- a_X= intercepto da regressão para a categoria X, ou seja, valor base estimado para remoções no primeiro ano de série (“ano zero” na escala relativa).
- b_X= coeficiente angular - representa a variação anual média das remoções na categoria X.
- X= subcategoria de remoção: AP = áreas protegidas; SOLO = carbono orgânico do solo (remoção líquida); SEC = vegetação secundária (regeneração natural); REGEN = Remoção por regeneração.

Nota**:** Não se está assumindo que exista causalidade com variáveis exógenas (p. e. uso do solo). Foi apenas modelada a tendência histórica observada nos resultados do inventário do SEEG, cuja correlação obtida proporcionou as estimativas para o período 2020–2024.

f) Identificação de vegetação secundária

Foi desenvolvida uma rotina de classificação automática baseada em palavras-chave para identificar transições cujo destino corresponde à vegetação secundária (por exemplo: “secundária”, “capoeira”, “regeneração”, “mata secundária”, “floresta secundária”) nas planilhas do MapBiomas. Essas áreas foram consolidadas separadamente das demais áreas vegetadas e totalizadas como “área convertida em

vegetação secundária (ha)". As áreas vegetadas restantes foram classificadas como vegetação não-secundária.

6.4.2 RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos para o setor Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Floresta (MUT).

a) **Parâmetros resultantes da calibração:**

Como já delineado na metodologia, os dados do SEEG, após alimentarem o modelo de regressão, produziram os parâmetros da Tabela 23, que foram usados nas estimativas das emissões e remoções sintetizadas na Tabela 26.

Tabela 23: Parâmetros obtidos por regressão linear dos dados do inventário do SEEG (1970-2023)

PARÂMETRO	UNIDADES	VALOR
k_{alt}	tCO_2/ha	49,40
k_{agri} (tCO_2/ha)	tCO_2/ha	1,71
k_{past} (tCO_2/ha)	tCO_2/ha	2,56
k_{resid} (para queimada)	tCO_2/ha	15,35
k_{rmut}	tCO_2/ha	0,0081

Fonte: SEEG (1970-2023).

Com relação às conversões de cobertura levantadas a partir das planilhas do MapBiomas, foram gerados os resultados da Tabela 24.

Tabela 24: Classes de cobertura de destino obtidas a partir dos dados de transições do MapBiomas **para o período 2020 a 2024, na classificação do SEEG**

ANO-FIM	CLASSE DESTINO	ÁREA (ha)
2020	Agropecuária	1.562.885
2020	Floresta	504.209
2020	Área não vegetada	54.048
2020	Vegetação herbácea e arbustiva	36.478
2020	Água e ambiente marinho	36.205
2021	Agropecuária	1.574.254
2021	Floresta	493.228
2021	Área não vegetada	55.179
2021	Água e ambiente marinho	35.793
2021	Vegetação herbácea e arbustiva	35.371
2022	Agropecuária	1.584.861
2022	Floresta	478.211
2022	Área não vegetada	56.449

ANO-FIM	CLASSE DESTINO	ÁREA (ha)
2022	Água e ambiente marinho	40.287
2022	Vegetação herbácea e arbustiva	34.017
2023	Agropecuária	1.593.138
2023	Floresta	468.784
2023	Área não vegetada	57.710
2023	Água e ambiente marinho	40.126
2023	Vegetação herbácea e arbustiva	34.067
2024	Agropecuária	1.595.899
2024	Floresta	463.805
2024	Área não vegetada	60.065
2024	Água e ambiente marinho	39.839
2024	Vegetação herbácea e arbustiva	34.217

Fonte: MapBiomas, 2025.

As áreas que sofreram transformações no período considerado no inventário foram enquadradas conforme a Tabela 25.

Tabela 25: Conversões de áreas segundo o ano – fim com base nas planilhas do MapBiomas

ANO	ÁREA VEG PARA ANTRÓPICO (ha)	ÁREA VEG PARA AGRICULTURA (ha)	ÁREA VEG PARA PASTAGEM (ha)	ÁREA QUEIMADA TOTAL (ha)	ÁREA COM DESTINO VEGETAÇÃO NÃO-SECUNDÁRIA (ha)
2020	15.984	6.357	9.536	2.321	540.687
2021	18.421	7.326	10.989	2.951	528.599
2022	20.798	8.275	12.413	1.454	512.228
2023	18.116	7.184	10.777	1.860	502.851
2024	21.342	8.455	12.683	3.705	498.022

Fonte: Adaptado de MapBiomas, 2024.

Tabela 26: Estimativas de emissões e remoções no setor "MUT", no período de 2020 a 2024

ANO	EMISSÕES			REMOÇÕES				
	ALTERAÇÕES DE USO DA TERRA (tCO_2)	CARBONO ORGÂNICO NO SOLO (tCO_2)	RESÍDUOS FLORESTAIS (tCO_2e)	CARBONO ORGÂNICO NO SOLO (tCO_2)	ÁREAS PROTEGIDAS (tCO_2)	MUDANÇA DE USO DA TERRA (tCO_2)	VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA (tCO_2)	REGENERAÇÃO (tCO_2)
2020	789.689	35.301	35.628	6.225	10.541	4.362	823.142	272
2021	910.046	40.678	45.299	4.959	10.660	4.264	840.343	264
2022	1.027.522	45.950	22.319	3.693	10.780	4.132	857.544	257
2023	895.018	39.893	28.552	2.426	10.899	4.057	874.745	249
2024	1.054.358	46.950	56.873	1.160	11.018	4.018	891.947	242

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Os resultados revelam um crescimento consistente das remoções associadas à vegetação secundária, níveis estáveis em áreas protegidas e regeneração, e um leve declínio nas remoções por carbono no solo - resultados condizentes com os padrões observados historicamente nos inventários do SEEG.

A remoção por vegetação secundária domina as remoções no setor, no período em estudo, e consequentemente no Estado, variando de 0,82 a 0,89 $MtCO_2$/ano (aproximadamente 98% do total). Por outro lado, as alterações de uso da terra dominam as emissões do setor, variando de 0,8 a 1,0 $MtCO_2$/ano, correspondentes a cerca de 90% do total.

6.5 SETOR RESÍDUOS

Este setor engloba as emissões de gases de efeito estufa provenientes do tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos, industriais e agrícolas, assim como do tratamento de efluentes líquidos. As principais fontes de emissão neste setor incluem a decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos em aterros sanitários e lixões desativados em fase de encerramento, que gera metano, e o tratamento de efluentes industriais e domésticos, que pode liberar metano e óxido nitroso. A quantificação dessas emissões baseia-se tipicamente em dados sobre a quantidade e composição dos resíduos gerados, bem como nas tecnologias de tratamento empregadas, utilizando fatores de emissão específicos para cada tipo de resíduo e método de disposição final (Azevedo et al., 2018).

Para o inventário de Sergipe, a aplicação de metodologias “Tier 1” e “Tier 2” do IPCC, conforme observado em outras estimativas nacionais, utiliza dados de atividade obtidos de fontes abertas, como panoramas anuais de associações de limpeza pública e estudos nacionais relevantes (Azevedo et al., 2018). No entanto, a implementação de metodologias mais refinadas, como o “Tier 2”, para o setor de resíduos depende da disponibilidade de dados mais detalhados sobre a composição dos resíduos e as características operacionais de aterros sanitários e de estações de tratamento de efluentes, o que nem sempre é acessível em níveis subnacionais.

A partir de dados populacionais como a população atendida com coleta, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos, bem como sobre a taxa de geração de esgotos domésticos, é possível estimar as emissões de CH4 provenientes da decomposição de resíduos orgânicos e do tratamento de efluentes. No entanto, a ausência de dados consolidados em nível estadual para o tratamento de efluentes domésticos

representa uma lacuna significativa, que frequentemente exige a utilização de estimativas per capita ou fatores de conversão padrão (Azevedo et al., 2018).

Adicionalmente, as emissões de CO2 provenientes da decomposição de resíduos da biomassa em aterros sanitários geralmente não são contabilizadas nos inventários de GEE, pois o CO2 de fontes biogênicas é considerado parte do ciclo natural do carbono (Nielsen et al., 2023). No entanto, o metano e o óxido nitroso (N2O) gerados a partir da degradação de resíduos são considerados gases de efeito estufa e, portanto, incluídos nos inventários (Puig et al., 2013).

Assim, a metodologia utilizada deve contemplar as estimativas de emissões pelo método de decaimento de primeira ordem recomendado pelo IPCC, considerando os distintos períodos de decaimento para diferentes tipos de resíduos orgânicos (Petrescu et al., 2021). Essa abordagem permite uma quantificação mais representativa das emissões de metano provenientes da fração orgânica dos materiais descartados (Oliveira et al., 2023).

Para os antigos lixões, a aplicação de modelos que simulem a liberação gradual de metano ao longo do tempo, considerando o histórico de deposição e a decomposição anaeróbica, é crucial (Puig et al., 2013). Considerando-se que a modelagem das emissões de aterros sanitários no projeto SEEG emprega uma fração de CH4 de 0,5, baseada nas recomendações do IPCC, é vital adotar parâmetros que reflitam as condições específicas de decomposição e a composição dos resíduos em Sergipe (Azevedo et al., 2018).

A quantificação do potencial de geração de metano (L0), a partir da análise gravimétrica dos resíduos, pode ser comparada com os valores padrões do IPCC para refinar a estimativa da produção de biogás. Adicionalmente, a consideração da recuperação de metano, seja por meio de queima em flares ou aproveitamento energético, é um fator crucial, visto que apenas uma pequena fração do gás é efetivamente capturada no Brasil, e essa recuperação foi sempre insignificante antes de 2003 (Azevedo et al., 2018).

6.5.1 METODOLOGIA

O setor de resíduos compreende as seguintes fontes de emissão de GEE: disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU), tratamento de efluentes domésticos, tratamento de efluentes industriais, incineração e queima a céu aberto, e tratamento biológico. Neste Relatório, focou-se apenas na disposição final de RSU e no tratamento de efluentes domésticos, que são as principais fontes com dados mais acessíveis ou mais passíveis de estimativas fidedignas.

Foram utilizadas as seguintes fontes:

- Esgotos: volumes anuais coletados e tratados por município (dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS), tendo sido selecionados os indicadores ES005 - volume de esgotos coletado e ES006 – volume de esgoto tratado, expressos em 1.000 m3/ano, e os totais estaduais no período de 2020 a 2022, por serem os únicos disponíveis no sistema;
- Tratamento centralizado apenas em Aracaju (lagoas facultativas seguidas de lagoas aeróbias); Propriá, Nossa Senhora das Dores e Simão Dias (lagoas facultativas); demais municípios: fossas sépticas;
- Resíduos Sólidos: quantidade total de resíduos sólidos domiciliares e resíduos comerciais com características similares (RDO), e de resíduos sólidos públicos (RPU), coletada por município, correspondente ao indicador CO119 do SNIS. Até meados de 2023, prevaleceram lixões (exceto Aracaju, São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro e Barra dos Coqueiros que já dispunham de aterro); após 2023, considerou-se o uso de aterros sanitários, sem captação/queima de biogás e encerramento dos lixões;
- População: séries históricas municipal e estadual no período de 2001 a 2024, incluindo Aracaju, já atualizadas com base no Censo Demográfico de 2022 do IBGE, conforme Tabela 27.

Tabela 27: Série histórica populacional de Sergipe e de seus municípios (2020-2025)

CÓD.	UNIDADE DA FEDERAÇÃO E MUNICÍPIO	2020	2021	2022	2023	2024	2025
28	Sergipe	2.318.822	2.338.474	2.210.004	2.250.541	2.291.077	2.299.425
2800100	Amparo de São Francisco	2.380	2.386	2.170	2.188	2.206	2.202
2800209	Aquidabã	21.681	21.796	20.131	20.337	20.542	20.556
2800308	Aracaju	664.908	672.614	602.757	615.803	628.849	630.932
2800407	Arauá	9.947	9.840	10.318	10.401	10.483	10.464
2800506	Areia Branca	18.686	18.825	18.081	18.321	18.560	18.626
2800605	Barra dos Coqueiros	30.930	31.439	41.511	42.948	44.384	45.175
2800670	Boquim	26.899	26.980	24.636	24.837	25.038	25.007
2800704	Brejo Grande	8.353	8.396	7.841	7.929	8.016	8.025
2801009	Campo do Brito	18.218	18.325	18.149	18.398	18.646	18.719
2801108	Canhoba	4.006	4.003	3.791	3.823	3.855	3.850
2801207	Canindé de São Francisco	30.402	30.894	26.834	30.163	33.491	33.641
2801306	Capela	34.514	34.808	31.645	32.181	32.716	32.783
2801405	Carira	22.239	22.393	19.939	20.127	20.315	20.314
2801504	Carmópolis	16.937	17.232	13.853	14.016	14.179	14.203
2801603	Cedro de São João	5.913	5.929	5.391	5.437	5.482	5.474
2801702	Cristinápolis	18.029	18.181	17.100	17.320	17.539	17.594
2801900	Cumbe	3.998	4.008	3.824	3.865	3.906	3.872
2802007	Divina Pastora	5.215	5.290	4.340	4.387	4.433	4.436
2802106	Estância	69.556	69.919	65.078	66.028	66.978	67.060
2802205	Feira Nova	5.601	5.617	5.975	6.091	6.207	6.358
2802304	Frei Paulo	15.556	15.688	14.530	14.707	14.884	14.921
2802403	Gararu	11.601	11.599	11.096	11.199	11.301	11.294
2802502	General Maynard	3.384	3.421	3.037	3.074	3.111	3.118
2802601	Gracho Cardoso	5.824	5.831	5.834	5.907	5.979	5.910
2802700	Ilha das Flores	8.521	8.522	8.321	8.408	8.495	8.499
2802809	Indiaroba	18.149	18.337	16.549	16.749	16.949	16.991

CÓD.	UNIDADE DA FEDERAÇÃO E MUNICÍPIO	2020	2021	2022	2023	2024	2025
2802908	Itabaiana	96.142	96.839	103.440	105.924	108.408	109.250
2803005	Itabaianinha	42.166	42.399	40.678	41.396	42.114	42.230
2803104	Itabi	4.886	4.869	4.745	4.784	4.823	4.816
2803203	Itaporanga d'Ajuda	34.709	35.054	34.411	35.137	35.863	36.074
2803302	Japaratuba	18.907	19.067	16.209	16.341	16.472	16.451
2803401	Japoatã	13.429	13.422	13.407	13.557	13.707	13.723
2803500	Lagarto	105.221	106.015	101.579	103.569	105.558	105.957
2803609	Laranjeiras	30.080	30.327	23.975	24.073	24.170	24.047
2803708	Macambira	6.961	7.002	6.838	6.931	7.024	7.048
2803807	Malhada dos Bois	3.699	3.715	3.579	3.623	3.666	3.674
2803906	Malhador	12.653	12.689	11.533	11.631	11.728	11.712
2804003	Maruim	17.271	17.328	15.719	15.847	15.975	15.956
2804102	Moita Bonita	11.348	11.361	11.050	11.169	11.288	11.297
2804201	Monte Alegre de Sergipe	15.175	15.315	14.336	14.534	14.732	14.781
2804300	Muribeca	7.639	7.653	7.822	7.928	8.033	8.059
2804409	Neópolis	18.703	18.688	16.426	16.492	16.558	16.473
2804458	Nossa Senhora Aparecida	8.809	8.822	9.232	9.364	9.496	9.534
2804508	Nossa Senhora da Glória	37.324	37.715	41.212	42.234	43.255	43.686
2804607	Nossa Senhora das Dores	26.795	26.957	24.996	25.267	25.537	25.569
2804706	Nossa Senhora de Lourdes	6.496	6.509	6.268	6.336	6.404	6.409
2804805	Nossa Senhora do Socorro	185.706	187.733	192.330	197.390	202.450	204.081
2804904	Pacatuba	14.540	14.650	12.502	12.606	12.709	12.690
2805000	Pedra Mole	3.285	3.309	2.778	2.798	2.818	2.811
2805109	Pedrinhas	9.665	9.727	7.396	7.406	7.416	7.355
2805208	Pinhão	6.627	6.678	5.677	5.723	5.769	5.759
2805307	Pirambu	9.359	9.436	7.913	7.975	8.037	8.021
2805406	Poço Redondo	35.122	35.461	33.439	31.278	29.117	29.238

CÓD.	UNIDADE DA FEDERAÇÃO E MUNICÍPIO	2020	2021	2022	2023	2024	2025
2805505	Poço Verde	23.867	24.003	21.794	22.004	22.214	22.217
2805604	Porto da Folha	28.693	28.788	26.576	26.963	27.350	27.348
2805703	Propriá	29.692	29.756	26.618	26.946	27.273	27.213
2805802	Riachão do Dantas	19.809	19.813	18.313	18.446	18.579	18.541
2805901	Riachuelo	10.284	10.354	8.748	8.812	8.875	8.853
2806008	Ribeirópolis	18.773	18.891	17.033	17.198	17.362	17.365
2806107	Rosário do Catete	11.008	11.158	9.295	9.397	9.499	9.507
2806206	Salgado	20.025	20.051	20.279	20.526	20.772	20.825
2806305	Santa Luzia do Itanhy	14.121	14.205	13.616	13.791	13.965	14.003
2806404	Santana do São Francisco	7.844	7.906	7.346	7.438	7.530	7.549
2806503	Santa Rosa de Lima	3.923	3.933	3.937	3.988	4.038	4.049
2806602	Santo Amaro das Brotas	12.151	12.200	11.092	11.195	11.297	11.289
2806701	São Cristóvão	91.093	92.090	95.612	97.986	100.360	101.213
2806800	São Domingos	11.207	11.276	10.327	10.439	10.550	10.559
2806909	São Francisco	3.781	3.837	3.243	3.283	3.323	3.330
2807006	São Miguel do Aleixo	3.947	3.964	3.434	3.458	3.481	3.471
2807105	Simão Dias	40.606	40.724	42.578	43.432	44.285	44.503
2807204	Siriri	8.970	9.046	7.834	7.909	7.984	7.981
2807303	Telha	3.249	3.271	3.274	3.324	3.373	3.389
2807402	Tobias Barreto	52.530	52.861	50.905	51.759	52.613	52.783
2807501	Tomar do Geru	13.535	13.534	12.012	12.079	12.145	12.094
2807600	Umbaúba	25.550	25.800	23.917	24.228	24.538	24.618

Fonte: IBGE - Estimativas de População e Censo 2022, destacado na forma de sombreamento.

Subsetor “esgotos”:

a) Emissões de CH_4:

Aplicou-se a metodologia “Tier 1” do IPCC (2006), conforme a equação:

$$CH_4 = TOW \times MCF \times B_0 - R$$

Onde:

- TOW: Carga orgânica total (kg DBO/ano);
- B_0: Capacidade máxima de produção de CH_4 = 0,60 kg CH_4/kg DBO;
- MCF: Fator de correção de metano;
- R: Taxa de recuperação de biogás; R = 0 (sem recuperação).

Os valores dos parâmetros adotados foram:

- DBO per capita: 0,05 kg DBO·hab^{-1}·dia^{-1};
- Lagoas facultativas seguidas de aeróbias (Aracaju): MCF = 0,15;
- Lagoas facultativas (Propriá, N. Sra. das Dores, Simão Dias): MCF=0,20;
- Fossas sépticas (demais municípios): MCF = 0,30;
- Municípios sem tratamento (lançamento direto): MCF = 0,0.

b) Emissões de N_2O:

Utilizou-se o método baseado no nitrogênio (IPCC, 2006):

$$N_2O = [P \times CP \times Frac_{NPR} \times EF_{efluente}] \times \frac{44}{28}$$

Onde:

- P: População;
- CP: Consumo de proteína per capita (56 g hab^{-1}·dia^{-1});
- $Frac_{NPR}$: Fração de nitrogênio na proteína (0,16 kg N/kg proteína);
- $EF_{efluente}$: Fator de emissão (0,005 kg N_2O-N·hab^{-1}·ano^{-1}).

Estes dados foram aplicados à população com sistema centralizado (Aracaju, Propriá, N. Sra. das Dores e Simão Dias).

Subsetor “resíduos sólidos urbanos”:

a) Emissões de CH_4:

Aplicou-se o modelo de decaimento de primeira ordem (FOD) do IPCC:

$$CH4(t) = (1 - OX)\, F\, \frac{16}{12} \sum_{x \leq t} \; [k \cdot MCF_x \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MSW_x \cdot e^{-k(t-x)}]$$

Tendo sido adotados os seguintes valores dos parâmetros (clima tropical, IPCC):

- DOC=0,15;
- DOCf=0,5;
- F=0,5;
- k=0,17 ano^{-1};
- OX=0;
- R=0.

MCF_x efetivo por ano de disposição (x):

- Até 2022: média ponderada por participação municipal (aterro: 1,0; lixão: 0,6);
- 2023: transição **0,5 × MCF (2022) + 0,5 × 1,0**;
- A partir de 2024: 1,0 (considerando o uso generalizado de aterros).
- MSW_x (t/ano): obtido a partir do indicador CO119 agregado para o período 2020–2022;
- 2000–2019: foi adotada a geração per capita média do período 2020–2022.

b) Fatores do potencial de aquecimento global (GWP):

- CH_4: 27,2 (AR6, 100 anos);
- N_2O: 273 (AR6, 100 anos).

Nota: Segundo o IPCC 2006, Capítulo 6 – *Wastewater Treatment and Discharge*, ratificado pelo Refinamento 2019, a oxidação da DBO (demanda bioquímica de oxigênio) ou DQO no tratamento biológico (lagoas facultativas, aeradas, lodos ativados etc.), gera CO_2 biogênico. Como esse carbono provém de biomassa recente (alimentos, fezes, urina etc.), o IPCC o considera neutro em termos de balanço global de carbono. De forma análoga, no IPCC 2006, Capítulo 3 – *Solid Waste Disposal*, consta que: durante a decomposição aeróbia ou anaeróbia, a matéria orgânica dos RSU em aterros ou lixões libera CO_2 (além de CH_4), porém a fração biogênica (restos de alimentos, papel, madeira etc.) é considerada neutra. O IPCC só recomenda relatar o CH_4 gerado na decomposição anaeróbia da fração orgânica biodegradável. Já a fração orgânica associada ao carbono fóssil (plásticos, borrachas, têxteis sintéticos etc.) não gera CO_2 em aterros ou lixões, exceto se houver incineração ou combustão.

6.5.2 RESULTADOS

As emissões de gases de efeito estufa inerentes ao setor de resíduos, calculadas com base na metodologia delineada no item anterior, encontram-se compiladas na Tabela 28.

Tabela 28: Estimativas de emissões de GEE no setor "Resíduos", período 2020 - 2024

ANO	ESGOTOS (tCH_4)	ESGOTOS (tN_2O)	ESGOTOS (tCO_2e)	RESÍDUOS (tCH_4)	RESÍDUOS (tCO_2e)
2020	6.419	20	179.939	25.029	680.784
2021	6.470	20	181.398	25.234	686.364
2022	6.167	18	172.624	25.265	687.195
2023	6.277	18	175.721	25.699	699.020
2024	6.387	19	178.817	26.439	719.153

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Os resultados estão consolidados para o Estado e as emissões foram totalizadas para cada subsetor, a saber: esgotos e resíduos, expressos em tCO2e. O desmembramento das emissões por município pode ser feito utilizando como base a proporcionalidade com as respectivas populações, já que os dados do SNIS não são suficientemente completos para se fazer a separação com base nos volumes de esgotos e massas de resíduos gerados anualmente em cada município.

6.6 COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DO INVENTÁRIO (2020-2024)

Este item trata da compilação das emissões de gases de efeito estufa referentes ao inventário estadual de gases de efeito estufa (GEE) para o Estado de Sergipe no período de 2020 a 2024. Após a estimativa das emissões e remoções por fontes e sumidouros, torna-se necessário consolidar os resultados de todos os setores contemplados pelo IPCC, com base na estrutura proposta em suas diretrizes de 2006 e no refinamento de 2019, a qual compreende cinco grandes setores: energia, processos industriais e uso de produtos (IPPU), agropecuária, mudança de uso da terra e florestas (MUT) e resíduos.

Tal compilação possibilitou um diagnóstico da situação atual e a análise das principais tendências e dinâmicas espaciais e temporais das emissões no território estadual. A consolidação dos dados setoriais possibilita a obtenção do balanço total de GEE do Estado, identificando os principais emissores e sumidouros e subsidiando, de forma objetiva, o planejamento de políticas públicas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Essa etapa também viabiliza a aplicação de indicadores comparáveis internacionalmente, como CO_2 equivalente (CO_2e), com base nos potenciais de aquecimento global (GWP) do sexto relatório de avaliação (AR6), permitindo a comunicação transparente dos resultados em consonância com as diretrizes da UNFCCC.

Para o período 2020 - 2024, as fontes primárias consultadas (ANP, IBGE, SERGAS, IEMA etc.) disponibilizaram totais por produto/atividade em nível estadual, mas não detalham integralmente os setores usuários finais, por exemplo, separando as vendas de diesel entre os usos: transportes, industrial, serviço público; ou GLP entre os

usos: residencial, comercial, industrial etc. Essa limitação é típica em inventários subnacionais quando não há balanço energético estadual consolidado por uso final, e implica que a desagregação setorial requer hipóteses documentadas, com transparência metodológica e análise de incertezas. Em vista disso, os totais por tipo de combustível da ANP e da SERGAS foram tomados como somatórios e a distribuição por subsetor só poderia ser estimada via tipificação setorial, devidamente adequadas ao contexto de Sergipe.

Tendo em vista a existência de inventários prévios, com destaque para o documento “Análise das Emissões de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas Climáticas no Brasil – SEEG 12 (1970-2023)” (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024), decidiu-se por apresentar a consolidação dos dados no formato tabular do Apêndice deste documento, como mostram os dados das Tabelas 29 a 31. Os dados completos do SEEG 12 encontram-se em OBSERVATÓRIO DO CLIMA (2024).

Tabela 29: Consolidação das emissões/remoções de GEE estimadas neste inventário, por setor de emissão e categoria, no período de 2020 a 2024

SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA	2020	2021	2022	2023	2024
AGROPECUÁRIA	-	**2.066.536**	**2.120.862**	**2.408.290**	**2.511.072**
Cultivo de Arroz	19.151	25.394	17.808	20.884	26.588
Outras culturas	-	-	-	-	-
Fermentação Entérica	-	1.689.737	1.739.541	2.003.799	2.087.566
Manejo de Dejetos Animais	-	93.007	95.708	108.718	114.020
Queima de Resíduos Agrícolas	17.050	16.485	16.853	19.137	22.071
Solos Manejados	230.154	241.913	250.952	255.753	260.828
ENERGIA	**2.060.822**	**3.242.676**	**2.173.973**	**1.974.066**	**2.341.615**
Emissões Fugitivas	803	645	562	896	941
Emissões pela Queima de Combustíveis	1.620.575	1.655.789	1.851.509	1.914.366	1.968.586
Agropecuário	-	-	-	-	-
Comercial	-	-	-	-	-
Geração de Eletricidade (Serviço Público)	374.692	1.532.501	291.090	-	282.190
Industrial	-	-	-	-	-
Produção de Combustíveis	64.753	53.741	30.813	58.804	89.899
Público	-	-	-	-	-
Residencial	-	-	-	-	-
Transportes	-	-	-	-	-
MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTA	**860.618**	**996.024**	**1.095.791**	**963.463**	**1.158.181**
Alterações de Uso da Terra	789.689	910.046	1.027.522	895.018	1.054.358
Carbono Orgânico no Solo	35.301	40.678	45.950	39.893	46.950
Resíduos Florestais	35.628	45.299	22.319	28.552	56.873

SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA	2020	2021	2022	2023	2024
PROCESSOS INDUSTRIAIS	**982.687**	**991.965**	**1.028.398**	**910.982**	**772.687**
Indústria Química	982.687	991.965	1.028.398	910.982	772.687
Produtos Minerais	-	-	-	-	-
RESÍDUOS	**860.723**	**867.762**	**859.818**	**874.740**	**897.970**
Efluentes Líquidos	179.939	181.398	172.624	175.721	178.817
Resíduos Sólidos	680.784	686.364	687.195	699.020	719.153
TOTAL	**4.764.850**	**8.164.962**	**7.278.842**	**7.131.542**	**7.681.526**
REMOÇÕES	**844.542**	**860.491**	**876.406**	**892.377**	**908.384**
Carbono Orgânico no Solo	6.225	4.959	3.693	2.426	1.160
Remoção em Áreas Protegidas	10.541	10.660	10.780	10.899	11.018
Remoção por Regeneração	4.362	4.264	4.132	4.057	4.018
Remoção por Mudança de Uso da Terra	823.142	840.343	857.544	874.745	891.947
Remoção por Vegetação Secundária	272	264	257	249	242
TOTAL EMISSÕES LÍQUIDAS		**7.304.471**	**6.402.436**	**6.239.165**	**6.773.142**

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Tabela 30: Consolidação das emissões/remoções de GEE por setor de emissão e categoria no período de 2020 a 2024 (suplementada com dados do SEEG)

SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA	2020	2021	2022	2023	2024
AGROPECUÁRIA	**2.136.454**	**2.066.536**	**2.120.862**	**2.408.290**	**2.511.072**
Cultivo de Arroz	19.151	25.394	17.808	20.884	26.588
Fermentação Entérica	1.750.746	1.689.737	1.739.541	2.003.799	2.087.566
Manejo de Dejetos Animais	119.353	93.007	95.708	108.718	114.020
Queima de Resíduos Agrícolas	17.050	16.485	16.853	19.137	22.071
Solos Manejados	230.154	241.913	250.952	255.753	260.828
ENERGIA	**2.881.132**	**4.538.032**	**2.888.296**	**2.659.812**	**3.588.873**
Agropecuária	7.333	9.072	9.155	7.056	8.266
Comercial	8.516	9.765	10.416	12.101	8.488
Geração de eletricidade (serviço público)	64	2.049.016	256.587	80	845.294
Industrial	1.287.641	932.618	921.273	899.456	1.186.632
Produção de combustíveis	130.114	44.316	16.175	22.747	105.874
Público	3.154	3.540	4.257	4.267	3.196
Residencial	191.729	184.281	204.633	216.053	185.175
Transportes	1.252.583	1.305.423	1.465.799	1.498.053	1.245.946
MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTA	**860.618**	**996.024**	**1.095.791**	**963.463**	**1.158.181**
Alterações de Uso da Terra	789.689	910.046	1.027.522	895.018	1.054.358
Carbono Orgânico no Solo	35.301	40.678	45.950	39.893	46.950
Resíduos Florestais	35.628	45.299	22.319	28.552	56.873
PROCESSOS INDUSTRIAIS	**1.919.823**	**1.869.609**	**1.746.466**	**1.620.982**	**1.709.547**
Indústria Química	982.687	991.965	1.028.398	910.982	772.687

SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA	2020	2021	2022	2023	2024
Produtos Minerais	937.136	877.645	718.068	710.000	936.860
RESÍDUOS	**860.723**	**867.762**	**859.818**	**874.740**	**897.970**
Efluentes Líquidos	179.939	181.398	172.624	175.721	178.817
Resíduos Sólidos	680.784	686.364	687.195	699.020	719.153
Efluentes industriais	25.884	36.602	41.935	53.475	26.258
TOTAL	**8.658.750**	**10.337.963**	**8.711.233**	**8.527.287**	**9.865.644**
REMOÇÕES	**844.542**	**860.491**	**876.406**	**892.377**	**908.384**
Carbono Orgânico no Solo	6.225	4.959	3.693	2.426	1.160
Remoção em Áreas Protegidas	10.541	10.660	10.780	10.899	11.018
Remoção por Regeneração	4.362	4.264	4.132	4.057	4.018
Remoção por Mudança de Uso da Terra	823.142	840.343	857.544	874.745	891.947
Remoção por Vegetação Secundária	272	264	257	249	242
TOTAL EMISSÕES LÍQUIDAS	**7.814.207**	**9.477.472**	**7.834.827**	**7.634.910**	**8.957.260**

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Legenda:

Compilação de dados do inventário SEEG 12 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024)

Prognóstico baseado nos dados SEEG (2020-2023), por regressão linear.

Tabela 31: Recorte do inventário anual de emissões/remoções de GEE do SEEG 12, por setor de emissão e categoria, período 2020 a 2024

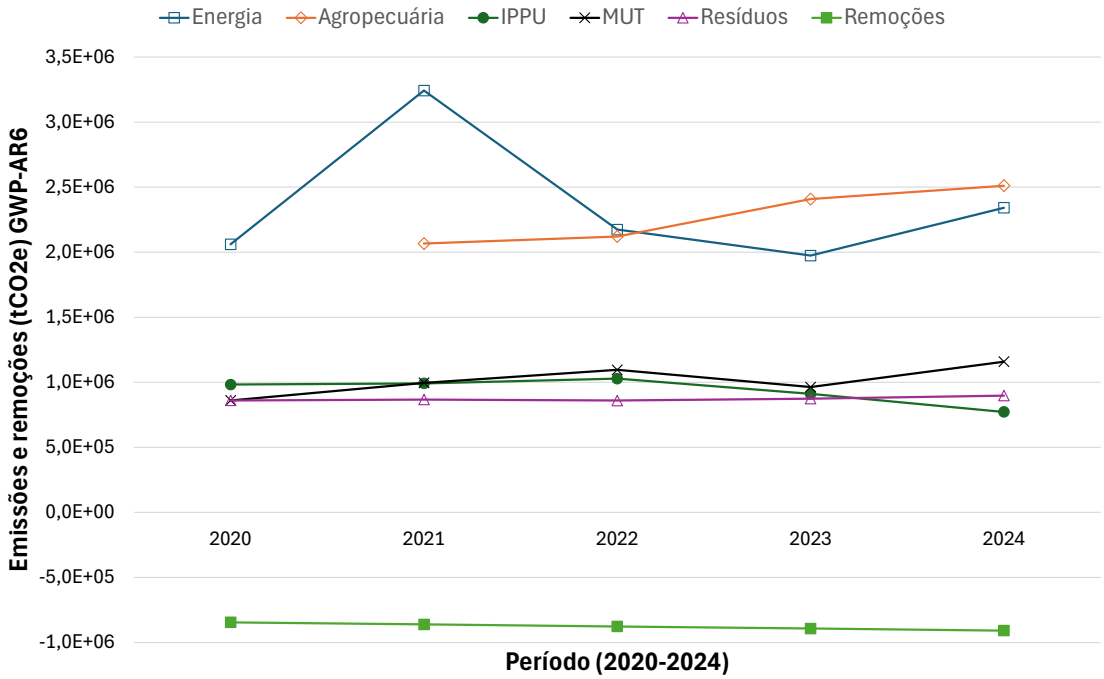
SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA	2020	2021	2022	2023	2024
AGROPECUÁRIA	**2.627.668**	**2.770.630**	**2.831.921**	**3.327.656**	**2.565.280**
Cultivo de arroz	32.627	41.065	40.795	43.433	34.658
Fermentação entérica	1.750.746	1.824.624	1.882.933	2.170.677	1.709.530
Manejo de dejetos animais	119.353	133.553	142.974	170.996	117.066
Queima de resíduos agrícolas	12.557	12.557	12.695	13.735	12.335
Solos manejados	712.385	758.831	752.525	928.814	691.692
ENERGIA	**2.987.841**	**4.706.107**	**2.995.270**	**2.758.323**	**3.721.794**
Agropecuária	7.604	9.408	9.494	7.317	8.572
Comercial	8.831	10.127	10.802	12.549	8.803
Geração de eletricidade (serviço público)	66	2.124.906	266.090	83	876.601
Industrial	1.335.331	967.160	955.395	932.769	1.230.581
Produção de combustíveis	134.933	45.958	16.774	23.589	109.795
Público	3.271	3.671	4.415	4.425	3.315
Residencial	198.830	191.106	212.212	224.055	192.034
Transportes	1.298.975	1.353.772	1.520.088	1.553.536	1.292.093
MUDANÇA DE USO DA TERRA E FLORESTA	**-201.830**	**162.307**	**-327.739**	**862.639**	**-281.660**
Alterações de uso da terra	590.042	947.751	508.345	1.628.870	517.190
Carbono orgânico no solo	25.664	37.059	33.680	48.893	26.378
Remoção em áreas protegidas	-11.000	-10.929	-10.824	-10.648	-11.024
Remoção por mudança de uso da terra	-3.678	-7.967	-2.921	-2.134	-5.627
Remoção por vegetação secundária	-822.349	-842.522	-874.814	-863.914	-827.352
Resíduos florestais	19.491	38.915	18.795	61.572	18.775

SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA	2020	2021	2022	2023	2024
PROCESSOS INDUSTRIAIS	**1.068.167**	**1.008.675**	**849.099**	**841.031**	**1.067.891**
Indústria química	131.031	131.031	131.031	131.031	131.031
Produtos minerais	937.136	877.645	718.068	710.000	936.860
RESÍDUOS	**877.435**	**920.773**	**927.069**	**962.384**	**882.744**
Incineração ou queima a céu aberto	29.976	27.702	19.305	19.306	30.133
Disposição final	569.252	601.984	625.554	649.282	571.969
Efluentes domésticos	252.323	254.485	240.276	240.322	254.383
Efluentes líquidos industriais	25.884	36.602	41.935	53.475	26.258
TOTAL GERAL	**7.359.280**	**9.568.492**	**7.275.620**	**8.752.033**	**7.956.049**

Nota: Os dados do ano 2024 foram fruto de regressão linear com dados de 2020 a 2023 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024).
Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

O gráfico da Figura 14 sintetiza as emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) em Sergipe no período 2020–2024, com base em valores expressos em toneladas de CO_2 equivalente (tCO_2e), já convertidos segundo os potenciais de aquecimento global do AR6 (IPCC, 2021). Ele destaca o comportamento recente dos cinco setores de emissão: energia, agropecuária, IPPU, MUT e resíduos, além das remoções (valores negativos).

Figura 14: Emissões por setor e remoções estimadas para o período 2020 – 2024, padrão GWP-AR6



Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Analisando-se o gráfico da Figura 14, constata-se que o setor de energia apresentou comportamento oscilante, com forte pico em 2021, reflexo da crise hídrica que intensificou o despacho termelétrico no país e elevou as emissões da UTE Porto de Sergipe I, já discutido no presente relatório. Nos anos seguintes, a retomada das condições hidrológicas reduziu as emissões, mas o novo patamar térmico consolidou-se em 2024, mantendo o setor como principal responsável pelas variações interanuais do total estadual.

O setor da agropecuária exibiu leve tendência de crescimento, coerente com a expansão gradual dos rebanhos e o aumento moderado do uso de insumos nitrogenados. A curva ascendente indica estabilidade produtiva e ausência de choques climáticos severos, diferentemente de alguns períodos anteriores marcados por secas prolongadas.

O setor IPPU manteve-se praticamente estável, refletindo o perfil industrial de Sergipe, centrado na produção de fertilizantes nitrogenados e de cimento (abrangidos neste inventário), com leve queda provavelmente decorrente da hibernação da Fafen/SE.

No caso do setor MUT, as variações foram pequenas, com leve aumento até 2022 e discreta queda em 2023, sugerindo constância nas taxas de conversão de uso do solo e provável estabilização dos desmatamentos.

As emissões do setor de resíduos permaneceram praticamente inalteradas durante o período, o que reflete a lenta evolução dos sistemas de disposição final e de tratamento de efluentes ancorada na curva populacional. A ausência de aterros com captação de biogás e a manutenção de fluxos estáveis de resíduos urbanos explicam a constância dos valores observados.

As remoções mantiveram-se negativas e estáveis, indicando que os sumidouros de carbono não acompanharam o aumento das emissões líquidas, embora tenham contribuído para atenuar o saldo total. Assim, o balanço estadual de 2020 a 2024 revela uma situação de estabilidade em alto patamar de emissões, dominadas pelo setor energético e pela progressiva contribuição da agropecuária, com baixo ganho compensatório de remoções.

A análise dos resultados obtidos com suplementação das lacunas de dados deste inventário com dados do SEEG para o período 2020-2023 e projeções lineares para 2024 (nos dados do SEEG) será objeto do próximo capítulo.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS COM FOCO TERRITORIAL ANCORADA NOS DADOS DO SEEG PARA SERGIPE

O conjunto de resultados consolidados que constam das tabelas apresentadas no final do item anterior fomentam uma discussão relevante acerca da importância do presente inventário e, sobretudo, da necessidade do Estado de Sergipe, através de suas instituições, manter-se atualizado em termos de dados que subsidiem a elaboração de futuros inventários com qualidade e assertividade crescentes.

Durante a elaboração do inventário, foram identificadas dificuldades-chave que explicam, na prática, as principais fontes das divergências observadas. Primeiramente, destaca-se a ausência de dados sobre as capacidades de produção das indústrias do interior do Estado, as respectivas fontes energéticas e o consumo de combustíveis, especialmente nas indústrias fora da Grande Aracaju: parques industriais dos municípios de Itaporanga d'Ajuda, Lagarto, Estância, Itabaiana, Nossa Senhora da Glória, Simão Dias, entre outros, que não disponibilizam informações sobre produção e consumo de combustíveis. Isso gera incertezas quanto ao consumo energético e aos fatores de emissão aplicados, levando à sub ou superestimação das emissões dos setores de energia e parte do IPPU, dependendo da abordagem utilizada.

Merece destaque a produção de cal no Município de Simão Dias, visto que o processo é bastante intenso em termos da liberação de CO_2 do setor IPPU, bem como proveniente da queima de combustíveis. Sem dados confiáveis, as estimativas podem subestimar as emissões desses setores, causando diferenças relevantes entre inventários, especialmente quando um inclui ou estima esses dados e o outro omite ou utiliza parâmetros conservadores.

Outro fator relevante que afeta de forma direta a qualidade e a precisão do inventário de emissões e remoções de GEE em Sergipe é a fragilidade no cumprimento das obrigações de relatar dados pelos municípios e indústrias, especialmente nas plataformas *Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico - SINISA* e *Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR*.

Na prática, observa-se que grande parte dos municípios não alimenta essas plataformas de forma sistemática, contínua ou completa, resultando em séries temporais escassas, fragmentadas e desatualizadas. O mesmo comportamento se estende ao setor industrial - que deveria, em tese, disponibilizar informações sobre geração e destinação de resíduos e efluentes. Essa descontinuidade compromete diretamente a aplicação de metodologias de maior qualidade ("*Tier 2*" ou "*Tier 3*"), pois impede a utilização de dados locais medidos. Apenas as indústrias sucroalcooleiras tiveram suas estimativas feitas por metodologia do nível "*Tier 1*", baseada na produção de cana-de-açúcar. Dados reais sobre as cargas orgânicas permitiriam a estimativa das emissões de CH_4 e N_2O em estações de tratamento de efluentes e resíduos industriais de maior qualidade.

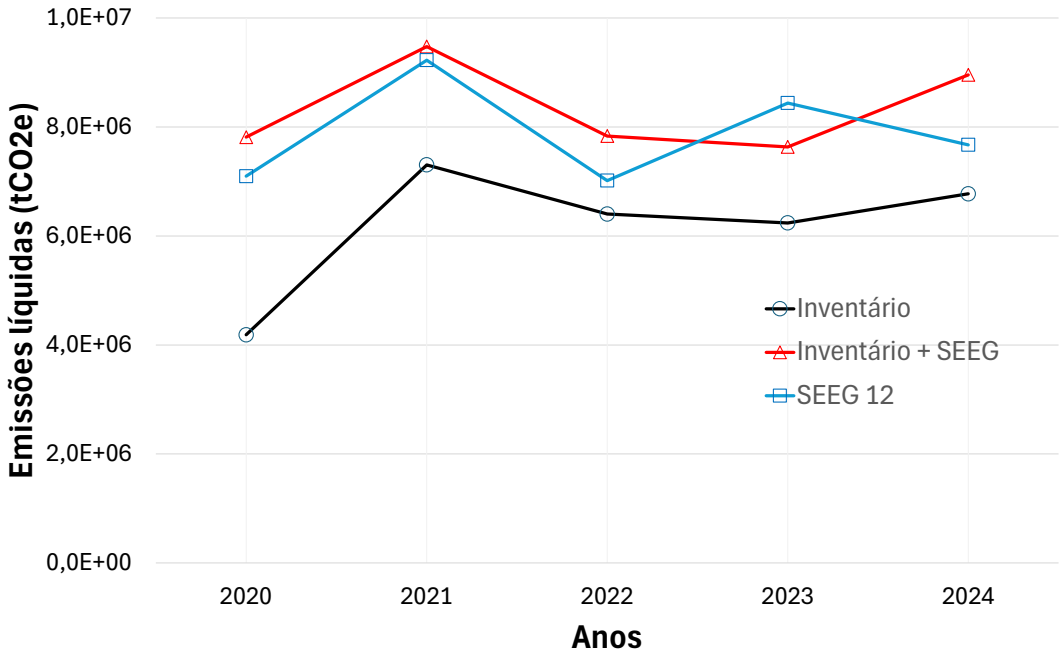
Diante desse cenário, os desenvolvedores do inventário precisaram recorrer, em diversas categorias, a prognósticos baseados em dados populacionais ou métodos indiretos (p. e. produção agrícola, número de habitantes, consumo aparente de produtos), com implicações diretas na incerteza associada às estimativas. Essa abordagem, embora aceita pelas diretrizes do IPCC, para contextos de baixa disponibilidade de dados, limita o nível metodológico, mantendo muitos cálculos no padrão "*Tier 1*", o mais genérico e menos sensível às condições locais.

Por fim, registra-se a predominância de métodos do tipo "*bottom-up*", aliados ao uso de fatores típicos de emissão (conforme IPCC 2006 e refinamento de 2019), prática correta na ausência de mensurações locais. Contudo, a falta de mensuração direta, embasada nos balanços de massa dos processos, faz com que a escolha de parâmetros como poder calorífico inferior (PCI), eficiência térmica e frações oxidáveis influenciem significativamente os resultados, ampliando a diferença em relação a inventários que adotam outras abordagens.

Portanto, as diferenças verificadas nos resultados apresentados nos três conjuntos de dados (na forma de tabelas) são justificáveis pelo conjunto dessas lacunas, que afetaram principalmente os segmentos de energia e processos industriais (IPPU) - justamente os mais variáveis e sensíveis à ausência de dados específicos.

Uma avaliação mais compreensível pode ser deduzida a partir do gráfico da Figura 15, que reúne as curvas dos totais de emissões líquidas no período 2020 a 2024, comparando os dados do presente inventário com os dados deste inventário suplementados com dados do SEEG 12 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024), nos setores de energia e de processos industriais, e com os dados "puros" do SEEG 12, todos expressos no padrão GWP AR6.

Figura 15: Comparação dos resultados consolidados do presente inventário com o inventário do SEEG 12 e um cenário de suplementação de dados (GWP AR6)



Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

A despeito do ano 2020, para o qual não foram obtidos dados dos setores de energia e de processos industriais, a contento (daí o grande mergulho da curva inferior na sua parte inicial), para o presente inventário, o comportamento da evolução dos totais anuais apresentou coerência, bem como as justificativas apresentadas anteriormente mostraram-se plausíveis, já que a suplementação dos dados faltantes aproximou bastante as duas curvas superiores, confirmando que a indisponibilidade de dados relatada foi a causa *mater* das diferenças.

A principal fonte de divergência observada no período de 2021 a 2024 está relacionada às lacunas existentes nos dados energéticos e industriais. Esses setores

concentram grande parte das emissões reportadas no inventário e apresentam elevada sensibilidade a suposições, o que amplifica as incertezas nos resultados.

Nas demais categorias que não envolvem diretamente energia, observa-se maior convergência entre os resultados das diferentes planilhas analisadas. Essa consistência valida a estrutura central do inventário, especialmente nos setores de agropecuária, resíduos e parte significativa do IPPU, indicando robustez metodológica nessas áreas.

A utilização da série SEEG 2020 - 2023 como um suporte temporário contribui para garantir coerência temporal e comparabilidade dos resultados, enquanto os dados primários ainda estão em processo de coleta ou validação. À medida que esses dados primários forem incorporados ao inventário, é esperado que as diferenças atualmente observadas diminuam, resultando em maior confiabilidade dos totais reportados.

A compreensão espacialmente detalhada das emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) é um passo essencial para a formulação de políticas públicas climáticas eficazes e para a identificação de oportunidades de mitigação e geração de créditos de carbono. No caso de Sergipe, a análise por mesorregiões - agregando dados municipais - permite reconhecer padrões territoriais de emissões e remoções, diretamente relacionadas às dinâmicas econômicas e socioambientais de cada território.

Como referência, foram utilizados os dados municipais do SEEG, abrangendo o período de 2007 a 2023, expressos em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e), considerando os potenciais de aquecimento global do quinto relatório de avaliação (AR5) do IPCC. Os dados do SEEG, reconhecido nacionalmente como a principal base de dados aberta sobre emissões no Brasil, proporcionam consistência metodológica, abrangência histórica e comparabilidade entre setores e territórios, servindo como ponto de ancoragem robusto para análises mesorregionais.

7.1 DIVISÃO TERRITORIAL DO ESTADO DE SERGIPE

O Estado de Sergipe está dividido em oito territórios geográficos, conforme mapa mostrado no item 4.7 Regionalização dos resultados, nominados a seguir:

- Agreste Central Sergipano;
- Alto Sertão Sergipano;
- Baixo São Francisco Sergipano;
- Centro Sul Sergipano;
- Grande Aracaju;

- Leste Sergipano;
- Médio Sertão Sergipano;
- Sul Sergipano.

Essa divisão territorial reflete diferenças marcantes na estrutura produtiva e no uso da terra, incluindo agricultura e pecuária, indústrias cerâmicas, laticínios, indústrias de alimentos, exploração de petróleo e gás natural, geração de energia termelétrica, produção de fertilizantes nitrogenados, produção cimenteira, atividades urbanas e cobertura florestal remanescente. Dessa forma, a abordagem baseada na divisão em territórios viabiliza identificar com mais clareza os setores dominantes, localizar "*hotspots*" de emissão e quantificar áreas de maior capacidade de remoção, subsidiando estratégias diferenciadas de ações climáticas.

Embora este inventário estadual de GEE não tenha contemplado a desagregação das emissões e remoções por município, como se verificou boa concordância entre os resultados consolidados para o Estado e aqueles apresentados pelo SEEG, que possui maior detalhamento espacial e temporal, a utilização dos dados do SEEG como referência ("benchmark"), para fins de análise mesorregional, não acarreta prejuízos metodológicos ou analíticos. Pelo contrário, ao ancorar a regionalização em uma base consolidada e amplamente reconhecida, garante-se consistência com o inventário estadual, assegurando a confiabilidade necessária para subsidiar políticas públicas, estratégias territoriais e programas de mitigação e adaptações climáticas. Nesse contexto, a análise apresentada a seguir contempla:

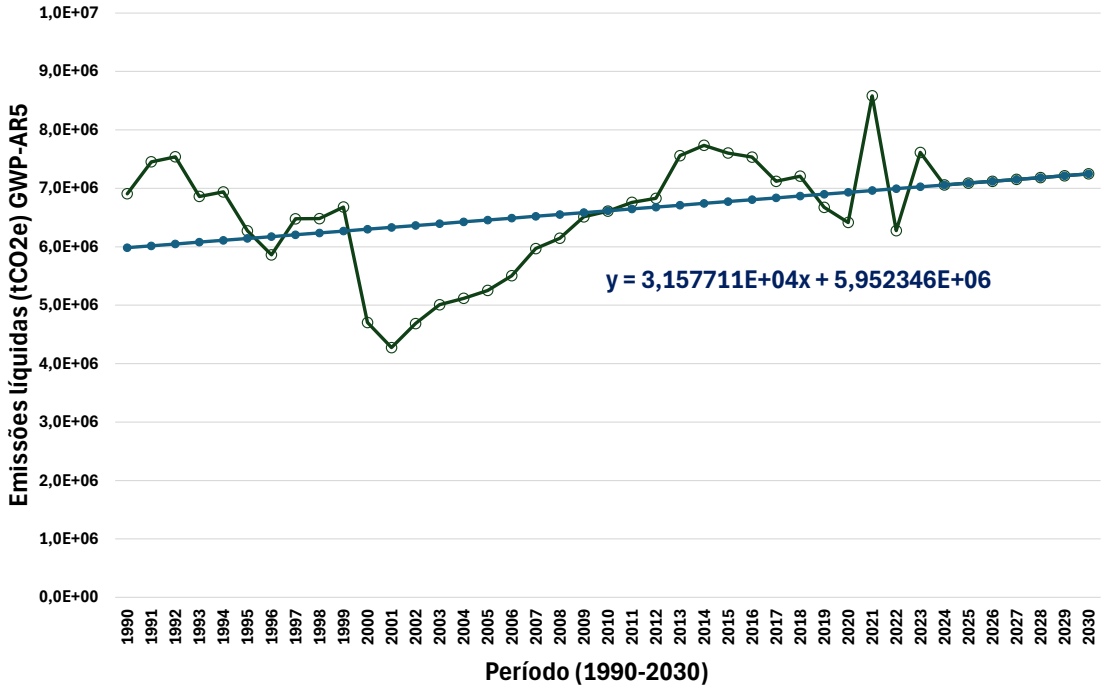
- a evolução das emissões por setor IPCC nas mesorregiões ao longo do tempo;
- a identificação das categorias e fontes emissoras mais relevantes em cada território;
- a distribuição espacial das remoções de GEE associadas à vegetação secundária, áreas protegidas e uso do solo; e
- a identificação de oportunidades estratégicas para mitigação e geração de créditos de carbono em escala mesorregional.

Essa leitura territorial é crucial para que Sergipe transcenda os números agregados estaduais, permitindo desenhar políticas públicas mais precisas e customizadas à realidade local e, assim, fortalecer sua posição estratégica no contexto nacional de descarbonização, com vistas à melhoria climática e, quiçá, um futuro ingresso no mercado de créditos de carbono.

7.2 PROGNÓSTICO DAS EMISSÕES LÍQUIDAS

O gráfico da Figura 16 ilustra a evolução das emissões líquidas de gases de efeito estufa (GEE) no Estado de Sergipe entre 1990 e 2030, expressas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) e calculadas segundo os potenciais de aquecimento global do AR5. A série histórica cobre o período de 1990 a 2023, enquanto a tendência futura até 2030 foi estimada por regressão linear simples.

Figura 16: Emissões líquidas totais em Sergipe no período de 1970 a 2023 e prognósticos até 2030 por regressão linear dos dados do SEEG (tCO2e GWP-AR5)



Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

As emissões líquidas de gases de efeito estufa em Sergipe, no período de 1990 a 2030, evidenciam uma trajetória predominantemente estável, porém com oscilações expressivas entre 1995 e 2015. Observa-se queda acentuada entre 1997 e 2002, associada à retração econômica e à redução de atividades agroindustriais e energéticas, seguida de retomada contínua até 2010, quando se estabelece um novo patamar em torno de 7 milhões de toneladas de CO_2 equivalente. Entre 2011 e 2018 as emissões mantiveram tendência ascendente moderada, interrompida por flutuações ligadas a crises setoriais e variações climáticas.

A reta de tendência linear obtida por regressão dos dados de 1990 a 2023 ($y = 3{,}1571\times10^{4}x + 5{,}9523\times10^{6}$) indica crescimento médio anual de aproximadamente 31,6 mil toneladas de CO_2e, o que corresponde a um incremento pouco superior a 0,5% ao ano sobre o valor inicial. Essa inclinação reduzida demonstra que, embora o Estado tenha apresentado oscilações conjunturais, o conjunto das emissões tende a permanecer estável

em médio prazo. A projeção até 2030, baseada nessa regressão, sugere manutenção do atual patamar, com valores próximos a 6,5 a 7,0 milhões tCO_2e, salvo a ocorrência de mudanças estruturais na matriz energética ou no uso da terra.

Em síntese, as emissões líquidas de Sergipe configuram um cenário de estabilidade em um patamar ainda elevado, com ligeira tendência de crescimento. O comportamento reflete a combinação de fatores estruturais - como predominância de fontes fósseis na geração elétrica e persistência de emissões agrícolas - e o baixo avanço relativo das remoções por cobertura vegetal e sumidouros florestais. Essa estabilidade, apesar de não representar agravamento acelerado, reforça a necessidade de políticas de mitigação e compensação que revertam a tendência e promovam maior contribuição das remoções líquidas até o horizonte de 2030 e anos posteriores.

7.3 SETORES E CATEGORIAS DOMINANTES POR TERRITÓRIO (2007–2023):

A regionalização adotada neste estudo buscou privilegiar unidades territoriais suficientemente amplas para representar padrões estruturais de ocupação do território, evitando interpretações excessivamente influenciadas por oscilações locais ou por particularidades de municípios isolados.

Por essa razão, optou-se por utilizar, como principal unidade de análise territorial, os territórios historicamente reconhecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), complementados pela avaliação individual dos municípios de maior contribuição relativa para cada setor inventariado.

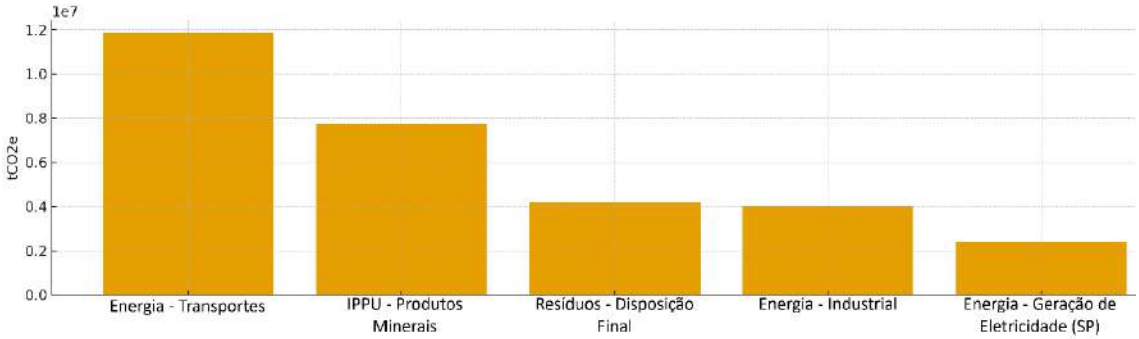
Essa estratégia permite conciliar dois níveis complementares de interpretação: uma visão regional, voltada à identificação das vocações produtivas predominantes em cada porção do território estadual, e uma visão municipal, direcionada à identificação dos principais polos emissores ou removedores de gases de efeito estufa.

A combinação dessas escalas espaciais reduz o risco de interpretações baseadas exclusivamente em valores absolutos de emissões municipais e favorece uma compreensão integrada das dinâmicas territoriais associadas ao desenvolvimento econômico do Estado.

Em linhas gerais, os setores de energia e agropecuária alternam a liderança conforme a base produtiva local, conforme pode ser constatado nas Figuras 17 a 24. Os dados das barras verticais representam os totais de emissões acumuladas no período 2007-2023, exclusivamente obtidos do SEEG 12 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024). Após cada Figura/gráfico, será apresentada uma síntese explicativa contendo, para cada

território: Municípios integrantes, tendência setorial observada, categorias emissoras típicas, remoções e uma nota de destaque.

Figura 17: Os cinco maiores setores e categorias emissoras de GEE na Grande Aracaju (2007-2023)

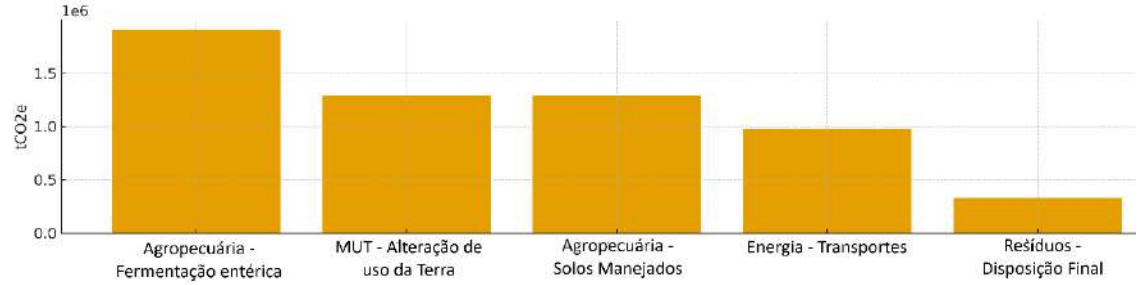


Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Grande Aracaju:

- Municípios: Aracaju, Barra dos Coqueiros, Itaporanga d'Ajuda, Laranjeiras, Maruim, Nossa Senhora do Socorro, Riachuelo, Santo Amaro das Brotas, São Cristóvão.
- Tendência setorial: energia, IPPU (indústrias químicas e minerais) e resíduos.
- Categorias emissoras típicas: transporte rodoviário; consumo urbano/industrial de energia e transportes; resíduos sólidos e efluentes urbanos.
- Remoções: baixas, tipicamente urbanas.
- Notas: Concentração populacional/serviços e indústrias com gás natural canalizado; intensa em transporte e resíduos.

Figura 18: Os cinco maiores setores e categorias emissoras de GEE no Leste Sergipano (2007-2023)



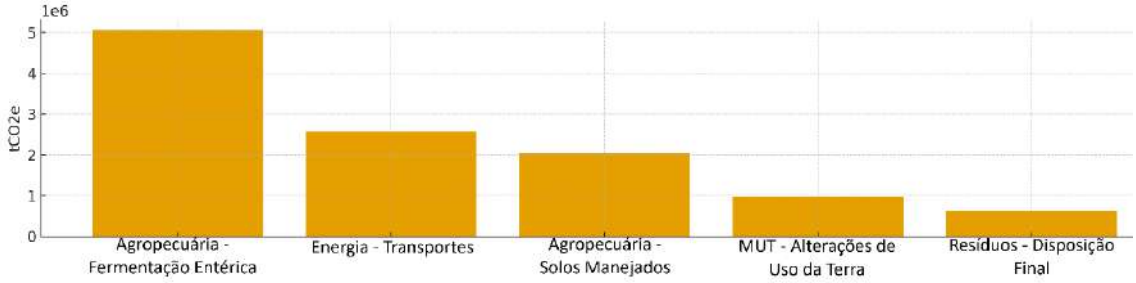
Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Leste Sergipano:

- Municípios: Capela, Carmópolis, Divina Pastora, General Maynard, Japaratuba, Pirambu, Rosário do Catete, Santa Rosa de Lima, Siriri.
- Tendência setorial: energia (produção/exploração de petróleo e gás) e processos/indústria em pontos do eixo.

- Categorias emissoras típicas: queima de combustíveis (processo/indústria, transporte); emissões fugitivas ligadas ao petróleo e ao gás natural.
- Remoções: menor peso relativo; foco mais industrial-energético.
- Notas: Polo Carmópolis/Japaratuba sustenta a dominância do setor energia (incluindo fugitivas).

Figura 19: Os cinco maiores setores e categorias emissoras de GEE no Agreste Central Sergipano (2007-2023)

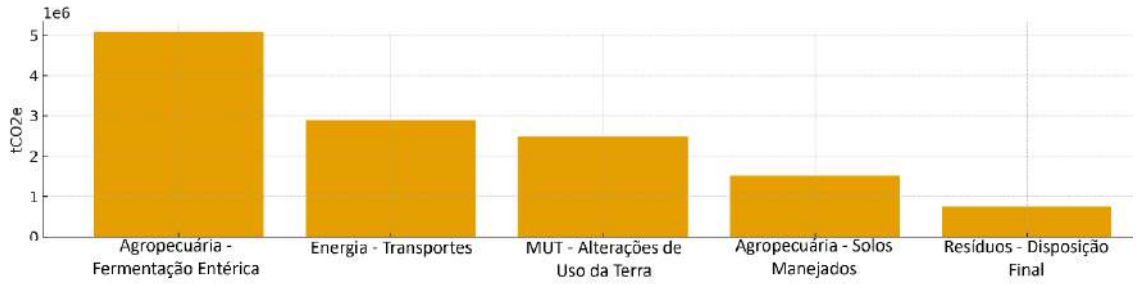


Fonte: Os autores.

Agreste Central Sergipano:

- Municípios: Areia Branca, Campo do Brito, Carira, Frei Paulo, Itabaiana, Macambira, Malhador, Moita Bonita, Pedra Mole, Pinhão, Ribeirópolis, São Domingos.
- Tendência setorial: agropecuária e energia-transporte (Itabaiana é um polo logístico/comercial).
- Categorias emissoras típicas: transporte rodoviário; fermentação entérica/solos; combustíveis consumidos na indústria ceramista.
- Remoções: rurais difusas; menor densidade de sumidouros florestais contínuos.
- Notas: Itabaiana puxa transporte (frota/mobilidade de cargas).

Figura 20: Os cinco maiores setores e categorias emissoras de GEE no Sul Sergipano (2007-2023)



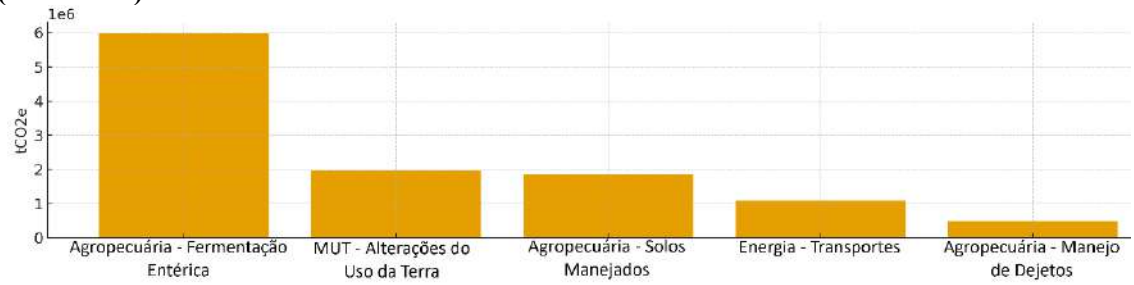
Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Sul Sergipano:

- Municípios: Arauá, Boquim, Cristinápolis, Estância, Indiaroba, Itabaianinha, Pedrinhas, Salgado, Santa Luzia do Itanhy, Tomar do Geru, Umbaúba.

- Tendência setorial: agropecuária, resíduos e atividades costeiras (ex.: carcinicultura em pontos do litoral).
- Categorias emissoras típicas: fermentação entérica/solos; resíduos urbanos; efluentes agro/indústrias leves; combustíveis em cerâmicas (Itabaianinha).
- Remoções: remanescentes de vegetação em áreas rurais e costeiras (variável por município).
- Notas: Boquim (citricultura) e Itabaianinha (cerâmica) figuram como polos setoriais.

Figura 21: Os cinco maiores setores e categorias emissoras de GEE no Alto Sertão Sergipano (2007-2023)

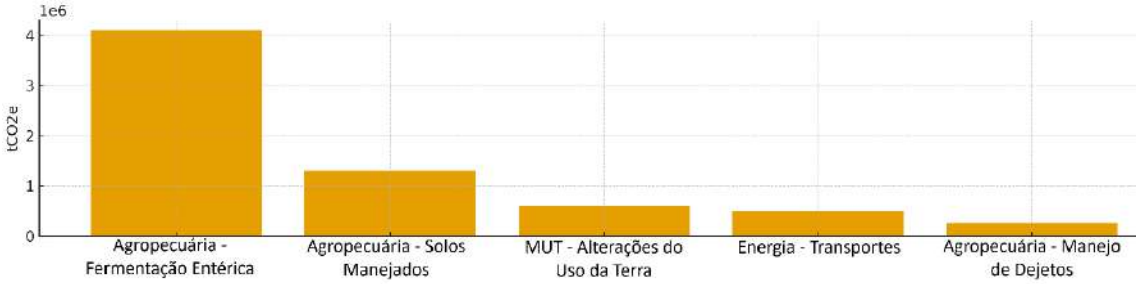


Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Alto Sertão Sergipano:

- Municípios: Canindé de São Francisco, Gararu, Monte Alegre, Nossa Senhora da Glória, Poço Redondo, Porto da Folha.
- Tendência setorial: predomínio de agropecuária (bovinocultura/leite, caprino-ovinocultura).
- Categorias emissoras típicas: fermentação entérica; dejetos animais; solos manejados.
- Remoções: mosaicos de vegetação secundária/APPs em áreas rurais amplas.
- Notas: Nossa Senhora da Glória e entorno puxam gado leiteiro (fermentação entérica/dejetos), reforçando agropecuária como setor dominante.

Figura 22: Os cinco maiores setores e categorias emissoras de GEE no Médio Sertão Sergipano (2007-2023)

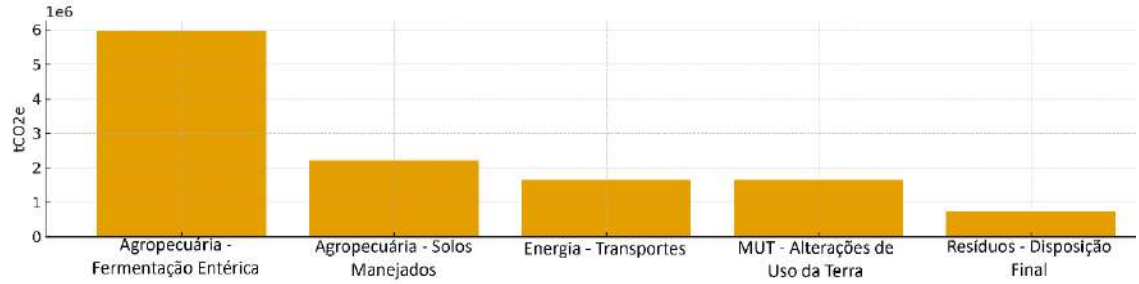


Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Médio Sertão Sergipano:

- Municípios: Aquidabã, Cumbe, Feira Nova, Graccho Cardoso, Itabi, N. Sra. Aparecida, N. Sra. das Dores, N. Sra. de Lourdes, São Miguel do Aleixo.
- Tendência setorial: Agropecuária com base em pecuária mista e agricultura.
- Categorias emissoras típicas: Fermentação entérica; Solos manejados.
- Remoções: Remanescentes e recuperação de vegetação secundária (sumidouros difusos).
- Notas: Perfil semelhante ao Alto Sertão, com menor densidade urbana/industrial.

Figura 23: Os cinco maiores setores e categorias emissoras de GEE no Centro Sul Sergipano (2007-2023)

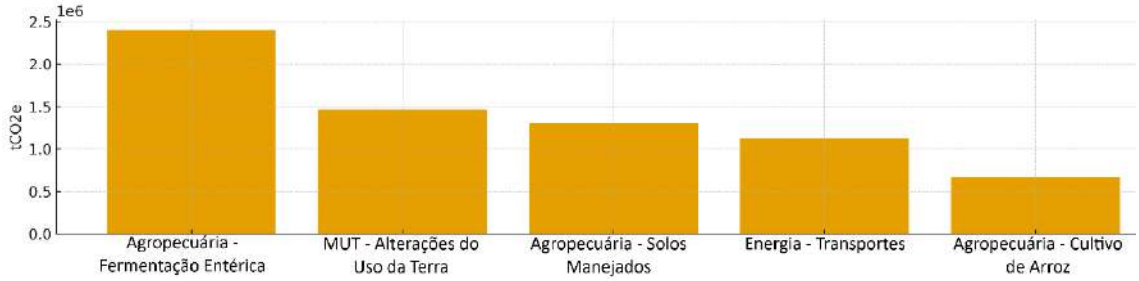


Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Centro Sul Sergipano:

- Municípios: Lagarto, Poço Verde, Riachão do Dantas, Simão Dias, Tobias Barreto.
- Tendência setorial: processos industriais (cal) e energia de processo/combustão; agropecuária relevante.
- Categorias emissoras típicas: Produção de cal (Simão Dias) (IPPU e combustível térmico); fornos/cerâmica; transporte rodoviário; fermentação entérica.
- Remoções: Áreas rurais intercaladas com usos antrópicos.
- Notas: Simão Dias é crítico para IPPU devido à produção de cal.

Figura 24: Os cinco maiores setores e categorias emissoras de GEE no Baixo São Francisco Sergipano (2007-2023)



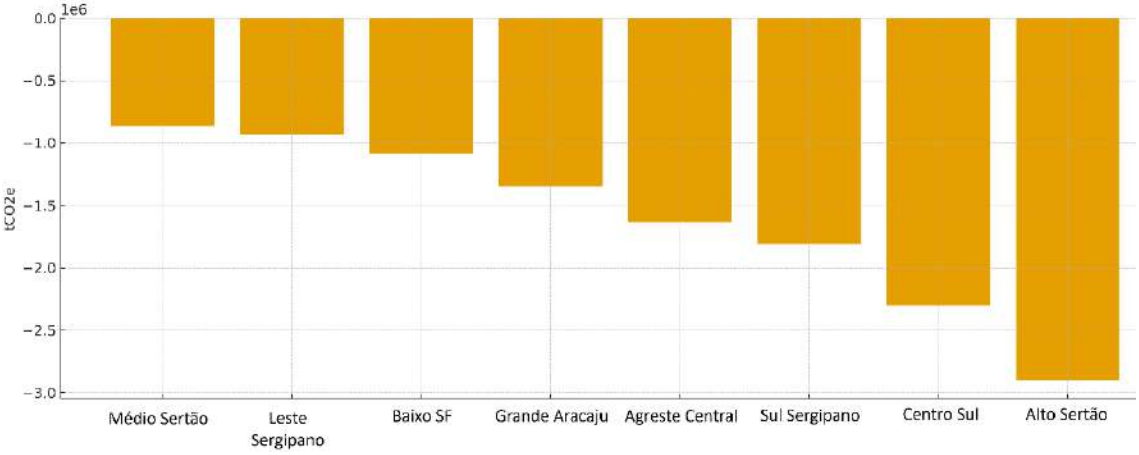
Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

Baixo São Francisco Sergipano:

- Municípios: Amparo de São Francisco, Brejo Grande, Canhoba, Cedro de São João, Ilha das Flores, Japoatã, Malhada dos Bois, Muribeca, Neópolis, Pacatuba, Propriá, Santana de São Francisco, São Francisco, Telha.
- Tendência setorial: agropecuária e resíduos/efluentes (dinâmica ribeirinha/estuarina e agro).
- Categorias emissoras típicas: resíduos sólidos urbanos (aterros e lixões atualmente encerrados) e efluentes; fermentação entérica/solos.
- Remoções: Matas ciliares e regeneração em margens do São Francisco.
- Notas: atenção para CH_4/N_2O de efluentes em sedes urbanas ribeirinhas.

A Figura 25 consolida as remoções acumuladas no período 2007 a 2023, para cada um dos oito territórios, exibindo os resultados de forma crescente, já que o sinal negativo indica apenas que se trata de remoções.

Figura 25: Remoções de GEE por território de Sergipe (2007-2023)



Todas as menções acerca das remoções de GEE distribuídas na Figura 25, já foram devidamente feitas anteriormente, valendo apenas salientar que este “ranking” de remoções revela maiores contribuições em mesorregiões com mosaicos agroflorestais e

vegetação secundária relevantes, em geral, áreas com APPs e reservas legais, onde incrementos de vegetação secundária despontam.

Os resultados evidenciam que a distribuição espacial das emissões estaduais não ocorre de forma aleatória, refletindo diretamente a especialização produtiva observada nos diferentes territórios de Sergipe. Nas áreas onde predominam atividades industriais e geração de energia observa-se maior participação dos setores Energia e Processos Industriais (IPPU), enquanto nas regiões de maior vocação agropecuária destacam-se as emissões associadas à pecuária, ao manejo agrícola e às mudanças no uso da terra.

De forma análoga, as regiões que concentram maior cobertura vegetal remanescente apresentam importante contribuição para a remoção líquida de dióxido de carbono, evidenciando o papel estratégico desempenhado pelos ecossistemas naturais na compensação parcial das emissões provenientes das atividades antrópicas.

Essa heterogeneidade territorial demonstra que políticas públicas uniformes tendem a apresentar menor efetividade do que estratégias regionalizadas, capazes de considerar simultaneamente as características ambientais, econômicas e sociais de cada território.

7.4 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO BUSINESS AS USUAL (BAU)

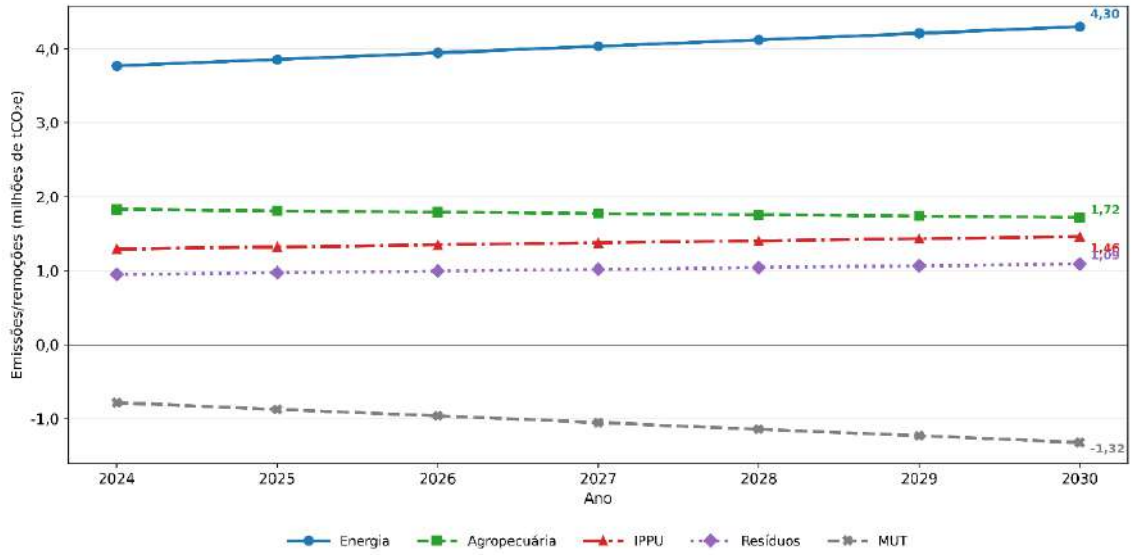
As projeções apresentadas neste capítulo representam, sob o ponto de vista conceitual, um cenário do tipo *Business as Usual* (BAU), construído a partir da extrapolação das tendências históricas observadas para cada setor inventariado.

Esse cenário parte da hipótese de continuidade das condições estruturais atualmente verificadas no Estado de Sergipe, admitindo que não ocorram alterações significativas nas políticas públicas, na matriz energética, na estrutura produtiva, na ocupação do território ou na incorporação de tecnologias de baixo carbono capazes de modificar substancialmente as trajetórias históricas das emissões.

Deve-se destacar que o cenário BAU não constitui uma previsão determinística do futuro, mas uma referência metodológica amplamente utilizada para comparação entre diferentes estratégias de mitigação. Sua principal função consiste em representar a evolução esperada das emissões caso permaneçam válidas as tendências atualmente observadas, permitindo quantificar, em etapas posteriores do planejamento climático, os benefícios decorrentes da implementação de políticas públicas específicas.

Diante das lacunas de dados já relatadas, a Figura 26 apresenta o cenário tendencial (*Business as Usual* – BAU) das emissões e remoções de gases de efeito estufa para o Estado de Sergipe no horizonte 2024–2030, elaborado a partir da extrapolação das tendências históricas observadas para cada setor inventariado.

Figura 26: Cenário tendencial business as usual (BAU) para emissões e remoções de GEE em Sergipe por setor (2024-2030)



Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

As projeções indicam que o setor Energia permanecerá como principal responsável pelo crescimento das emissões estaduais, elevando-se de aproximadamente 3,77 milhões para 4,30 milhões de tCO_2e, incremento da ordem de 14,0% no período considerado. Esse comportamento é coerente com a expansão da cadeia do gás natural, da geração termelétrica e da crescente demanda energética estadual, porém pode mudar drasticamente se uma nova termelétrica for instalada ou quando o campo gigante de gás natural (SEAP) for colocado em produção.

O setor IPPU apresenta crescimento moderado, passando de cerca de 1,29 para 1,46 milhão de tCO_2e (+12,9%), refletindo a manutenção da estrutura industrial atualmente instalada no Estado. O setor Resíduos também apresenta tendência de crescimento gradual (+14,7%), acompanhando principalmente a evolução demográfica e a geração de resíduos sólidos urbanos e efluentes.

Em contraste, as projeções indicam redução gradual das emissões do setor Agropecuária, que passa de aproximadamente 1,83 para 1,72 milhão de tCO_2e (−6,0%), sugerindo relativa estabilização das atividades agropecuárias nas condições assumidas pelo cenário tendencial.

No setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (MUT) observa-se intensificação das remoções líquidas de carbono, que evoluem de aproximadamente −0,78 para −1,32 milhão de tCO_2e, evidenciando aumento da contribuição dos ecossistemas naturais como sumidouros de carbono. Apesar desse comportamento favorável, as remoções projetadas permanecem insuficientes para compensar integralmente o crescimento esperado das emissões provenientes dos setores produtivos, reforçando a importância da implementação de políticas públicas voltadas à eficiência energética, descarbonização industrial, conservação da vegetação nativa e ampliação da capacidade estadual de sequestro de carbono.

Os resultados revelam um aspecto bastante interessante do cenário BAU de Sergipe: não se trata de um crescimento uniforme das emissões. Há uma clara substituição relativa da contribuição setorial. Enquanto Energia, IPPU e Resíduos apresentam crescimento contínuo e gradual, Agropecuária tende à estabilização com leve declínio, e o setor MUT aumenta progressivamente sua capacidade de remoção. Essa mudança na composição das emissões líquidas é uma mensagem importante para o PEAC, pois indica que as maiores oportunidades de mitigação futura estarão concentradas sobretudo nos setores Energia e IPPU, ao passo que o fortalecimento das políticas de conservação e restauração florestal poderá ampliar ainda mais o papel compensatório do setor MUT.

Embora o cenário tendencial indique incremento gradual das remoções líquidas associadas ao setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (MUT), essa projeção pressupõe a manutenção das tendências históricas observadas no período de calibração do modelo. Eventuais alterações no ritmo de expansão das atividades agropecuárias, especialmente quando associadas à conversão de áreas com vegetação nativa, poderão modificar esse comportamento, reduzindo a capacidade de remoção líquida de carbono do Estado. Por outro lado, caso o crescimento da produção continue sendo predominantemente sustentado por ganhos de produtividade, intensificação tecnológica e ocupação de áreas previamente antropizadas, a trajetória projetada para o setor MUT tende a permanecer consistente com o cenário *business as usual* adotado neste estudo.

8. O INVENTÁRIO DE GEE NO CONTEXTO DO PEAC/SE E DA DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA ESTADUAL

As tendências observadas no capítulo anterior indicam que, na ausência de intervenções estruturantes, o Estado de Sergipe deverá manter trajetória de crescimento gradual das emissões líquidas de gases de efeito estufa ao longo do horizonte analisado. Essa evolução reflete, sobretudo, a expansão das atividades econômicas, o aumento da

demanda energética, o crescimento da produção agropecuária e as transformações no uso da terra associadas ao desenvolvimento regional.

Embora diferentes setores apresentem comportamentos particulares, observa-se que o crescimento agregado das emissões permanece relativamente moderado quando comparado à dinâmica observada em outras unidades da Federação, resultado que decorre tanto da estrutura econômica do Estado quanto da significativa contribuição dos remanescentes de vegetação nativa para a remoção de carbono atmosférico.

O cenário tendencial apresentado neste estudo deve ser interpretado como referência para avaliação futura da efetividade das políticas públicas estaduais. Dessa forma, qualquer redução observada em relação a essa trajetória poderá ser atribuída, total ou parcialmente, às medidas de mitigação implementadas no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC).

O principal objetivo de um inventário de emissões de gases de efeito estufa é estabelecer uma linha de base tecnicamente consistente que permita compreender a evolução temporal das emissões e subsidiar a construção de cenários prospectivos para o planejamento climático. Sob essa perspectiva, o inventário não constitui um fim em si mesmo, mas um instrumento de apoio à formulação, implementação e avaliação de políticas públicas voltadas à mitigação das mudanças climáticas.

Em processos de planejamento climático, é prática consolidada a construção de cenários prospectivos que representem diferentes trajetórias possíveis de evolução das emissões. Entre esses cenários, destaca-se o denominado Business as Usual (BAU), ou Cenário Tendencial, que descreve o comportamento esperado das emissões na hipótese de manutenção das tendências históricas observadas, sem a implementação de novas políticas públicas de mitigação ou de mudanças estruturais significativas na dinâmica econômica e tecnológica.

O presente inventário traz uma boa ideia do cenário tendencial, uma vez que incorpora séries históricas suficientemente extensas para os principais setores emissores, permitindo a identificação de tendências e a projeção de seu comportamento futuro mediante técnicas de regressão e análise temporal.

A leitura integrada do inventário estadual de gases de efeito estufa, articulada às tendências nacionais e globais de descarbonização, permite não apenas compreender a trajetória histórica das emissões em Sergipe, mas também identificar oportunidades estratégicas para inseri-lo de forma proativa no mercado de créditos de carbono.

Como parte do Plano de Ações Climáticas plurianual, este produto fornece a base técnica necessária para orientar investimentos, políticas públicas e mecanismos de incentivo à mitigação e remoção de emissões. A partir da coerência metodológica com o SEEG e da identificação dos principais setores emissores e removedores, Sergipe tem condições de construir um portfólio diversificado e tecnicamente sólido de projetos elegíveis para certificação e comercialização de créditos, alinhando-se à trajetória nacional de implementação de instrumentos de mercado e aos compromissos climáticos internacionais.

Um dos caminhos mais promissores para a construção dessa agenda está no fortalecimento e na valorização das Soluções Baseadas na Natureza ("Nature-based Solutions" – NBS). Sergipe dispõe de áreas de vegetação secundária e zonas rurais aptas à implementação de projetos de restauração ecológica e manejo sustentável, capazes de gerar créditos de carbono de alta integridade ambiental. Iniciativas de reflorestamento, recuperação e regeneração ("Afforestation, Reforestation and Revegetation" - ARR) em Áreas de Preservação Permanente - APP e Reservas Legais - RL, bem como em áreas rurais subutilizadas, podem gerar ganhos expressivos de remoção de CO_2 da atmosfera, fortalecendo o balanço climático estadual.

A recuperação de pastagens degradadas, o plantio direto e a adoção de sistemas integrados de produção - como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta - ILPF - têm demonstrado forte potencial de sequestro de carbono no solo, além de cobenefícios produtivos. A implementação de sistemas agroflorestais, com espécies nativas, e consórcios agrícolas, combina conservação ambiental e geração de renda, contribuindo para uma transição produtiva de baixo carbono.

Outro eixo estruturante refere-se à gestão de resíduos e saneamento, que aparece como um setor em expansão nas séries históricas de emissões e que reúne condições favoráveis para a geração de créditos de carbono em curto e médio prazo. A captura e utilização do biogás gerado em aterros sanitários e ETEs - seja para queima controlada, seja para produção de biometano - é uma estratégia bem consolidada no mercado voluntário e regulado. Essa rota tecnológica reduz emissões de metano, gás de potencial de aquecimento global mais elevado que o do dióxido de carbono, e permite implementar práticas de MRV compatíveis com metodologias internacionalmente reconhecidas. Ao mesmo tempo, contribui para o fortalecimento da política estadual de saneamento e para ganhos de eficiência energética.

No campo industrial e energético, o inventário estadual identificou lacunas significativas de dados, mas também reconheceu seu potencial estratégico de mitigação. A substituição de lenha de origem informal por biomassa certificada, gás natural ou

processos elétricos de menor intensidade de carbono, associada à modernização de fornos, fornalhas e à cogeração, representa uma oportunidade imediata de redução de emissões e ganho de eficiência. Adicionalmente, a redução de emissões fugitivas no segmento de exploração e transporte de gás natural e petróleo - por meio de programas de detecção e reparo de vazamentos (“Leak Detection and Repair” - LDAR) e controle de sistemas de alívio (“venting”) - pode contribuir significativamente para a meta de descarbonização do setor. Investimentos em eficiência energética e eletrificação, especialmente em processos de calor de baixa e média temperaturas, alinham-se às principais rotas globais de mitigação industrial.

O setor de transporte também se apresenta como um vetor importante de redução de emissões, especialmente em razão do seu peso no balanço energético estadual. A renovação e modernização das frotas, associada ao uso de combustíveis alternativos como o biometano oriundo de aterros e ETEs, além de melhorias logísticas e integração modal, pode gerar reduções expressivas de emissões de CO_2, CH_4 e NO_x. Essas medidas têm sinergia direta com políticas de mobilidade sustentável e com a agenda de eletrificação progressiva da matriz veicular no país.

Para viabilizar a transformação de Sergipe em um polo de geração e comercialização de créditos de carbono, é fundamental estruturar projetos compatíveis com padrões internacionais de certificação. A composição de carteiras que combinem soluções baseadas na natureza e projetos de eficiência energética e industrial permite reduzir riscos e aumentar a resiliência a variações de preço no mercado de carbono. Isso exige do governo estadual a consolidação de uma governança climática robusta, voltada à criação de sistemas confiáveis de MRV, auditoria independente, registro e rastreabilidade de créditos. Além disso, é necessário integrar o planejamento climático estadual às diretrizes nacionais de regulação do mercado de carbono, de forma a garantir elegibilidade e competitividade.

Dessa forma, as conclusões do inventário estadual não apenas descrevem a trajetória das emissões de Sergipe, mas delineiam oportunidades estratégicas para reposicionar o Estado como protagonista no contexto da transição climática e dos mecanismos de mercado. Ao combinar ações de mitigação setoriais com soluções baseadas na natureza, o Estado pode alavancar ganhos ambientais, econômicos e sociais, fortalecendo sua inserção nas cadeias globais de valor climático e contribuindo para as metas nacionais de descarbonização.

O aproveitamento estratégico de recursos biomássicos renováveis pode desempenhar papel central na agenda de mitigação de emissões de Sergipe, alinhando políticas climáticas a oportunidades concretas de desenvolvimento econômico regional.

Entre as opções mais promissoras, destaca-se a introdução de sistemas produtivos baseados no plantio de bambu (ou outra espécie adequada) em áreas de manejo sustentável, com o objetivo de substituir combustíveis tradicionais e fortalecer cadeias produtivas locais, com reflexo socioeconômico direto.

O bambu, por ser uma planta de crescimento rápido, elevada densidade energética, alto poder de sequestro de carbono e ampla versatilidade industrial, configura-se como um vetor estratégico para apoiar a transição para uma matriz energética de baixa intensidade de carbono. Seu uso como biomassa renovável para alimentar fornos de casas de farinha, por exemplo, permitiria reduzir significativamente as emissões associadas à queima de lenha de origem informal, que ainda predomina em muitos polos rurais do Estado. Essa substituição energética, além de reduzir as emissões do setor de energia, poderia estruturar arranjos produtivos locais voltados à geração de renda rural e diversificação econômica, especialmente em áreas com forte tradição farinheira, como São Domingos, Campo do Brito e Malhador.

A mesma lógica pode ser estendida ao setor cerâmico, historicamente dependente de biomassa não certificada e identificado no inventário estadual como um dos segmentos mais sensíveis em termos de emissões. A utilização de biomassa de bambu nesses fornos reduziria substancialmente as emissões e, ao mesmo tempo, abriria espaço para certificação de práticas sustentáveis, permitindo a inserção desses empreendimentos em mercados de carbono e em cadeias produtivas mais qualificadas. Em cenários de excedente produtivo, o bambu poderia também servir de base para a formação de um polo industrial madeireiro de nova geração, com aplicações em painéis, mobiliário, fibras e biocompósitos, gerando oportunidades industriais de médio e longo prazo.

A integração dessa cadeia produtiva com tecnologias energéticas limpas pode ampliar ainda mais seus benefícios climáticos. Resíduos de bambu e outras biomassas regionais - bem como resíduos sólidos urbanos - podem alimentar sistemas de biodigestão anaeróbia, com produção de biogás e biometano. Este último, por sua alta qualidade energética e versatilidade, pode substituir combustíveis fósseis em transportes, processos industriais e geração térmica, reforçando a transição energética estadual e gerando créditos de carbono por meio de reduções verificáveis de emissões de metano (CH_4).

Outras rotas tecnológicas complementares incluem a pirólise descentralizada de biomassa para produção de carvão vegetal certificado e bio-óleo, diversificando o portfólio energético estadual. Essas soluções, não apenas reduzem emissões, mas, também, fortalecem cadeias de economia circular, gerando empregos verdes e promovendo desenvolvimento territorial.

Ao estruturar cadeias de biomassa renovável como o bambu, associadas à biodigestão e à conversão energética limpa, Sergipe cria condições para inserir-se de maneira competitiva no mercado de carbono, articulando mitigação de emissões, fortalecimento produtivo e atração de investimentos climáticos. Essa estratégia é plenamente compatível com os objetivos do PEAC/SE, que busca alinhar a política climática estadual às diretrizes nacionais e internacionais de descarbonização.

O desenvolvimento dessas cadeias exige, entretanto, planejamento integrado e governança climática estruturada, envolvendo órgãos ambientais, de agricultura, energia e desenvolvimento econômico. Com isso, Sergipe poderá transformar um ativo natural subutilizado em um instrumento econômico e climático robusto, contribuindo para a redução efetiva das emissões e para a consolidação de um polo estadual de créditos de carbono baseado em soluções inovadoras, renováveis e de alto impacto territorial.

9. RECOMENDAÇÕES PARA O APRIMORAMENTO CONTÍNUO DO INVENTÁRIO ESTADUAL

O desenvolvimento do presente inventário permitiu identificar oportunidades relevantes de aperfeiçoamento metodológico e institucional capazes de ampliar progressivamente a qualidade, a resolução espacial e o nível de detalhamento das futuras atualizações. Essas oportunidades não constituem limitações do trabalho realizado, mas representam a evolução natural de inventários climáticos subnacionais, à medida que novos dados primários se tornam disponíveis e os sistemas de monitoramento ambiental se consolidam.

Recomenda-se, inicialmente, a institucionalização de um sistema permanente de atualização do Inventário Estadual de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, permitindo revisões periódicas das estimativas e maior integração entre os órgãos produtores de dados ambientais, energéticos, agropecuários e industriais.

Também se recomenda o fortalecimento da governança dos dados climáticos estaduais, mediante mecanismos formais de compartilhamento de informações entre instituições como ADEMA, SEAGRI, EMDAGRO, DESO, SERGAS, ANP, IBGE, universidades e demais entidades públicas e privadas responsáveis pela geração de informações relevantes para o inventário.

No setor energético, recomenda-se ampliar progressivamente a utilização de dados operacionais específicos relativos às emissões fugitivas da cadeia de petróleo e gás natural, incorporando, quando disponíveis, programas corporativos de monitoramento de

metano, inventários empresariais e sistemas de medição compatíveis com abordagens Tier 3.

Para o setor Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), recomenda-se estabelecer mecanismos de cooperação institucional com os principais segmentos industriais instalados no Estado, visando ampliar o acesso a informações referentes à produção física, balanços de massa, consumo de matérias-primas e parâmetros operacionais que permitam reduzir as incertezas associadas às estimativas de emissões de processo.

No setor Agropecuária, recomenda-se ampliar a utilização de parâmetros regionais relacionados ao manejo animal, práticas agrícolas, fertilização nitrogenada, sistemas de cultivo e manejo de resíduos agrícolas, possibilitando a substituição gradual de fatores de emissão genéricos por fatores representativos das condições edafoclimáticas de Sergipe.

Para o setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (MUT), recomenda-se intensificar a integração entre produtos de sensoriamento remoto, inventários florestais, Cadastro Ambiental Rural (CAR), bases cartográficas estaduais e plataformas como o MapBiomas, permitindo maior refinamento espacial das estimativas de emissões e remoções de carbono.

Uma vez que se disponha de dados sistemática e continuamente levantados, nas futuras revisões do inventário, pode-se implantar procedimentos padrões de estimação das incertezas e análise de sensibilidade dos resultados de emissões e remoções às principais variáveis envolvidas.

Finalmente, recomenda-se que as próximas atualizações do inventário evoluam para a construção de cenários prospectivos múltiplos, contemplando, além do cenário tendencial (Business as Usual – BAU), cenários de mitigação compatíveis com diferentes níveis de implementação das políticas públicas estaduais, permitindo avaliar quantitativamente os potenciais benefícios ambientais, econômicos e sociais decorrentes da transição para uma economia de baixo carbono e, quiçá, para a venda de créditos de carbono.

10. CONCLUSÕES

A análise integrada das emissões e remoções de gases de efeito estufa no Estado de Sergipe, realizada a partir das totalizações anuais por setor e categoria e tendo o inventário SEEG 12 como referência metodológica e de tendência histórica, revela um

quadro consistente e suficiente para subsidiar políticas públicas e estratégias de mitigação, mesmo na ausência de desagregação municipal neste inventário.

Observou-se uma boa convergência entre as séries do presente inventário estadual e as do SEEG em praticamente todos os setores, sobretudo quando se exclui o setor de energia, confirmando a coerência geral dos resultados obtidos. As divergências mais expressivas concentram-se justamente em energia e IPPU no período mais recente (2021-2024), refletindo lacunas de dados sobre consumo de combustíveis industriais no interior do Estado, sobre a produção de cal e sobre efluentes industriais, além do uso predominante de parâmetros “Tier 1” em decorrência dessas limitações.

No horizonte temporal de 2007 a 2023, as séries setoriais exibem comportamentos característicos: o setor de energia apresenta um padrão oscilante, condicionado pela sazonalidade da operação da termelétrica UTE Porto de Sergipe I, transporte e exploração de petróleo e gás; o setor da agropecuária mostra tendência estável, com variações suaves associadas a ciclos produtivos; o setor de resíduos segue trajetória de crescimento contínuo, acompanhando a ampliação da coleta, dos aterros e das estações de tratamento de esgoto; o setor IPPU apresenta comportamento mais localizado e variável, especialmente vinculado à intermitência operacional da FAFEN/SE, da produção de cal e da categoria ceramista; a categoria MUT/florestas mantém variação moderada, com destaque para as remoções associadas à vegetação secundária e às áreas de preservação permanente. Esses resultados confirmam que, mesmo sem granularidade espacial mais refinada, as totalizações setoriais captam adequadamente as dinâmicas estruturais das emissões no Estado e dialogam de forma satisfatória com as trajetórias consolidadas pelo SEEG.

O setor de energia responde pela maior parte da variabilidade interanual, em razão de fatores externos, como as flutuações na geração termoelétrica e mudanças no perfil de consumo de combustíveis fósseis e gás natural. As categorias ligadas ao transporte rodoviário, à geração de eletricidade e à exploração de petróleo e gás, incluindo emissões fugitivas, dominam a composição setorial. A série energética do inventário estadual acompanhou bem a forma da curva do SEEG, apresentando, porém, diferenças pontuais de magnitude nos anos recentes, coerentes com as lacunas de dados locais.

No caso da agropecuária, o inventário revela uma tendência consistente e estável, dominada pelas categorias fermentação entérica, manejo de dejetos e solos agrícolas. Trata-se de um setor em que os resultados do inventário mostraram boa aderência aos dados do SEEG e baixa variabilidade estrutural, constituindo um dos pilares de maior robustez do inventário estadual. O setor de resíduos, por sua vez, exibe crescimento contínuo, refletindo a expansão da infraestrutura de gestão de resíduos sólidos e efluentes

domésticos, e o próprio crescimento populacional. Essa evolução abre perspectivas claras para projetos de aproveitamento energético, como biogás e biometano, e para ganhos de eficiência operacional. As pequenas diferenças entre as séries estadual e SEEG neste setor decorrem sobretudo da subnotificação municipal em plataformas como SNIS/SINISA e SINIR e do uso de dados suplementares em situações sem dados primários.

No setor IPPU, as emissões permanecem sensíveis à disponibilidade de informações sobre produção de cal e cerâmica, setores em que a ausência de medições diretas tende a provocar subestimações. Ainda assim, as tendências gerais mantêm coerência com o SEEG, embora com maior incerteza. Já o setor MUT apresenta estabilidade relativa, com remoções líquidas significativas provavelmente associadas à regeneração de vegetação secundária e à manutenção de APPs e áreas de uso conservacionista, compondo um elemento estrutural relevante no balanço estadual.

As remoções exercem papel importante na modulação do saldo líquido de emissões. Ao longo do período analisado, as remoções vinculadas à vegetação secundária e áreas legalmente protegidas provavelmente contribuíram para compensar elevações observadas em outros setores, notadamente os de energia e resíduos. A boa correspondência entre as estimativas estaduais e as do SEEG reforça a adequação do uso desta base como linha de referência para futuras ações de restauração florestal, integrações lavoura-pecuária-floresta e plantio direto, e outras soluções baseadas na natureza.

A análise da tendência linear das emissões de 1990 a 2023 aponta um aumento anual médio de cerca de 31,6 mil toneladas de CO_2e, o que representa pouco mais de 0,5% ao ano em relação ao valor inicial. Esse crescimento moderado sugere que, apesar das variações ao longo dos anos, o total de emissões do Estado tende a se manter estável no médio prazo. A estimativa para 2030, considerando essa projeção, indica que os níveis devem permanecer entre 6,5 e 7 milhões de toneladas de CO_2e, a menos que ocorra alguma alteração significativa na matriz energética ou no uso do solo.

Os resultados apontam prioridades para políticas de mitigação: detalhar o consumo energético industrial e rodoviário, acelerar projetos de biogás em resíduos, aprimorar dados industriais no setor IPPU, promover práticas sustentáveis na agropecuária e consolidar sistemas de MRV no setor florestal para ampliar acesso a créditos de carbono.

Tal consolidação requer rotinas de coleta e atualização anual de dados diretos, assegurando governança integrada entre órgãos ambientais, energéticos e de planejamento. A combinação de projetos de soluções baseadas na natureza com medidas

setoriais nos segmentos energético e industrial permitirá diversificar oportunidades de crédito e receita, aumentando a atratividade para investidores e mecanismos de mercado.

Por fim, ainda que este inventário não tenha sido desagregado em nível municipal, as totalizações anuais por setor e categoria mostraram-se coerentes com as trajetórias consolidadas pelo SEEG e, portanto, adequadas para orientar políticas e projetos prioritários. As divergências observadas nos anos mais recentes concentram-se em setores sensíveis à disponibilidade de dados, o que indica de forma precisa onde é necessário investir em medições e aprimoramento metodológico. Com um sistema de MRV fortalecido e tendo o SEEG como referência consistente, Sergipe dispõe das condições necessárias para alinhar metas setoriais, estruturar um portfólio de mitigação e remoção robusto e posicionar-se estrategicamente como um polo estadual de créditos de carbono.

11. REFERÊNCIAS

- AFUYE, G. A.; NDUKU, L.; KALUMBA, A. *M et al. Global trend assessment of land use and land cover changes: A systematic approach to future research development and planning. Journal of King Saud University - Science,* [s. l.], vol. 36, no. 7, p. 103262, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103262. Acesso em: 04/10/2025.
- AGOSTINETO, D. et al. Nitrogênio como modulador da qualidade de fumo tipo Virgínia. Cienc. Rural, 2004.
- ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2017. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf. Acesso em: 28/10/2025.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: ANP, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/anp/. Acesso em: 28/09/2025.
- ARAZA, A.; BRUIN, S. de; HEIN, L.; HEROLD, M. *Spatial predictions and uncertainties of forest carbon fluxes for carbon accounting. Scientific Reports*, [s. l.], vol. 13, no. 1, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-023-38935-8. Acesso em: 27/08/2025.
- ARRHENIUS, S. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. Philosophical Magazine*, 1896. Disponível em: https://www.rsc.org/images/arrhenius1896_tcm18-173546.pdf. Acesso em: 11/10/2025.
- ASSIS, T. O.; AGUIAR, A. P.; RANDOW, C. von; NOBRE, C. A. *Dataset for Projections of Forest Degradation and CO2 Emissions for the Brazilian*

Amazon. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research) European Organization for Nuclear Research, 2022. Disponível em: https://zenodo.org/record/6462710. Acesso em: 26/08/2025.

- AZEVEDO, T.; COSTA, C.; BRANDÃO, A. et al. *SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. Scientific Data*, [s. l.], vol. 5, no. 1, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45. Acesso em: 27/08/2025.
- BADSHAH, M. T.; HUSSAIN, K.; REHMAN, A. U. et al. *The role of random forest and Markov chain models in understanding metropolitan urban growth trajectory. Frontiers in Forests and Global Change,* [s. l.], vol. 7, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1345047. Acesso em: 06/10/2025.
- BALLARIN, A. S.; SONE, J. S.; GESUALDO, G. C.; SCHWAMBACK, D.; REIS, A.; ALMAGRO, A.; WENDLAND, E. CLIMBra - *Climate Change Dataset for Brazil. Scientific Data*, [s. l.], vol. 10, no. 1, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41597-023-01956-z. Acesso em: 27/08/2025.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Relatório Anual 2009. Brasília: BCB, 2009. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/publicacoes/relatorios-anuais-historico/relatorio-anual-do-banco-central-2009.pdf. Acesso em: 27/10/2025.
- BARROS, F.; LEWIS, K.; ROBERTSON, A. D. et al. *Cost-effective restoration for carbon sequestration across Brazil's biomes. The Science of The Total Environment,* [s. l.], vol. 876, p. 162600, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162600. Acesso em: 04/09/2025.
- BARROS, I. de et al. Adubação nitrogenada para o milho na transição Zona da Mata–Agreste de Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016b. (BPD, 107). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1059411/1/BP107.pdf. Acesso em: 12/10/2025.
- BARROS, I. de; SANTOS, W. de M.; PACHECO, E. P. et al. Recomendações de nitrogênio para a cultura do milho nos Tabuleiros Costeiros: desempenho produtivo e econômico. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016a. (Boletim de P&D, 109). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1059219/1/BP109.pdf. Acesso em: 01/10/2025.
- BEZERRA, F. G. S.; RANDOW, C. von; ASSIS, T. O. et al. *New land use change scenarios for Brazil: refining global SSPs with a regional spatially explicit allocation model. bioRxiv* (Cold Spring Harbor Laboratory), [s. l.], 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1101/2021.08.12.456156. Acesso em: 20/09/2025.
- BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S.; PEREIRA, M. C. T. (org.). O cultivo da bananeira. Embrapa. Disponível em:

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134670/1/cap8-livro-RecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf. Acesso: 2/10/2025.

- BRASIL. Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Resoluções sobre o teor obrigatório de biodiesel no óleo diesel comercializado no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, diversos anos (2018–2025).
- BRASIL. Decreto nº 9.172, de 18 de outubro de 2017. Institui o Sistema de Registro Nacional de Emissões – SIRENE. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9172.htm. Acesso em: 05/10/2025.
- BRASIL. Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018. Dispõe sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9578.htm#art25. Acesso em: 06/10/2025.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 11/10/2025.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 11/10/2025.
- BRASIL. MCTI. Estimativas Anuais de Emissões de GEE no Brasil. 1ª a 6ª ed., 2012–2022. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee. Acesso em: 09/10/2025.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Resultados do inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa por unidade federativa, Edição 1.1, 2022. Disponível em: https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4967. Acesso em: 13/10/2025.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil – 6ª edição. Brasília: MCTI, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf. Acesso em: 12/10/2025.
- BUSCARDO, E.; FORKUOR, G.; RUBINO, A.; STOROZUM, M. *Land and people. Communications Earth & Environment,* [s. l.], vol. 2, no. 1, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s43247-021-00240-5. Acesso em: 03/10/2025.
- CAÇÃO, F. N.; COSTA, A. H. R.; UNTERSTELL, N.; YONAHA, L.; STEC, T.; ISHISAKI, F. *Tracking Environmental Policy Changes in the Brazilian*

Federal Official Gazette. In: LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE. [S. l.]: Springer Science+Business Media, 2022. p. 256. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-98305-5_24. Acesso em: 29/09/2025.

- CARDOSO, C. M. V. et al. Nitrogênio e densidade de plantio na goiabeira 'Paluma'. Rev. Ceres, 2011. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes. Acesso em: 10/10/2025.
- CIERTO, L. E. O.; ARATA, J. B. V.; ALIAGA, W. C. L. et al. *Carbon capture in living aerial biomass in Tingo María National Park*. TAYACAJA, [s. l.], vol. 4, no. 2, p. 131, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.46908/tayacaja.v4i2.182. Acesso em: 27/09/2025.
- DAVOUDABADI, M. J.; PAGENDAM, D.; DROVANDI, C. et al. *Innovative approaches in soil carbon sequestration modelling for better prediction with limited data. Scientific Reports,* [s. l.], vol. 14, no. 1, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-024-53516-z. Acesso em: 28/09/2025.
- DIPTO, A. M.; RASEL, H. M.; HOSSAIN, A. S. et al. *Predictive Modeling of Land Use and Land Cover Changes Using Q-GIS to Improve Geospatial Decision-Making and Sustainable Strategies. Research Square (Research Square),* [s. l.], 2023. Disponível em: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3671270/v1. Acesso em: 04/10/2025.
- EARLY, J.; CHEN, Y.-J.; EVERS, C.; RAMCHURN, S. D. *Extending scene-to-patch models: Multi-resolution multiple instance learning for Earth observation. Environmental Data Science,* [s. l.], vol. 2, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1017/eds.2023.30. Acesso em: 09/10/2025.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Fatores de emissão e práticas agrícolas no Brasil. Brasília: Embrapa, 2019–2024. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123612/1/Manzatto-emissoes-gases-2020.pdf. Acesso em: 12/10/2025.
- EMBRAPA AIT. Feijão: adubação (página técnica), 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/. Acesso em: 02/10/2025.
- EMBRAPA Hortaliças. Melancia – produção. Disponível em: https://www.embrapa.br/hortalicas. Acesso em: 2 out. 2025. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/100675/1/00081320.pdf. Acesso em: 08/10/2025.
- EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Tecnologia de produção de mandioca para a Região Nordeste. Cruz das Almas: Embrapa, 2004. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/. Acesso em: 02/10/2025.
- EMBRAPA Semiárido. A cultura da goiabeira irrigada no Nordeste brasileiro. Petrolina: Embrapa, 1994. Disponível em:

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/573153/1/aculturadagoiabeirairrigadanonordestebrasileiro.pdf. Acesso em: 02/10/2025.

- EMBRAPA. Manejo de palhada na cana-de-açúcar. Campinas, 2014. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1017590/1/CTE106.Palhadacanadeacucar.pdf. Acesso em: 14/10/2025.
- EMBRAPA. Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum. Circular Técnica 89, 2011. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/916406/1/CIRCTECNICA89.pdf Acesso em: 10/10/2025.
- FAN, L.; GUAN, H. *A comparative overview of city-level carbon accounting: Key processes and considerations. AIMS environmental science*, [s. l.], vol. 12, no. 3, p. 400, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3934/environsci.2025018. Acesso em: 29/09/2025.
- GONÇALVES, A. C.; MAGALHÃES, M. M. de; FERNANDES, G. A. de A. L. et al. *Additive effect of wildfires on hospital admission in the Pantanal wetland, Brazil. Scientific Reports*, [s. l.], vol. 15, no. 1, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-025-13257-z. Acesso em: 29/09/2025.
- GUIZZARDI, D.; BECKER, W. H.; PAGANI, F.; MUNTEAN, M.; CRIPPA, *M. Global up-to date emissions using the EDGAR Fast-Track methodology. Scientific Data,* [s. l.], vol. 12, no. 1, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41597-025-04806-2. Acesso em: 28/09/2025.
- HENUD, I. R.; MANES, S.; MARINHO, L. de S. V. et al. Biomass and carbon stock estimation of an Atlantic Forest fragment. Revista Agrogeoambiental, [s. l.], vol. 13, no. 2, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.18406/2316-1817v13n220211577. Acesso em: 27/09/2025.
- HJELGAARD, K.; NIELSEN, O.-K. *Danish emission inventory for industrial processes and product use: Results of inventories up to 2021. Research Portal Denmark. [S. l.]: Technical University of Denmark, 2023*. Disponível em: https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/. Acesso em: 09/10/2025.
- HUO, J.; SHI, Z.; ZHU, W.; YAN, Y.; XUE, H. *Carbon neutral spatial zoning and optimization based on land use carbon emission in the qinba mountain region, China. Scientific Reports*, [s. l.], vol. 15, no. 1, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-025-95156-x. Acesso em: 02/10/2025.
- IBGE. Censo Agropecuário 1995/1996. Rio de Janeiro: IBGE, 1996. Disponível em:https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/20700-1995-1996-censoagro1995.html. Acesso em: 28/10/2025.
- IBGE. Censo Agropecuário 2006 – Segunda Apuração. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Censo_Agropecuario/Censo_Agropecuario_2006/Segunda_Apuracao/censoagro2006_2aapuracao.pdf. Acesso em: 26/10/2025.

- IBGE. Indicadores IBGE: Pesquisa Industrial Mensal – dados gerais (série histórica 1990–1994). Rio de Janeiro: IBGE, 1990–2001. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=7225&view=detalhes&utm. Acesso em: 28/10/2025.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM 2020–2024. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.
- INCAPER. Tomateiro – recomendações de adubação (campo). Vitória, ES. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/. Acesso em: 2/10/2025.
- INPE/PRODES. TerraBrasilis – Portal de dados (PRODES/DETER). São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/en/home-page/. Acesso em: 24/10/2025.
- *IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 2019. *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama: IGES, 2019.
- *IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama: IGES, 2006.
- *IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report (AR5)*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- IPCC. *IPCC Global Warming Potential Values (GWP AR6), 2024*. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf. Acesso em: 13/10/2025.
- JANSSENS-MAENHOUT, G.; CRIPPA, M.; GUIZZARDI, D.; et al., v.4.3.2 *Global Atlas of the three major greenhouse gas emissions for the period 1970–2012. Earth system science data*, [s. l.], vol. 11, no. 3, p. 959, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.5194/essd-11-959-2019. Acesso em: 09/10/2025.
- JONES, C.; ZIEHN, T.; ANAND, J.; BASTOS, A.; et al. RECCAP2 *Future Component: Consistency and Potential for Regional Assessment to Constrain Global Projections. AGU Advances*, [s. l.], vol. 4, no. 6, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1029/2023av001024. Acesso em: 09/10/2025.
- KRŪMIŅŠ, J.; KĻAVIŅŠ, M. *Scenario-based modeling of land-use and land-cover changes to promote sustainability in biosphere reserves: a case study from North Vidzeme, Latvia. Frontiers in Remote Sensing*, [s. l.], vol. 6, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3389/frsen.2025.1567002. Acesso em: 09/10/2025.
- KRŪMIŅŠ, J.; KĻAVIŅŠ, M. *Scenario-based modeling of land-use and land-cover changes to promote sustainability in biosphere reserves: a case study from North Vidzeme, Latvia. Frontiers in Remote Sensing*, [s. l.], vol. 6, 2025.

Disponível em: https://doi.org/10.3389/frsen.2025.1567002. Acesso em: 04/10/2025.

- LI, L.; AWADA, T.; SHI, Y.; JIN, V. L.; KAISER, M. *Global Greenhouse Gas Emissions From Agriculture: Pathways to Sustainable Reductions. Global Change Biology,* [s. l.], vol. 31, no. 1, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1111/gcb.70015. Acesso em: 09/10/2025.
- LI, L.; AWADA, T.; ZHANG, Y.; PAUSTIAN, *K. Global Land Use Change and Its Impact on Greenhouse Gas Emissions. Global Change Biology*, [s. l.], vol. 30, no. 12, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1111/gcb.17604. Acesso em: 07/10/2025.
- LNBR/CNPEM. Palha e bagaço de cana-de-açúcar. Campinas, 2019. Disponível em: https://lnbr.cnpem.br/biovalue/biomassas/palha-bagaco/. Acesso em: 14/10/2025.
- MÁLAGA, N.; BRUIN, S. de; MCROBERTS, R. E. et al. *Precision of subnational forest AGB estimates within the Peruvian Amazonia using a global biomass map. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,* [s. l.], vol. 115, p. 103102, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103102. Acesso em: 07/10/2025.
- MANSORI, M.; BADEHIAN, Z.; GHOBADI, M. et al. *Assessing the environmental destruction in forest ecosystems using landscape metrics and spatial analysis. Scientific Reports,* [s. l.], vol. 13, no. 1, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-023-42251-6. Acesso em: 01/10/2025.
- MANTOVANI, V. A.; TERRA, M. de C. N. S.; RODRIGUES, A. F.; SILVA, C. A.; GUO, L.; MELLO, J. M. de; MELLO, C. R. de. *Unprecedentedly high soil carbon stocks and their spatial variability in a seasonally dry Atlantic Forest in Brazil.* CATENA, [s. l.], vol. 235, p. 107696, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107696. Acesso em: 09/10/2025.
- MAPBIOMAS. Coleção 8 – Mapas e dados (Brasil). São Paulo: MapBiomas, 2023. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/downloads/?utm. Acesso em: 28/10/2025.
- MAPBIOMAS. Coleção 8. Uso e Cobertura da Terra no Brasil (1985–2023). São Paulo: MapBiomas, 2023. Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/. Acesso em: 01/10/2025.
- MCGLYNN, E.; LI, S.; BERGER, M. F.; AMEND, M.; HARPER, K. *Addressing uncertainty and bias in land use, land use change, and forestry greenhouse gas inventories. Climatic Change*, [s. l.], vol. 170, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10584-021-03254-2. Acesso em: 04/10/2025.
- MELO, J.; BAKER, T. R.; NEMITZ, D.; QUEGAN, S.; ZIV, G. *Satellite-based global maps are rarely used in forest reference levels submitted to the UNFCCC. Environmental Research Letters*, [s. l.], vol. 18, no. 3, p. 34021, 2023.

Disponível em: https://doi.org/10.1088/1748-9326/acba31. Acesso em: 09/10/2025.

- NIELSEN, O.-K.; PLEJDRUP, M. S.; WINTHER, M.; et al. Denmark's National Inventory Report 2023: *Emission Inventories 1990-2021 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change Research Portal Denmark. [S. l.]: Technical University of Denmark, 2023*. Disponível em: https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/. Acesso em: 09/10/2025.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA. SEEG 12: Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970–2023). São Paulo: OC, 2024. Disponível em: https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf. Acesso em: 12/10/2025.
- OLIVEIRA, O. M. C. de; COUTO, B. de O. C.; JUNIO, E. D. Life Cycle Inventory Assessment at Instituto Federal Goiano-Campus Rio Verde Inventário do Ciclo de Vida avaliado no Instituto Federal Goiano-Campus Rio Verde. Research Square (Research Square), [s. l.], 2023. Disponível em: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3717561/v1. Acesso em: 11/10/2025.
- ONS. Escassez Hídrica 2021 – Central de informações e documentos. Brasília: Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2021. Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210707-escassez-hidrica-2021.aspx. Acesso em: 25/10/2025.
- ONS. Plano da Operação Energética – PEN 2021/2025 (Sumário/Relatório). Brasília: ONS, 2021. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Relat%C3%B3rio%20PEN%202021.pdf. Acesso em: 28/10/2025.
- PONGRATZ, J.; SCHWINGSHACKL, C.; BULTAN, S.; OBERMEIER, W. A.; HAVERMANN, F.; GUO, S. *Land Use Effects on Climate: Current State, Recent Progress, and Emerging Topics. Current Climate Change Reports,* [s. l.], vol. 7, no. 4, p. 99, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40641-021-00178-y. Acesso em: 09/10/2025.
- PUIG, D.; SØBYGAARD, J. K.; LARSEN, P. et al. *National Greenhouse Gas Emissions Baseline Scenarios: Learning from Experiences in Developing Countries Research Portal Denmark. [S. l.]: Technical University of Denmark*, 2013. Disponível em: https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/. Acesso em: 06/10/2025.
- QIN, Z.; ZHU, Y.; CANADELL, J. G.; CHEN, M. et al. *Global spatially explicit carbon emissions from land-use change over the past six decades* (1961–2020). One Earth, [s. l.], vol. 7, no. 5, p. 835, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.04.002. Acesso em: 06/10/2025.
- RADWAN, T. M.; BLACKBURN, G. A.; WHYATT, D.; ATKINSON, P. M. *Global land cover trajectories and transitions. Scientific Reports,* [s. l.], vol. 11,

no. 1, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-021-92256-2. Acesso em: 09/10/2025.

- SANQUETTA, C. R.; BASTOS, A.; SANQUETTA, M. N. I. et al. *Assessing the carbon stock of cultivated pastures in Rondônia, southwestern Brazilian Amazon*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, [s. l.], vol. 94, no. 4, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210262. Acesso em: 02/10/2025.
- SBCS/ROLAS. Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (RS e SC), 2016.
- SEEG (Agropecuária). Nota Metodológica – Setor Agropecuária (versão 12, dez. 2024; série 1970–2023). Observatório do Clima/Imaflora, 2024. Disponível em: https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2025/04/SEEG12-NM-AGROPECUARIA-BR.pdf. Acesso em: 28 out. 2025. seeg.eco.br
- SEEG (Energia). Nota Metodológica – Setor Energia (versão 12, dez. 2024; série 1970–2023). Observatório do Clima/IEMA, 2024. Disponível em: https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2025/04/SEEG12-NM-ENERGIA-BR.pdf. Acesso em: 25/10/2025.
- SEEG (IPPU). Nota Metodológica – Processos Industriais e Uso de Produtos (versão 12; série 1970–2023). Observatório do Clima/IEMA, 2024. Disponível em: https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2025/04/SEEG12-NM-PIUP-BR.pdf. Acesso em: 28/10/2025.
- SEEG (MUT). Nota Metodológica – Setor Mudanças de Uso da Terra e Florestas (versão 12; série 1990–2023). Observatório do Clima, 2024. Disponível em: https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2025/04/SEEG12-NM-MUT-BR.pdf. Acesso em: 24/10/2025.
- SEEG (Resíduos). Nota Metodológica – Setor Resíduos (versão 12; série 1970–2023). Observatório do Clima, 2024. Disponível em: https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2025/04/SEEG12-NM-RESIDUOS-BR.pdf. Acesso em: 26/10/2025.
- SERGIPE. Governo do Estado de Sergipe. Plano estadual para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária – Plano ABC Sergipe 2020–2030, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/abc/gge-abc/sergipe/. Acesso em: 12/10/2025.
- SEYDEWITZ, T.; PRADHAN, P.; LANDHOLM, D. M. et al. *Deforestation Drivers Across the Tropics and Their Impacts on Carbon Stocks and Ecosystem Services. Anthropocene Science,* [s. l.], vol. 2, no. 1, p. 81, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s44177-023-00051-7. Acesso em: 19/09/2025.
- SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Relatórios Anuais de Produção. Brasília: SNIC, 2020–2023. Disponível em: https://snic.org.br/numeros-relatorio-anual.php. Acesso em: 05/10/2025.

- SNIS. Diagnóstico Temático – Resíduos Sólidos Urbanos (visão geral, ano de referência 2021). Brasília: Ministério das Cidades, 2023. Disponível em: https://www.cidades.gov.br/images/stories/arquivossnsa/arquivos_pdf/snis/residuos_solidos/diagnostico_tematico_visao_geral_rs_snis_2023_atualizado.pdf. Acesso em: 27/10/2025.
- SNIS. Ministério das Cidades. Diagnósticos SNIS – página oficial (acesso aos relatórios e tabelas). Brasília: Gov.br, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis. Acesso em: 28 out. 2025.
- SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Indicadores de água, esgotos e resíduos sólidos. Brasília: MDR/MCID.
- SOTERRONI, A. C.; IMPÉRIO, M.; SCARABELLO, M. et al. *Nature-based solutions are critical for putting Brazil on track towards net-zero emissions by 2050. Global Change Biology,* [s. l.], vol. 29, no. 24, p. 7085, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1111/gcb.16984. Acesso em: 09/10/2025.
- TINITANA-BAYAS, R.; SANJUÁN, N.; JIMÉNEZ, E. S. et al. *Assessing the environmental impacts of beef production chains integrating grazing and landless systems animal,* [s. l.], vol. 18, no. 2, p. 101059, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101059. Acesso em: 01/10/2025.
- UNFCCC. UNITED NATIONS. *United Nations Framework Convention on Climate Change. New York:* UN, 1992. Disponível em: https://www.un.org/climatesecuritymechanism/en/united-nations-framework-convention-climate-change-unfccc-and-climate-peace-and-security. Acesso em: 11/10/2025.
- UNITED NATIONS. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto*: UN, 1997. Disponível em: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf. Acesso em: 11/10/2025.
- UNITED NATIONS. *Paris Agreement. Paris: UN, 2015*. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em: 09/10/2025.
- UYAR, N.; UYAR, A. C. *Assessing Climate Change Impacts on Cropland and Greenhouse Gas Emissions Using Remote Sensing and Machine Learning. Atmosphere,* [s. l.], vol. 16, no. 4, p. 418, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/atmos16040418. Acesso em: 03/10/2025.
- WANG, H.; MEI, Y.; REN, J. et al. *Multi-Scale Temporal Integration for Enhanced Greenhouse Gas Forecasting: Advancing Climate Sustainability. Sustainability,* [s. l.], vol. 17, no. 8, p. 3436, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17083436. Acesso em: 03/10/2025.

- WANG, L. *Assessment of land use change and carbon emission: A Log Mean Divisa (LMDI) approach. Heliyon*, [s. l.], vol. 10, no. 3, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25669. Acesso em: 03/10/2025.
- WARD, D. S.; MAHOWALD, N. M.; KLOSTER, S. *Potential climate forcing of land use and land cover change. Atmospheric chemistry and physics*, [s. l.], vol. 14, no. 23, p. 12701, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.5194/acp-14-12701-2014. Acesso em: 20/09/2025.
- WÓJCIK-OLIVEIRA, K.; NIEDBAŁA, G. *Mitigation of greenhouse gases emissions impact and their influence on terrestrial ecosystem. In: IOP CONFERENCE SERIES EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2018, [s. l.], . Anais [...]. [S. l.]: IOP Publishing*, 2018. p. 12011. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1755-1315/150/1/012011. Acesso em: 04/10/2025.

12. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ABORDAGEM METODOLÓGICA EM TERMOS DE COMPLEXIDADE E INCERTEZA, CONFORME BRASIL (2022) 11
FIGURA 2: SETORES INVENTARIADOS, SEGUNDO BRASIL (2022) 16
FIGURA 3: MAPA DO ESTADO DE SERGIPE SUBDIVIDIDO EM TERRITÓRIOS 17
FIGURA 4: TELA CAPTURADA DA PLATAFORMA SEEG MOSTRANDO A TOTALIZAÇÃO DE DADOS DE EMISSÕES NO SETOR ENERGÉTICO 26
FIGURA 5: COMPILAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE (GWP-AR5), MOSTRANDO A POSIÇÃO DE SERGIPE EM 2023 27
FIGURA 6: HISTÓRIA DAS EMISSÕES POR TIPO DE FONTE (1970-2023) COM DADOS DO SEEG 28
FIGURA 7: HISTÓRIA DAS EMISSÕES POR TIPO DE FONTE (1990-2023) E PROJEÇÕES LINEARES (2024-2030) 29
FIGURA 8: COMPOSIÇÃO SETORIAL DO SALDO DE EMISSÕES DE GEES EM SERGIPE NO PERÍODO 2000-2023 34
FIGURA 9: EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES LÍQUIDAS ACUMULADAS PARA OS 5 MAIORES EMISSORES EM SERGIPE 35
FIGURA 10: CORRELAÇÃO ENTRE AS EMISSÕES DE CO2 E A PRODUÇÃO TOTAL EM ÓLEO EQUIVALENTE PARA O PERÍODO DE 1990 A 2008 40
FIGURA 11: CORRELAÇÃO ENTRE AS EMISSÕES DE CH4 E A PRODUÇÃO TOTAL EM ÓLEO EQUIVALENTE PARA O PERÍODO DE 1990 A 2008 41
FIGURA 12: CORRELAÇÃO ENTRE AS EMISSÕES DE N2O E A PRODUÇÃO TOTAL EM ÓLEO EQUIVALENTE PARA O PERÍODO DE 1990 A 2008 41
FIGURA 13: ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA OBTENÇÃO DE PARÂMETROS USADOS NA ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE NO SETOR “MUT” 73
FIGURA 14: EMISSÕES POR SETOR E REMOÇÕES ESTIMADAS PARA O PERÍODO 2020 – 2024, PADRÃO GWP-AR6 96
FIGURA 15: COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS CONSOLIDADOS DO PRESENTE INVENTÁRIO COM O INVENTÁRIO DO SEEG 12 E UM CENÁRIO DE SUPLEMENTAÇÃO DE DADOS (GWP AR6) 99
FIGURA 16: EMISSÕES LÍQUIDAS TOTAIS EM SERGIPE NO PERÍODO DE 1970 A 2023 E PROGNÓSTICOS ATÉ 2030 POR REGRESSÃO LINEAR DOS DADOS DO SEEG (TCO2E GWP-AR5) 102
FIGURA 17: OS CINCO MAIORES SETORES E CATEGORIAS EMISSORAS DE GEE NA GRANDE ARACAJU (2007-2023) 104

FIGURA 18: OS CINCO MAIORES SETORES E CATEGORIAS EMISSORAS DE GEE NO LESTE SERGIPANO (2007-2023)..... 104
FIGURA 19: OS CINCO MAIORES SETORES E CATEGORIAS EMISSORAS DE GEE NO AGRESTE CENTRAL SERGIPANO (2007-2023) 105
FIGURA 20: OS CINCO MAIORES SETORES E CATEGORIAS EMISSORAS DE GEE NO SUL SERGIPANO (2007-2023)..... 105
FIGURA 21: OS CINCO MAIORES SETORES E CATEGORIAS EMISSORAS DE GEE NO ALTO SERTÃO SERGIPANO (2007-2023) 106
FIGURA 22: OS CINCO MAIORES SETORES E CATEGORIAS EMISSORAS DE GEE NO MÉDIO SERTÃO SERGIPANO (2007-2023) 107
FIGURA 23: OS CINCO MAIORES SETORES E CATEGORIAS EMISSORAS DE GEE NO CENTRO SUL SERGIPANO (2007-2023) 107
FIGURA 24: OS CINCO MAIORES SETORES E CATEGORIAS EMISSORAS DE GEE NO BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO (2007-2023) 108
FIGURA 25: REMOÇÕES DE GEE POR TERRITÓRIO DE SERGIPE (2007-2023)..... 108

13. LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PROPRIEDADES DOS COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS 37
TABELA 2: FATORES DE EMISSÃO DE CO_2 POR TIPO DE COMBUSTÍVEL 38
TABELA 3: FATORES DE EMISSÃO DE CH_4 E N_2O POR TIPO DE COMBUSTÍVEL 38
TABELA 4: EMISSÕES DE GEES EXPRESSAS EM CO2 EQUIVALENTE (GWP AR6) PARA TODOS OS TIPOS DE COMBUSTÍVEIS 44
TABELA 5: EMISSÕES DE GEES NA GERAÇÃO TERMELÉTRICA A PARTIR DO GNL 44
TABELA 6: RESULTADOS CONSOLIDADOS DAS EMISSÕES DE GEES NO SETOR DE ENERGIA, NO PERÍODO DE 2020 A 2024..... 44
TABELA 7: PRODUÇÃO DE AMÔNIA E UREIA NO PERÍODO DE 2020 A 2024, SEGUNDO O IBGE..... 49
TABELA 8: PRODUÇÃO DE CIMENTO NO PERÍODO DE 2021 A 2024, POR TIPO, SEGUNDO O IBGE..... 49
TABELA 9: TOTALIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO2 NO SETOR "INDÚSTRIA", GERADOS NOS PROCESSOS 50
TABELA 10: ÁREAS CULTIVADAS EM SERGIPE POR TIPO DE CULTURA, SEGUNDO O PAM/IBGE, PARA O PERÍODO DE 2020 -2024..... 52
TABELA 11: EFETIVO DOS REBANHOS POR TIPO DE REBANHOS, SEGUNDO A PPM/SIDRA/IBGE..... 56
TABELA 12: TOTALIZAÇÃO DAS EMISSÕES DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS EM SERGIPE NO ANO DE 2020 60
TABELA 13: TOTALIZAÇÃO DAS EMISSÕES DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS EM SERGIPE NO ANO DE 2021 61
TABELA 14: TOTALIZAÇÃO DAS EMISSÕES DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS EM SERGIPE NO ANO DE 2022 62
TABELA 15: TOTALIZAÇÃO DAS EMISSÕES DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS EM SERGIPE NO ANO DE 2023 63
TABELA 16: TOTALIZAÇÃO DAS EMISSÕES DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS EM SERGIPE NO ANO DE 2024 64
TABELA 17: GERAÇÃO DE CH4 E CO2 EQUIVALENTE NO MANEJO DO ESTERCO, POR TIPO DE REBANHO (2021-2024) 65
TABELA 18: TOTALIZAÇÃO ANUAL DO METANO PROVENIENTE DO ESTERCO, EXPRESSO EM CO2E (PADRÃO GWP-AR6), IPCC (2024): 66
TABELA 19: GERAÇÃO DE N2O E CO2 EQUIVALENTE NO MANEJO DO ESTERCO, POR TIPO DE REBANHO (2021-2024) 67
TABELA 20: TOTALIZAÇÃO ANUAL DE N_2O PROVENIENTE DO ESTERNO, EXPRESSO EM CO_2E (PADRÃO GWP-AR6), IPCC (2024) 68
TABELA 21: GERAÇÃO DE CH4 E CO2 EQUIVALENTE NA FERMENTAÇÃO ENTÉRICA, POR TIPO DE REBANHO (2021-2024) 69
TABELA 22: TOTALIZAÇÃO ANUAL DO CH4 DE ORIGEM ENTÉRICA, EXPRESSO EM CO2E (PADRÃO GWP-AR6), IPCC (2024): 69
TABELA 23: PARÂMETROS OBTIDOS POR REGRESSÃO LINEAR DOS DADOS DO INVENTÁRIO DO SEEG (1970-2023)..... 77

TABELA 24: CLASSES DE COBERTURA DE DESTINO OBTIDAS A PARTIR DOS DADOS DE TRANSIÇÕES DO MAPBIOMAS PARA O PERÍODO 2020 A 2024, NA CLASSIFICAÇÃO DO SEEG.....77
TABELA 25: CONVERSÕES DE ÁREAS SEGUNDO O ANO – FIM COM BASE NAS PLANILHAS DO MAPBIOMAS..79
TABELA 26: ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES NO SETOR "MUT", NO PERÍODO DE 2020 A 2024.....79
TABELA 27: SÉRIE HISTÓRICA POPULACIONAL DE SERGIPE E DE SEUS MUNICÍPIOS (2020-2025).....83
TABELA 28: ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GEE NO SETOR "RESÍDUOS", PERÍODO 2020 - 2024.....88
TABELA 29: CONSOLIDAÇÃO DAS EMISSÕES/REMOÇÕES DE GEE ESTIMADAS NESTE INVENTÁRIO, POR SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA, NO PERÍODO DE 2020 A 2024.....90
TABELA 30: CONSOLIDAÇÃO DAS EMISSÕES/REMOÇÕES DE GEE POR SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA NO PERÍODO DE 2020 A 2024 (SUPLEMENTADA COM DADOS DO SEEG).....92
TABELA 31: RECORTE DO INVENTÁRIO ANUAL DE EMISSÕES/REMOÇÕES DE GEE DO SEEG 12, POR SETOR DE EMISSÃO E CATEGORIA, PERÍODO 2020 A 2024.....94

14. LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: SÍNTESE DAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS EMPREGADAS NO INVENTÁRIO ESTADUAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE EM SERGIPE 12
QUADRO 2: DIVISÃO DAS FONTES E SUMIDOUROS DE GEE EM SETORES ECONÔMICOS E OS DESTAQUES EM SERGIPE.....18
QUADRO 3: COMPILAÇÃO DAS EMISSÕES/REMOÇÕES DE GEE (GWP-AR5) PARA O ESTADO DE SERGIPE EM 2021.....24

15. ANEXOS

A categorização e enquadramento das áreas de transição do **MapBiomas** que você forneceu foi feita com base no **mapeamento oficial do SEEG/MCTI (2023)** e nas correspondências entre classes MapBiomas, classes IPCC e categorias agregadas de uso e cobertura da terra.

Esse procedimento tem duas etapas principais:

Mapeamento das classes do MapBiomas para detecção de transições (A □*):

As áreas fornecidas nas planilhas do MapBiomas (diagrama Sankey de transições anuais) foram agregadas com o auxílio de inteligência artificial, conforme quadro a seguir, onde "A" representa área e a seta para a direita (□) significa a mudança de classe.

VARIÁVEL	CLASSES MAPBIOMAS (ORIGEM E DESTINO)	DESCRIÇÃO METODOLÓGICA
A_veg→ant (vegetação → uso antrópico)	Vegetação nativa (classes 3, 4, 5, 11, 12, etc.) → classes antrópicas (9, 15, 20–25, 29–31 etc.)	Soma das transições onde o uso original é vegetação nativa e o uso final é agropecuária, urbano ou mineração.
A_veg→agri (vegetação → agricultura)	Vegetação → 9, 20, 21, 35, 39, 40, 41, 46–48, 62	Subconjunto de A_veg→ant restrito às classes agrícolas.
A_veg→past (vegetação → pastagem)	Vegetação → 15	Subconjunto de A_veg→ant restrito à pastagem.
A_to_veg (qualquer uso → vegetação)	Qualquer classe → 3, 4, 5, 11, 12 (vegetação nativa) ou secundária)	Representa ganho líquido de vegetação nativa (primária + secundária).
A_to_sec (qualquer uso → vegetação secundária)	Qualquer classe → vegetação secundária	Identificada automaticamente por palavras-chave "secundária", "capoeira", "regeneração" etc.
A_fire (área queimada)	Todas as classes afetadas por MapBiomas Fogo	Área total anual queimada.

Nota: os códigos das classes vêm da legenda do MapBiomas Coleção 9 (exemplo: 3 = Floresta, 4 = Savana, 15 = Pastagem, 21 = Mosaico Agropecuária etc.).

Agrupamento das classes do MapBiomas em grandes categorias de uso:

As classes originais do MapBiomas foram agregadas nas seguintes **categorias temáticas**, conforme metodologia SEEG e Quarto Inventário Nacional.

Quadro 3: Agrupamento das classes do MapBiomas

CATEGORIA AGREGADA	CLASSES MAPBIOMAS INCLUÍDAS	DESCRIÇÃO
Agropecuária	9 (floresta plantada), 15 (pastagem), 20–21, 35, 39–41, 46–48, 62	Agricultura (temporária e perene), pastagem, mosaico agrícola-pastagem.
Floresta	3 (floresta), 4 (savana), 5 (mangue), 49–50 (restinga)	Vegetação florestal primária.
Vegetação Herbácea e Arbustiva	11 (campo alagado e pantanoso), 12 (formação campestre)	Áreas naturais não florestais (campos e alagados).
Área Não Vegetada	23–25 (praia, urbana, não vegetada), 29 (afloramento rochoso), 30 (mineração), 31 (aquicultura)	Usos antrópicos e áreas não vegetadas naturais.
Água e Ambiente Marinho	33, 34	Corpos hídricos continentais e costeiros.

Fonte: Adaptado de SEEG, 2025.

Regras principais do enquadramento:

- As **transições "vegetação nativa → uso antrópico"** (veg→ant) representam emissões por **Alterações de Uso da Terra**.
- As transições **veg→agri** e **veg→past** alimentam os cálculos de **emissões do carbono do solo**, com fatores distintos (k_agri e k_past).
- As transições "→ vegetação" e "→ vegetação secundária" representam **remoções de CO_2** por regeneração e ganho líquido de cobertura vegetal.
- A área queimada total (A_fire) é contabilizada para resíduos florestais (CH_4 e N_2O, convertidos a CO_2e).
- Quando uma classe tem código secundário, é automaticamente atribuída a "vegetação secundária" e não à vegetação primária.

Em síntese:

- O enquadramento das áreas do MapBiomas nas variáveis usadas no inventário (A_veg→ant, A_veg→agri, A_to_veg etc.) foi feito com base na correspondência entre classes originais e grupos de uso definidos pelo SEEG/IPCC.

A agregação final em categorias amplas (agropecuária, floresta, vegetação herbácea, água etc.) permite alinhar a contabilidade de emissões e remoções às metodologias oficiais "Tier 1" do IPCC e ao Quarto Inventário Nacional.

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo de Sergipe

Relatório e Mapa de Vulnerabilidades e Riscos Climáticos (Produto 1.4)

São Paulo, novembro/2025

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 5

2 OBJETIVOS 5

2.1 GERAL 5
2.2 ESPECÍFICOS 5

3 PREMISSAS CONCEITUAIS 6

4 METODOLOGIA 8

4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS CLIMÁTICOS 8
4.2 DEFINIÇÃO OPERACIONAL E VALIDAÇÃO 14
4.3 MAPEAMENTO DE LST VIA SENSORIAMENTO REMOTO 15
4.3.1. RECLASSIFICAÇÃO EM 6 CLASSES ORDINAIS 16
4.3.2. PERIGO DE INUNDAÇÃO FLUVIAL (P.1a) 16
4.3.3. PERIGO DE EROSÃO COSTEIRA 18
4.4 PERIGO ALARMANTE E INUNDAÇÃO 19
4.4.1. PERIGO DE ALAGAMENTO PLUVIAL URBANO (P.1B) 19
4.5 MAPEAMENTO DE ONDAS DE CALOR E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR NO ESTADO DE SERGIPE 22
4.5.1. ÁREA DE ESTUDO E DADOS OBSERVACIONAIS 22
4.5.2. DEFINIÇÃO DE ONDA DE CALOR E CÁLCULO DO LIMIAR P95 23
4.5.3. IDENTIFICAÇÃO DE PERÍODOS DE ONDA DE CALOR 25
4.5.4. SELEÇÃO DE EVENTOS PARA MAPEAMENTO ESPACIAL 25
4.5.5. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DE TEMPERATURA 26
4.5.6. PRODUTOS CARTOGRÁFICOS FINAIS 27
4.5.7. ANÁLISE INTEGRADA DE EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE POPULACIONAL . 29
4.5.8. LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS 33
4.6 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE E EXPOSIÇÃO (IVS) 33
4.6.1. VARIÁVEIS DO IVS 33
4.6.2. NORMALIZAÇÃO E AGREGAÇÃO 34
4.7 SÍNTESE DO RISCO INTEGRADO 34

5 AVALIAÇÃO DOS RISCOS E VULNERABILIDADES DO ESTADO DE SERGIPE 35

5.1 MAPEAMENTO DOS PERIGOS CLIMÁTICOS 35
5.1.1. PERIGO DE SECAS PROLONGADAS (SPEI-12) 35
5.1.2. PERIGO DE EROSÃO COSTEIRA (CVI) 45
5.1.3. PERIGO ALAGAMENTO OU INUNDAÇÃO 48
5.2 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS) 56
5.2.1. RISCO INTEGRADO 63
5.2.2. NOTA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DE CLASSES DE RISCO 63
5.3. MAPEAMENTO DE ONDAS DE CALOR E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR 66
5.3.1. CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL DAS ONDAS DE CALOR (1985-2023) 66
5.3.2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FREQUÊNCIA DE EVENTOS 71
5.3.3. ANÁLISE DE TEMPERATURA MÉDIA DURANTE EVENTOS 73
5.3.4. IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR: ANÁLISE DO MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE INTENSIDADE 76
5.3.5. ANÁLISE POR REGIÃO TERRITORIAL DE PLANEJAMENTO 80
5.3.6. EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE POPULACIONAL AO CALOR 83
5.3.7. COMPARAÇÃO COM ESTUDOS PRÉVIOS E CONTEXTO REGIONAL 90

5.3.8. IMPLICAÇÕES PARA SAÚDE PÚBLICA E PLANEJAMENTO URBANO 91
5.3.9. TENDÊNCIAS FUTURAS E CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS 92

6. CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E ARBOVIROSES 93

6.1. METODOLOGIA 93
6.2. RESULTADOS 94
6.3. PROJEÇÕES SOB CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS 95
6.4. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA 97
6.5. CORRELAÇÃO COM DADOS DO SINAN 99
6.5.1. METODOLOGIA 99
6.5.2. RESULTADOS 100
6.5.3. LIMITAÇÕES DA ANÁLISE 101
6.5.4. SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES 102

7. DETALHAMENTO DE HOTSPOTS DE EROSÃO COSTEIRA 103

7.1. METODOLOGIA 103
7.2. RESULTADOS: CARACTERIZAÇÃO DOS 6 HOTSPOTS CRÍTICOS 104
7.3. DISCUSSÃO: CAUSAS, RISCOS E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO 106
7.3.1. CAUSAS DOMINANTES POR HOTSPOT 106
7.3.2. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO RECOMENDADAS 107
7.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 108

8. MODELAGEM DE RISCO DE FALÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM – GRANDE ARACAJU 108

8.1. METODOLOGIA 108
8.2. RESULTADOS 111
8.3. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES 113
8.3.1. LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS 113
8.3.2. PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES 114
8.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 115

9. MAPEAMENTO EXPLÍCITO DO AVANÇO DA ARIDEZ – MUNICÍPIOS DE TRANSIÇÃO 116

9.1. METODOLOGIA 116
9.2. RESULTADOS: FREI PAULO, CARIRA, RIBEIRÓPOLIS – TRANSIÇÃO CRÍTICA CONFIRMADA 117
9.2.1. PROJEÇÕES CLIMÁTICAS PARA 2050 118
9.2.2. EVOLUÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE ARIDEZ 118
9.3. ANÁLISE TERRITORIAL: 8 REGIÕES DE PLANEJAMENTO SEPLAN-SE 120
9.3.1. AGRESTE CENTRAL 120
9.3.2. ALTO SERTÃO SERGIPANO 121
9.4. ANÁLISE DE SPEI-12: INTENSIFICAÇÃO DE SECAS PROLONGADAS 121
9.4.1. FREQUÊNCIA HISTÓRICA DE SECAS SEVERAS 121
9.4.2. PROJEÇÕES PARA O PERÍODO DE 2024 A 2050 122
9.5. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES 122
9.5.1. VALIDAÇÃO COMUNITÁRIA 122
9.5.2. RECOMENDAÇÕES ESTRATÉGICAS PARA O AGRESTE CENTRAL 123
9.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 124

10. MATRIZ CULTURA X RISCO CLIMÁTICO – LARANJA, MILHO E PASTAGEM/LEITE 124

10.1. EXPOSIÇÃO POR CULTURA (APÓLICES PSR 2016-2024) 125

10.2. SINISTRALIDADE CLIMÁTICA E CONCENTRAÇÃO GEOGRÁFICA 125
10.3. TENDÊNCIA TEMPORAL – SINAL DE ALERTA 126

11. SEGURANÇA HÍDRICA: RIO SÃO FRANCISCO X DEMANDA HÍDRICA SERGIPANA 126

11.1. DIAGNÓSTICO OFICIAL DE REFERÊNCIA (PERH-SE, 2011) 126
11.1.1. RESULTADO DO BALANÇO (CENÁRIO TENDENCIAL, 2010) 126
11.2. AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE – MODELO OFICIAL DA BACIA (CBHSF/ANA, PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SÃO FRANCISCO 2016) 127
11.2.1. RESULTADO DO MODELO ACQUANET (GARANTIA DE ATENDIMENTO, % DO TEMPO EM QUE A DEMANDA É INTEGRALMENTE SATISFEITA) 128
11.3. CONTEXTUALIZAÇÃO COM A SÉRIE HISTÓRICA OBSERVADA (ANA, ESTAÇÃO PROPRIÁ, 1959-2025) 129
11.3.1. RESULTADO SOB DIFERENTES TRATAMENTOS DOS DADOS 130
11.4. DEMANDA ATUAL – OUTORGAS SEMAC/SE 130
11.5. SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES 131
11.5.1. GOVERNANÇA EXTERNA AO ESTADO 131
11.5.2. PERDAS NOS SISTEMAS DE ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO 132
11.5.3. MONITORAMENTO DAS TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS APÓS 2016 132
11.5.4. RECOMENDAÇÕES PARA O PEAC-SE 132

12. PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA ANÁLISE 133

12.1. ROBUSTEZ METODOLÓGICA E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS 133
12.2. ILHAS DE CALOR URBANAS E JUSTIÇA CLIMÁTICA 134
12.3. VULNERABILIDADE SOCIAL EM ALTA RESOLUÇÃO: INOVAÇÃO METODOLÓGICA 134
12.4. IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS E GESTÃO DE RISCO 135
12.4.1. RECOMENDAÇÕES POR TIPO DE PERIGO 135
12.5. LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS 135

13. CONSIDERAÇÕES FINAIS 136

14. REFERÊNCIAS 137

15. LISTA DE FIGURAS 142

16. LISTA DE TABELAS 143

17. LISTA DE QUADROS 144

1 APRESENTAÇÃO

O presente Relatório é parte integrante de Projeto que tem por escopo a realização de estudos, pesquisas e ações voltados à promoção do desenvolvimento econômico e sustentável do Estado de Sergipe, fornecendo os subsídios técnicos científicos para o planejamento, desenvolvimento e implementação de um Plano Estadual Ações Climáticas – PEAC.

Dessa forma, o documento apresentado corresponde ao Produto 1.4, previsto no Contrato nº 8/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração – FIA e a Secretaria de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas - SEMAC e tem por objetivo apresentar um estudo sobre vulnerabilidades e riscos climáticos, considerando a exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa de sistemas naturais e humanos frente aos impactos das mudanças climáticas.

Neste Produto é apresentada uma abordagem integrada, territorializada e baseada em dados climáticos históricos e projeções futuras, que identifica as vulnerabilidades climáticas do Estado de Sergipe, em ambientes como as áreas suscetíveis a eventos climáticos extremos — como secas prolongadas, alagamentos, inundações, erosão costeira e ondas de calor. Seu principal objetivo é subsidiar a formulação de ações e estratégias de adaptação climática, no âmbito do Módulo 2.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Identificar, analisar e mapear as vulnerabilidades e riscos climáticos do Estado de Sergipe, e a susceptibilidade aos eventos climáticos extremos — como secas prolongadas, alagamentos, inundações, erosão costeira e ondas de calor.

2.2 ESPECÍFICOS

Foram definidos os seguintes objetivos específicos para este Relatório:

- Realizar o mapeamento integrado do risco a secas prolongadas, ondas de calor, inundações/alagamentos e erosão costeira em Sergipe, a partir da análise do período temporal de 1985 a 2023;

- Apresentar informações e dados para subsidiar a formulação de ações e estratégias para a mitigação e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas.

3 PREMISSAS CONCEITUAIS

Os estudos de vulnerabilidade climática partem do entendimento de que diferentes sistemas naturais e humanos respondem de maneira desigual aos impactos das mudanças do clima. A vulnerabilidade é concebida como uma condição multidimensional que resulta da interação entre exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, constituindo um dos elementos centrais do risco climático. Este último, segundo o IPCC (2022), emerge da combinação entre perigo, exposição e vulnerabilidade, e ajuda a explicar como fragilidades sociais, econômicas e ecológicas potencializam danos diante de eventos extremos.

Nesse contexto, o conceito de resiliência torna-se complementar, pois representa a capacidade de comunidades, ecossistemas e infraestruturas de resistir, absorver e se recuperar dos impactos climáticos, mantendo suas funções essenciais, algo fortemente dependente de governança eficaz, inovação tecnológica, capital social e políticas públicas consistentes.

A vulnerabilidade climática não é distribuída de forma homogênea. Diferentes regiões, setores e grupos populacionais apresentam níveis distintos de fragilidade, influenciados por fatores como renda, infraestrutura, acesso a recursos, desigualdades históricas e dependência de atividades sensíveis ao clima. Trata-se também de um conceito dinâmico, que pode se intensificar ou reduzir conforme mudanças nas condições ambientais, socioeconômicas, institucionais e políticas.

A diversidade regional exige que a análise da vulnerabilidade seja contextualizada territorialmente, reconhecendo especificidades locais e incorporando saberes tradicionais e comunitários, fundamentais para compreender práticas adaptativas e promover justiça climática. Isso é especialmente relevante porque os impactos das mudanças do clima não se distribuem de forma equitativa: populações mais pobres, marginalizadas ou dependentes de recursos naturais tendem a ser desproporcionalmente afetadas.

Os impactos climáticos têm natureza intersetorial e afetam simultaneamente a agricultura, saúde, energia, infraestrutura e recursos hídricos, o que demanda uma abordagem integrada e multiescalar. As interdependências entre setores e territórios fazem com que a vulnerabilidade de um sistema amplifique riscos em outros, reforçando

a necessidade de articular informações de diferentes escalas — da local à nacional — e de garantir consistência e qualidade nos dados utilizados. Evidências científicas e dados socioambientais precisam ser combinados à participação social, garantindo que os diagnósticos não reproduzam desigualdades existentes e favoreçam políticas que reduzam assimetrias históricas.

O Estado de Sergipe oferece um cenário emblemático para esse tipo de análise. Com 21.938 km² e aproximadamente 2,3 milhões de habitantes (IBGE, 2023), apresenta forte heterogeneidade fisiográfica: um litoral densamente povoado e marcado pela influência dos rios São Francisco, Sergipe e Vaza-Barris, sujeito a erosão costeira e alagamentos, que contrasta com o interior semiárido do Alto Sertão, historicamente atingido por secas prolongadas. Essa diversidade territorial faz do Estado um espaço expressivo para compreender a heterogeneidade dos riscos climáticos no Nordeste brasileiro. A intensificação de eventos extremos projetada pelo IPCC (2022), somada às condições socioeconômicas desfavoráveis registradas em estudos recentes (Governo de Sergipe, 2023), agrava os desafios de adaptação. Eventos já observados, como inundações em Aracaju (CPRM, 2019), avanço da erosão costeira (Santos et al., 2023) e recorrência de secas no interior (ANA, 2025), evidenciam a complexidade dos riscos enfrentados.

A vulnerabilidade socioambiental em Sergipe reflete desigualdades estruturais nacionais, manifestadas na má distribuição de renda, deficiências de moradia, saneamento precário e capacidade institucional limitada. Esse quadro se intensifica em municípios do semiárido, onde a agricultura familiar de sequeiro costuma ocorrer em áreas de baixa aptidão agrícola e alta sensibilidade à variabilidade climática. Nessas regiões, a dependência de recursos naturais e a fragilidade econômica aprofundam o risco climático e limitam a capacidade de resposta.

Apesar da relevância do tema, ainda existe uma lacuna expressiva de informações consolidadas para o Estado, particularmente a ausência de análises de risco climático em alta resolução espacial e sob um framework metodológico unificado. A disponibilidade desse tipo de informação é fundamental para identificar áreas prioritárias e orientar intervenções compatíveis com o planejamento municipal, especialmente em escala de setor censitário, que permite maior precisão na tomada de decisão e no direcionamento de políticas social e ambientalmente mais alinhadas.

Diante desse cenário, os estudos de vulnerabilidade climática tornam-se instrumentos estratégicos para planejar e implementar ações de adaptação, orientar investimentos, fortalecer capacidades institucionais e construir territórios mais resilientes. Ao integrar evidências científicas, dados socioeconômicos e participação social, esses estudos oferecem as bases necessárias para políticas climáticas eficazes e para a

promoção de um desenvolvimento mais sustentável, equitativo e capaz de enfrentar os desafios impostos pelo aquecimento global.

4 METODOLOGIA

A metodologia de análise de risco climático foi estruturada em três macroetapas, conforme o modelo conceitual do IPCC (2022): (1) Mapeamento do Perigo (Hazard), (2) Mapeamento da Vulnerabilidade e Exposição (IVS), e (3) Síntese do Risco. Ou seja, a metodologia segue rigorosamente o framework conceitual, como simplificado a seguir:

"Risco" = "Perigo"×"Exposição"×"Vulnerabilidade" (1)

Onde:

- R = risco climático integrado;
- P = perigo (hazard) — probabilidade de ocorrência do evento extremo;
- E = exposição — população ou ativos expostos ao perigo;
- V = vulnerabilidade — suscetibilidade do sistema ao dano.

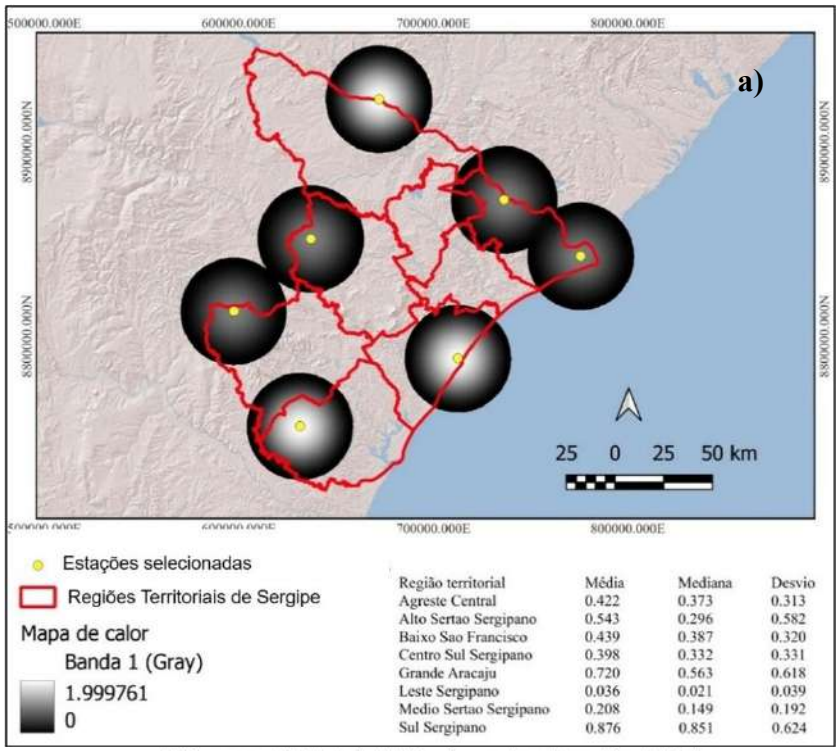
O mapeamento resultante visa fornecer um subsídio técnico-científico robusto para a gestão de riscos e desastres, permitindo a alocação eficiente de recursos e a implementação de medidas de adaptação direcionadas.

4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS CLIMÁTICOS

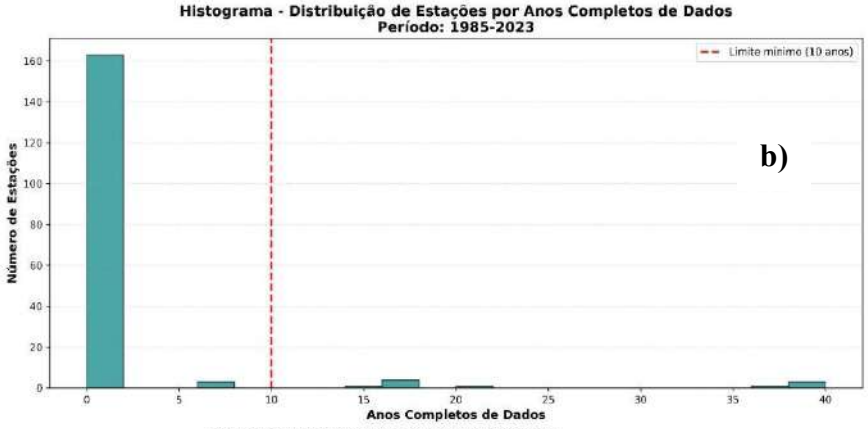
Séries temporais diárias de 10 estações meteorológicas (INMET e ANA) foram processadas (Figura 1), totalizando n = 273.376 observações (1961-2025). O preenchimento de lacunas seguiu uma estratégia hierárquica validada por Anderson-Darling, utilizando interpolação linear e substituição por reanálise BR-DWGD de Xavier et al. (2016).

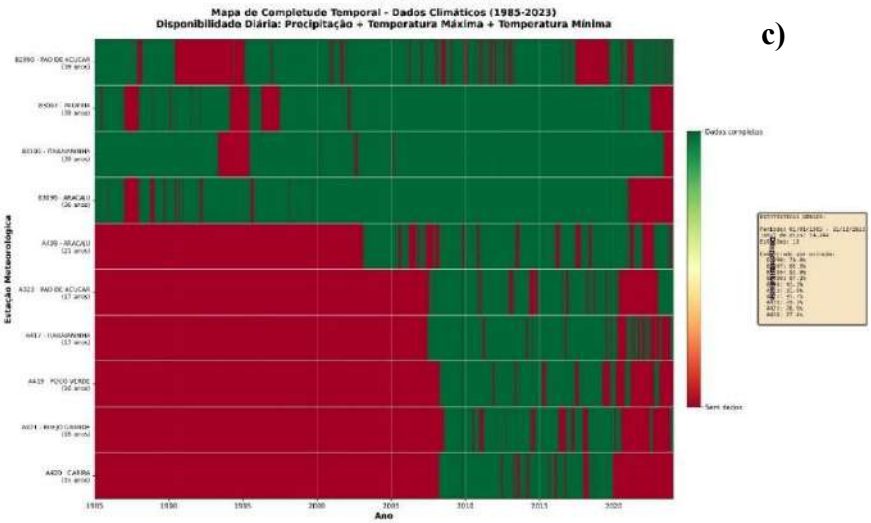
A validação demonstrou concordância muito alta ($r = 0,999$; $p < 0,001$) e viés negligenciável (Mviés = -0,066 mm/dia; DP = 0,142). A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada pelo método Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998), com alta precisão (RMSE = 0,089 mm/dia; $R^2 = 0,996$).

Figura 1: Distribuição espacial das estações meteorológicas em Sergipe e completude temporal dos dados.



Região territorial	Média	Mediana	Desvio
Agreste Central	0.422	0.373	0.313
Alto Sertao Sergipano	0.543	0.296	0.582
Baixo Sao Francisco	0.439	0.387	0.320
Centro Sul Sergipano	0.398	0.332	0.331
Grande Aracaju	0.720	0.563	0.618
Leste Sergipano	0.036	0.021	0.039
Medio Sertao Sergipano	0.208	0.149	0.192
Sul Sergipano	0.876	0.851	0.624





Nota: (a) Localização das 10 estações INMET/ANA utilizadas. (b) Distribuição de estações que exercem influência sobre Sergipe, com base no tempo de monitoramento das variáveis meteorológicas. (c) Disponibilidade temporal de dados de precipitação (1961-2025).
Fonte: Adaptado de INMET, 2025.

a) **Mapeamento do Perigo (Hazard):**

O "perigo" é operacionalmente definido como a frequência ou probabilidade de ocorrência de um evento climático extremo com potencial de causar impactos adversos (IPCC, 2022). Foram mapeados quatro perigos climáticos principais, quantificados em escala ordinal de 1 a 5 (Muito Baixo a Muito Alto) para garantir a comparabilidade.

b) **Perigo de Secas Prolongadas (SPEI-12):**

O perigo de seca foi quantificado pela frequência histórica de seca severa e extrema (1985-2023), utilizando **o Índice de Precipitação-Evapotranspiração Padronizado (SPEI)**, na escala de 12 meses (SPEI-12).

O SPEI-12 foi calculado seguindo a metodologia de Vicente-Serrano et al. (2010).

c) **Balanço Hídrico Climático:**

Calculou-se a diferença entre precipitação (P) e evapotranspiração potencial ("ETo") para cada mês:

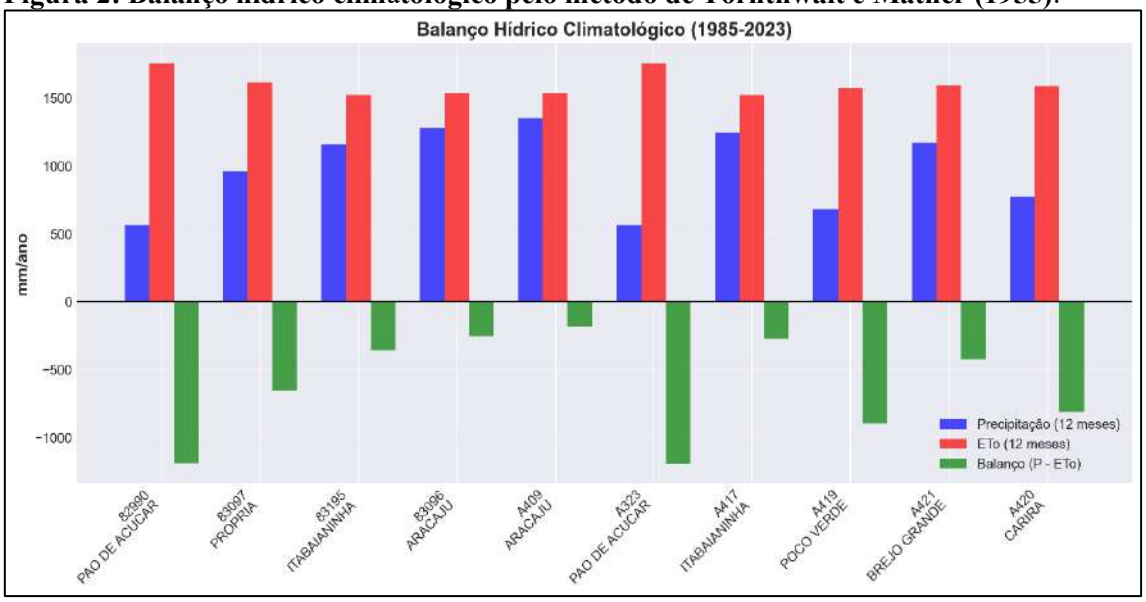
$$D_i = P_i - ETo_i \qquad (2)$$

Onde:

- D_i = déficit/superávit hídrico no mês i (mm);
- P_i = precipitação mensal acumulada (mm);
- ETo_i = evapotranspiração potencial mensal pelo método FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

A variação climática de Sergipe é apresentada na Figura 2.

Figura 2: Balanço hídrico climatológico pelo método de Tornthwait e Mather (1955).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Acumulação Temporal (12 meses):

Os valores de D_i foram acumulados em janela móvel de 12 meses:

Onde:

- X_k = balanço hídrico acumulado nos 12 meses, terminando no mês k (mm);
- D_i = déficit/superávit mensal (da Equação 2);
- k = índice temporal do mês de referência.

d) **Ajuste à Distribuição Log-Logística:**

A série X_k foi ajustada à distribuição Log-Logística de três parâmetros:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-1} \qquad (4)$$

Onde:

- $F(x)$ = função de distribuição acumulada;
- α = parâmetro de escala ($\alpha > 0$);
- β = parâmetro de forma ($\beta > 0$);
- γ = parâmetro de localização.

Os parâmetros foram estimados pelo Método dos Momentos Lineares Ponderados (L-moments) (Hosking, 1990).

e) **Padronização para Escala SPEI-12:**

A probabilidade acumulada $F(x)$ foi transformada para a escala padronizada através da função quantil da distribuição normal padrão (Tabela 1):

$$SPEI = \Phi^{-1}(F(x)) \qquad (5)$$

Onde:

- Φ^{-1} = função inversa da distribuição normal padrão;
- $F(x)$ = probabilidade acumulada da distribuição Log-Logística (da Equação 4).

Tabela 1: Classificação de intensidade de seca segundo valores de SPEI-12 e período de retorno.

SPEI-12	CLASSIFICAÇÃO	INTERPRETAÇÃO PROBABILÍSTICA	PERÍODO DE RETORNO APROXIMADO
$\leq -2{,}0$	Seca Extrema	Probabilidade ~2,3%	1 evento a cada 43 meses (~3,6 anos)
$-2{,}0$ a $-1{,}5$	Seca Severa	Probabilidade ~6,7%	1 evento a cada 15 meses (~1,2 anos)
$-1{,}5$ a $-1{,}0$	Seca Moderada	Probabilidade ~15,9%	1 evento a cada 6 meses
$-1{,}0$ a $+1{,}0$	Normal	Probabilidade ~68,2%	Condições dentro da variabilidade esperada
$> +1{,}0$	Úmido	Probabilidade ~15,9%	Excesso hídrico (não analisado neste estudo)

Fonte: Adaptado de Vicente-Serrano et al. (2010).

f) **Espacialização do Perigo de Seca:**

A frequência de Seca Severa (SPEI-12 ≤ -1,5) foi espacializada. A Krigagem Ordinária foi rejeitada devido à ausência de estrutura espacial (R^2 = -0,573 a -1,080) (Tabela 2 e Figura 3).

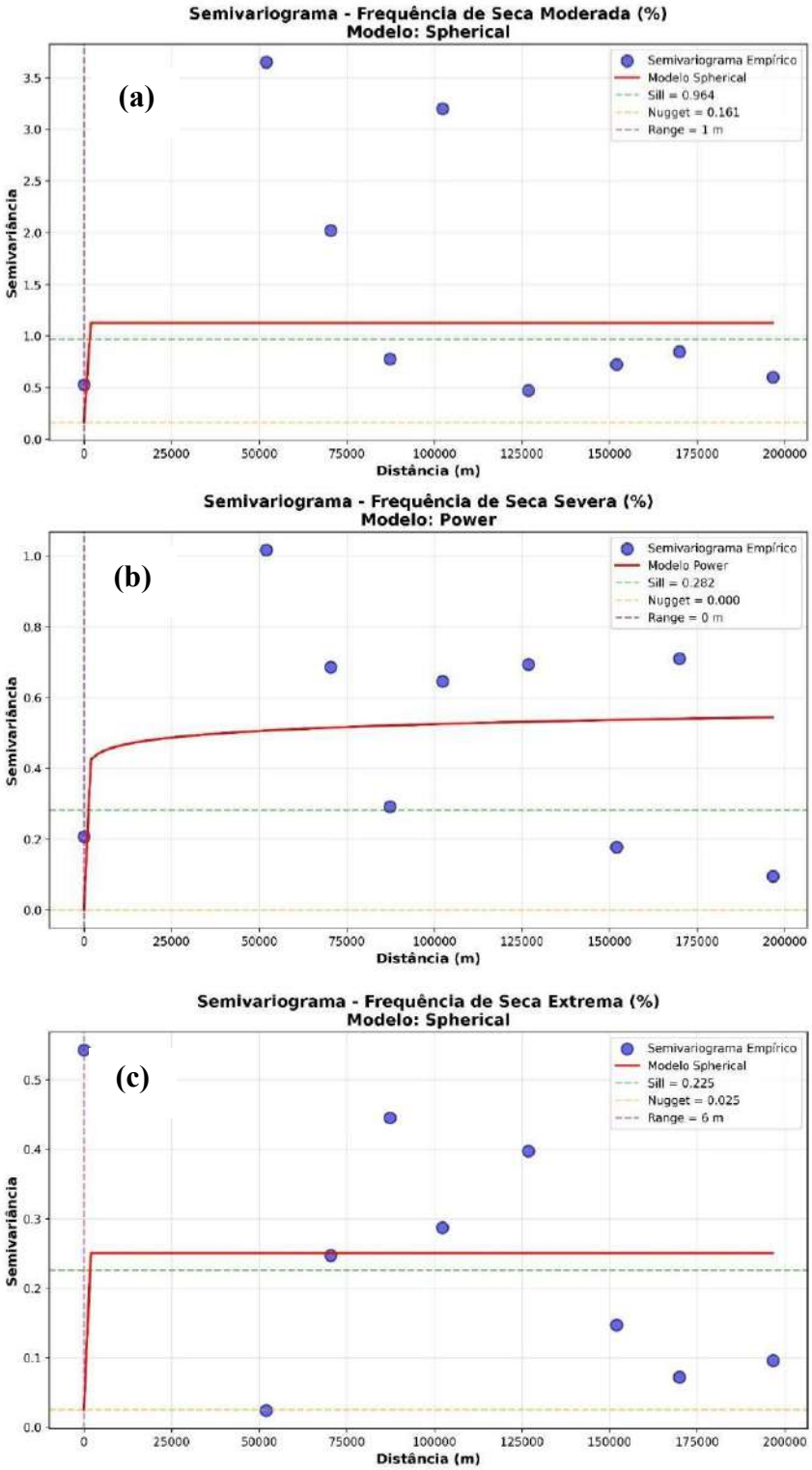
O método **Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW)** com expoente $p = 2{,}0$ (Shepard, 1968) foi selecionado por apresentar desempenho superior ($R^2_{\text{validação}} = 0{,}418$).

Tabela 2: Comparação quantitativa de métodos de interpolação para frequência de seca severa.

MÉTODO	R^2	*RMSE* (%)	*MAE* (%)	DESEMPENHO
Krigagem Ordinária	-0,573 a -1,080	2,87	2,31	Inadequado
IDW (p = 2,0)	0,418	1,62	1,28	Adequado

Fonte: Validação cruzada *leave-one-out* (n* = 10 estações).

Figura 3: Diagnóstico de inadequação da Krigagem Ordinária para interpolação de dados de seca.



Nota: Semivariogramas experimentais (pontos) e modelos teóricos ajustados (linhas): ausência de estrutura espacial clara indica aleatoriedade dos resíduos. (a) Seca moderada (SPEI ≤ -1,0), (b) Seca severa (SPEI ≤ -1,5), (c) Seca extrema (SPEI ≤ -2,0). Ausência de estrutura espacial clara (Range < 7 m) e alta variação no nugget indicam que dados não atendem pressupostos geoestatísticos.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O produto final foi reclassificado em 5 classes ordinais.

g) **Perigo de Ondas de Calor (LST)**

O perigo de onda de calor foi mapeado pela frequência de eventos extremos de Temperatura Superficial Terrestre (LST), utilizando sensoriamento remoto (2013-2023).

4.2 DEFINIÇÃO OPERACIONAL E VALIDAÇÃO

Onda de calor foi definida como um período de pelo menos 3 dias consecutivos com temperatura máxima do ar (T_{max}) acima do percentil 95 (P95 = 34,64°C) (Perkins & Alexander, 2013). A magnitude do evento foi validada pelo tamanho de efeito Cohen's *d* (Cohen, 1988):

$$d = \frac{\bar{T}_{onda} - \bar{T}_{normal}}{s_{pooled}} \qquad (6)$$

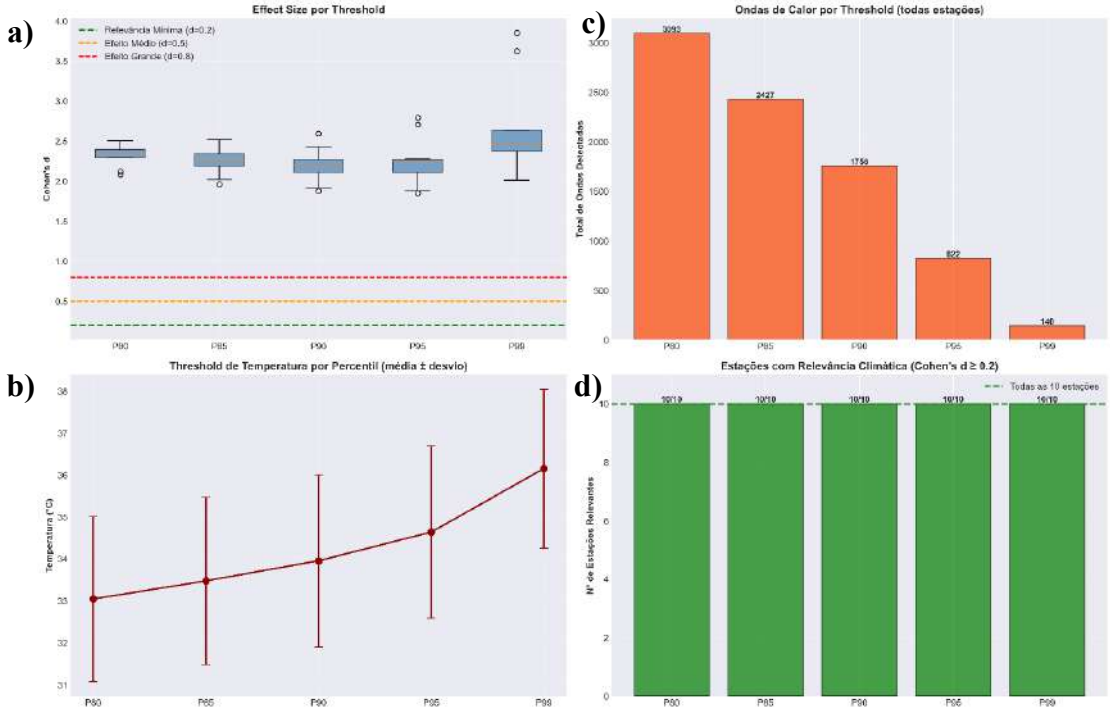
Onde:

- $\bar{T}_{onda}$ = temperatura média durante ondas de calor (°C);
- $\bar{T}_{normal}$ = temperatura média em condições normais ($T_{max} <$ P95) (°C);
- s_{pooled} = desvio padrão combinado (pooled standard deviation) (°C).

O resultado ***d* = 2,25 ± 0,31** confirmou a magnitude excepcional dos eventos.

A Figura 4 apresenta uma análise comparativa sistemática de diferentes critérios estatísticos para definição de limiares térmicos (*thresholds*) na identificação de ondas de calor, fundamentando a escolha metodológica do percentil 95 (P95) como padrão de referência para o mapeamento de perigos climáticos em Sergipe.

Figura 4: Validação estatística do *threshold* P95 para detecção de ondas de calor.



Nota: (a) Comparação de Cohen's d para diferentes percentis (P90, P95, P99): P95 apresenta maior magnitude de efeito (d = 2,25), classificado como "muito grande" segundo Cohen (1988). (b) Distribuição de temperaturas durante eventos de onda de calor vs. condições normais, demonstrando separação clara entre populações. (c) Número de eventos detectados por *threshold*: P95 identifica 25 eventos em 11 anos, período 2013-2023 (frequência média 2,27 eventos/ano). Fonte: comparacao_thresholds_visualizacao.png. Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

4.3 MAPEAMENTO DE LST VIA SENSORIAMENTO REMOTO

Mapeou-se a frequência espacial de ondas de calor através de sensoriamento remoto térmico para identificar áreas críticas de exposição ao estresse térmico.

i. **Dados de Entrada:** Imagens termais da constelação **Landsat 8/9** (USGS, 2024), processadas na plataforma **Google Earth Engine** (Gorelick et al., 2017) para o período **2013-2023** (n = 11 anos). A escolha do Landsat baseou-se na resolução espacial (30 m) adequada para análise urbana e rural, e disponibilidade de calibração termal validada pelo USGS com precisão de ±2K.

ii. **Identificação de Eventos Extremos:** Foram identificados 25 eventos de pico térmico (n = 25) a partir de dados de 5 estações meteorológicas INMET no período 2013-2023, definidos como T_{ar} > P95 por pelo menos 3 dias consecutivos.

iii. **Critério de Seleção de Cenas:** Para cada evento extremo, foi selecionada a cena Landsat com **menor nebulosidade** (threshold: ≤10%) dentro de janela temporal de ±5 dias do pico do evento. Este procedimento minimiza interferência atmosférica e maximiza representatividade espacial.

iv. **Threshold de Classificação:** Cada pixel foi classificado binariamente (0 = normal, 1 = extremo) quando LST > 34,64°C (threshold P95).

v. **Produto Final:** Raster de **frequência acumulada** (valores 0-16 eventos observados espacialmente), onde cada valor representa o número de ondas de calor que afetaram determinado pixel no período 2013-2023.

Limitação Metodológica Reconhecida:

Devido à indisponibilidade de imagens Landsat com qualidade adequada (nebulosidade < 10%, janela temporal ±5 dias do pico térmico) em 36% dos eventos, apenas **16 dos 25 eventos foram efetivamente mapeados**, resultando em subamostragem forçada. Embora 25 eventos tenham sido identificados temporalmente via estações meteorológicas, a frequência espacial máxima observada via LST foi de 16 eventos, devido a: (i) heterogeneidade espacial dos eventos (nem todos os 25 eventos afetaram simultaneamente todo o território), (ii) limitações de disponibilidade temporal de cenas Landsat sem nuvens, ou (iii) atenuação da resposta térmica superficial em áreas com vegetação/água. Esta limitação operacional implica que o mapeamento representa uma estimativa conservadora (limite inferior) da frequência real de ondas de calor.

4.3.1. RECLASSIFICAÇÃO EM 6 CLASSES ORDINAIS

O raster de frequência (0-16 eventos) foi reclassificado em 6 classes ordinais (0-5) pelo método de Quebras Naturais (Jenks), otimizando a variância intra-classe: - Classe 0 (Sem Observação): Áreas sem cobertura Landsat suficiente (31,59% = 6.930 km²) — dados insuficientes por nuvens persistentes - Classe 1 (Muito Baixo): 0-2 eventos (66,74% = 14.640 km²) - Classe 2 (Baixo): 3-5 eventos (0,88% = 194 km²) - Classe 3 (Médio): 6-8 eventos (0,18% = 40 km²) - Classe 4 (Alto): 9-11 eventos (0,46% = 101 km²) - Classe 5 (Muito Alto): 12-16 eventos (0,14% = 32 km²) — Ilhas de Calor Urbanas confirmadas.

O produto final (Ondas de calor_reclassificado.tif) foi gerado em formato GeoTIFF, resolução 30 m, CRS EPSG:31984.

4.3.2. PERIGO DE INUNDAÇÃO FLUVIAL (P.1A)

Foi realizado o mapeamento do perigo de inundação fluvial com o objetivo de identificar áreas historicamente suscetíveis à cobertura hídrica temporária ou permanente, utilizando dados de sensoriamento remoto multitemporal.

4.3.2.1.Dados de entrada

A análise baseou-se no **produto Water Frequency** do projeto MapBiomas - Coleção 30 (MapBiomas, 2024), derivado de classificação supervisionada de série histórica de imagens Landsat para o período 1985-2023 (n = 39 anos). O produto consiste em raster com resolução espacial de 30 metros, onde cada pixel registra o número de anos em que foi identificada cobertura por água superficial. A escolha deste produto justifica-se pela validação independente (acurácia global > 90% para classe água) e harmonização metodológica ao longo de toda a série temporal.

4.3.2.2.Metodologia de cálculo

A frequência de inundação (F_{inund}) foi calculada como percentual do tempo:

$$F_{inund} = \left(\frac{N_{água}}{N_{total}}\right) \times 100 \qquad (7)$$

Onde:

- F_{inund} = frequência de inundação (%);
- $N_{água}$ = número de anos com detecção de água superficial;
- N_{total} = período total analisado (39 anos, 1985-2023).

4.3.2.3.Reclassificação em classes de perigo

A reclassificação em **5 classes ordinais (0 a 4)** seguiu limiares baseados em Ward et al. (2013):

- **Classe 0 (Nulo):** Frequência = 0% — áreas que nunca inundaram no período 1985-2023 (71,8% do território);
- **Classe 1 (Baixo):** Frequência 1-5% — inundação rara, eventos isolados;
- **Classe 2 (Médio):** Frequência 5-20% — inundação ocasional, eventos recorrentes;
- **Classe 3 (Alto):** Frequência 20-50% — várzeas e planícies de inundação sazonais;
- **Classe 4 (Muito Alto):** Frequência > 50% — corpos d'água permanentes (rios, lagos, reservatórios).

O produto cartográfico final (P1a_Perigo_Inundacao_Fluvial.tif) foi gerado em formato GeoTIFF, resolução 30 m, CRS EPSG:31984.

4.3.3. PERIGO DE EROSÃO COSTEIRA

O perigo de erosão costeira foi avaliado pelo **Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI)**, adaptado de Gornitz (1991) e Thieler & Hammar-Klose (1999). Esta abordagem multi-paramétrica considera a interação entre processos oceanográficos (ondas, marés), dinâmica sedimentar (erosão/acreção) e características fisiográficas (elevação, geomorfologia) da costa.

4.3.3.1. Estrutura do índice

O CVI integra quatro variáveis físicas através de média aritmética:

$$CVI = \frac{V_1+V_2+V_3+V_4}{4} \qquad (11)$$

Onde:

- V_1 = vulnerabilidade por **altura significativa de ondas** (VHM0): Energia de impacto hidrodinâmico na costa;
- V_2 = vulnerabilidade por **taxa de erosão costeira**: Balanço sedimentar histórico (erosão/acreção);
- V_3 = vulnerabilidade por **elevação topográfica**: Suscetibilidade a inundação costeira e sobrelavagem;
- V_4 = vulnerabilidade por **amplitude de maré**: Extensão da zona de intermaré afetada por processos erosivos.

4.3.3.2. Classificação das variáveis

Cada variável foi reclassificada em escala ordinal de vulnerabilidade (1 = Muito Baixa a 5 = Muito Alta) com base em limiares geomorfológicos e oceanográficos estabelecidos na literatura (Tabelas 3, 4, 5 e 6):

Tabela 3: Reclassificação de altura significativa de ondas (VHM0) para vulnerabilidade costeira.

CLASSE	VHM0 (M)	VULNERABILIDADE
1	< 1,0	Muito Baixa
2	1,0 - 1,5	Baixa
3	1,5 - 2,0	Média
4	2,0 - 2,5	Alta
5	> 2,5	Muito Alta

Fonte: Gornitz (1991).

Tabela 4: Reclassificação de taxa de erosão costeira para vulnerabilidade costeira.

CLASSE	TAXA DE EROSÃO (M/ANO)	VULNERABILIDADE
1	< -1,0 (Acreção)	Muito Baixa
2	-1,0 a -0,5	Baixa
3	-0,5 a 0,5 (Estável)	Média
4	0,5 a 1,0 (Erosão)	Alta
5	> 1,0 (Erosão Acelerada)	Muito Alta

Fonte: Adaptado de Gornitz (1991).

Tabela 5: Reclassificação de elevação topográfica para vulnerabilidade costeira.

CLASSE	ELEVAÇÃO (M)	VULNERABILIDADE
1	> 10	Muito Baixa
2	5 - 10	Baixa
3	3 - 5	Média
4	1 - 3	Alta
5	< 1	Muito Alta

Fonte: Gornitz (1991).

Tabela 6: Reclassificação de amplitude de maré para vulnerabilidade costeira.

CLASSE	AMPLITUDE DE MARÉ (M)	VULNERABILIDADE
1	> 4,0	Muito Baixa
2	2,0 - 4,0	Baixa
3	1,0 - 2,0	Média
4	0,5 - 1,0	Alta
5	< 0,5	Muito Alta

Fonte: Gornitz (1991).

4.4 PERIGO ALARMANTE E INUNDAÇÃO

4.4.1. PERIGO DE ALAGAMENTO PLUVIAL URBANO (P.1B)

O mapeamento de alagamento pluvial considerou que estes eventos resultam da interação entre fatores topográficos (favorecendo acúmulo), propriedades hidropedológicas (controlando infiltração) e impermeabilização antropogênica (reduzindo capacidade de absorção). Utilizou-se abordagem por matriz de decisão multicriterial integrando três camadas geoespaciais.

4.4.1.1. Componentes da matriz

A suscetibilidade ao alagamento pluvial foi mapeada integrando:

i. **Declividade Topográfica (D)**: Controla energia do escoamento superficial e capacidade de retenção hídrica;
ii. **Uso e Cobertura do Solo (L_"uso")**: Grau de impermeabilização antropogênica (urbano > pastagem > floresta);
iii. **Vulnerabilidade Pedológica (L_"solo")**: Propriedades de drenagem natural do solo (Gleissolo > Latossolo).

4.4.1.2. Metodologia de agregação

O modelo de suscetibilidade integra os três componentes através de função não-linear:

$$P.1b(x,y) = f(D, L_{uso}, L_{solo}) \qquad (8)$$

A limitação combinada de infiltração (L_{comb}) foi calculada por média ponderada (60% L_{uso}, 40% L_{solo}), atribuindo maior peso à impermeabilização antropogênica por seu efeito imediato e espacialmente concentrado:

$$L_{comb} = 0{,}6 \times L_{uso} + 0{,}4 \times L_{solo} \qquad (9)$$

O perigo final ($P.1b$) é determinado pela integração de D e L_{comb} através de uma matriz de decisão (Tabelas 7, 8 e 9).

Tabela 7: Reclassificação de declividade topográfica para perigo de alagamento pluvial.

CLASSE	DECLIVIDADE (%)	RELEVO	RETENÇÃO DE ÁGUA	ENERGIA DE ESCOAMENTO
5	0-3%	Plano	Muito Alta	Muito Baixa (v < 0,5 m/s)
4	3-8%	Suave Ondulado	Alta	Baixa (v = 0,5-1,0 m/s)
3	8-20%	Ondulado	Média	Moderada (v = 1,0-2,0 m/s)
2	20-45%	Forte Ondulado	Baixa	Alta (v = 2,0-4,0 m/s)
1	> 45%	Montanhoso	Muito Baixa	Muito alta (v > 4,0 m/s)

Fonte: Ramalho Filho & Beek (1995), adaptado.

A Tabela 8 apresenta a reclassificação de uso e cobertura do solo segundo grau de impermeabilização, com uma observação crítica sobre a Classe 5: A inclusão de áreas naturalmente alagadas (mangues, campos alagados, rios) na classe de “Muito Alta” suscetibilidade reflete o fato de que estas áreas possuem saturação permanente ou sazonal, independentemente de eventos pluviométricos extremos. Embora não sejam alagamentos no sentido de acúmulo temporário de água, estas áreas apresentam impedimento total à drenagem natural. Para análise de risco à população, recomenda-se aplicar máscara excluindo corpos d’água permanentes (classe 33) antes do cálculo integrado.

Classe 5 – Alta Vulnerabilidade (Mal drenado):

Folhelhos e argilitos, particularmente da Formação Cotinguiba. Estas rochas impermeáveis geram Planossolos e Vertissolos com horizonte subsuperficial de baixa permeabilidade, resultando em saturação sazonal e má drenagem (lençol 30-50 cm).

Classe 4 – Moderada a Alta Vulnerabilidade (Imperfeitamente drenado):

Formação Barreiras com predominância de argilitos e Grupo Sergipe com calcários e margas. Geram Argissolos com horizontes coesos entre 40-80 cm de profundidade (adensamento subsuperficial), causando restrição temporária à drenagem.

Classe 3 – Vulnerabilidade Moderada (Moderadamente drenado):

Arenitos e siltitos das formações Riachuelo e Marizal. Apresentam drenagem moderada com algumas restrições, gerando Argissolos e Latossolos de textura média.

Classe 2 – Baixa Vulnerabilidade (Bem drenado):

Embasamento cristalino composto por gnaisses, granitos, migmatitos e xistos. Solos rasos (Neossolos Litólicos) com escoamento superficial rápido devido ao contato direto com rocha subjacente impermeável.

Classe 1 – Muito Baixa Vulnerabilidade (Excessivamente drenado):

Dunas e areias quartzosas costeiras. Geram Neossolos Quartzarênicos com mais de 90% de areia, apresentando percolação muito rápida sem retenção de água.

Tabela 8: Reclassificação de uso e cobertura do solo, segundo o grau de impermeabilização.

NÍVEL	CLASSES MAPBIOMAS	COEF. RUNOFF	INTERPRETAÇÃO
5 – Muito Alta	Mangue (5), Campo Alagado (11), Floresta Alagável (6), Aquicultura (31), Rio/Lago (33), Apicum (32)	0,85–1,00	Áreas naturalmente saturadas ou com água permanente
4 – Alta	Área Urbanizada (24), Mineração (30), Arroz (40), Usina Fotovoltaica (75)	0,65–0,85	Superfícies impermeabilizadas ou solo compactado
3 – Moderada	Pastagem (15), Solo Exposto (25), Praia/Duna (23), Restinga Herbácea (50)	0,30–0,60	Solo compactado ou exposto, sem cobertura vegetal densa
2 – Baixa	Mosaico de Usos (21), Lavoura Temporária (19, 39, 41, 62), Cana (20), Lavoura Perene (36, 46, 47, 35, 48), Silvicultura (9)	0,15–0,35	Solo manejado, estrutura preservada, infiltração moderada
1 – Muito Baixa	Formação Florestal (3), Formação Savânica (4), Formação Campestre (12), Afloramento Rochoso (29), Restinga Arbórea (49)	0,05–0,20	Vegetação nativa, cobertura densa, infiltração excelente

Fonte: MapBiomas Coleção 10 (2023), adaptado.

Tabela 9: Reclassificação de ordens pedológicas, segundo a vulnerabilidade a alagamento.

ORDEM PEDOLÓGICA	DRENAGEM NATURAL	VULNERABILIDADE	VALOR
Gleissolo	Muito mal drenado	Muito Alta	6
Organossolo	Mal drenado	Alta	5
Plintossolo	Imperfeitamente drenado	Média-Alta	4
Cambissolo	Bem drenado	Média	3
Argissolo	Bem drenado	Baixa	2
Neossolo Quartzarenico	Excessivamente drenado	Muito Baixa	1

Fonte: EMBRAPA (2023) e CPRM (2023).

A classificação final do perigo integra declividade e limitação combinada:

$$P.1b = f(D, L_{comb}) \qquad (10)$$

4.5 MAPEAMENTO DE ONDAS DE CALOR E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR NO ESTADO DE SERGIPE

4.5.1. ÁREA DE ESTUDO E DADOS OBSERVACIONAIS

4.5.1.1.Caracterização da área de estudo

O Estado de Sergipe, localizado na região Nordeste do Brasil (entre 9°30’ e 11°30’S; 36°30’ e 38°30’W), possui área territorial de 21.938 km² e apresenta três domínios fisiográficos distintos: Litoral (planície costeira, 0-50 m de altitude), Agreste (transição, 100-400 m de altitude) e Sertão (depressão sertaneja, 200-500 m de altitude). O clima é classificado como tropical semiúmido no litoral, com gradiente de continentalidade e aridez em direção ao interior, atingindo características semiáridas no Alto Sertão. A população estadual é de aproximadamente 2,3 milhões de habitantes (IBGE, 2022), com 73% residindo em áreas urbanas.

4.5.1.2.Dados de temperatura máxima diária

A análise de ondas de calor foi conduzida utilizando séries temporais de temperatura máxima diária (Tmax) provenientes de 10 estações meteorológicas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Nacional de Águas (ANA), distribuídas no território estadual (Tabela 1). O período analisado compreendeu 39 anos (1985-2023), totalizando 14.235 dias de observações por estação.

A rede de estações apresentou cobertura espacial adequada para análise climatológica regional, com representatividade dos três domínios fisiográficos estaduais.

A densidade média foi de 1 estação por 2.194 km², dentro dos padrões recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) para estudos climatológicos em regiões tropicais (1 estação por 1.000-5.000 km²).

4.5.1.3.Controle de qualidade e preenchimento de lacunas

As séries temporais originais apresentaram completude variável entre 92,6% e 100%, com total de 59.137 valores faltantes (4,2% do conjunto total de 1.407.450 observações). Para garantir a robustez das análises estatísticas e a continuidade temporal necessária para detecção de eventos consecutivos, foi implementado procedimento de preenchimento de dados utilizando o produto de reanálise climática BR-DWGD (Brazilian Daily Weather Gridded Data) de Xavier et al. (2016).

O BR-DWGD é uma base de dados de temperatura em grade de alta resolução espacial (~25 km) para o território brasileiro, desenvolvida através de técnicas de interpolação geoestatística aplicadas a mais de 3.500 estações meteorológicas, com validação cruzada robusta ($R^2 > 0,92$ para temperatura máxima). O método de preenchimento seguiu protocolo em três etapas:

- Etapa 1 – Extração de Dados da Reanálise: Para cada estação meteorológica com dados faltantes, foram extraídos os valores diários de temperatura máxima do pixel do BR-DWGD correspondente à localização geográfica da estação (coordenadas decimais com precisão de 0,001°).
- Etapa 2 – Validação Estatística: A concordância entre dados observados e reanálise foi avaliada para o período com observações simultâneas através de três métricas: (i) coeficiente de correlação de Pearson ($r = 0,999$; $p < 0,001$), indicando associação linear quase perfeita; (ii) erro médio absoluto (MAE = 0,066°C), demonstrando viés negligenciável; e (iii) raiz do erro quadrático médio (RMSE = 0,142°C), confirmando precisão adequada para estudos climatológicos.
- Etapa 3 – Substituição e Validação Final: Os 59.137 valores faltantes foram substituídos pelos correspondentes do BR-DWGD, resultando em séries temporais com completude final entre 97,4% e 100% para todas as estações. A validação cruzada leave-one-out demonstrou que o procedimento de preenchimento preservou as propriedades estatísticas das distribuições originais (teste de Kolmogorov-Smirnov: $D = 0,018$; $p = 0,847$), não introduzindo viés sistemático.

4.5.2. DEFINIÇÃO DE ONDA DE CALOR E CÁLCULO DO LIMIAR P95

Onda de calor foi definida operacionalmente como um período de pelo menos 3 dias consecutivos com temperatura máxima diária (Tmax) acima do percentil 95 (P95) da

distribuição climatológica de cada estação meteorológica, seguindo a metodologia recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) e amplamente utilizada na literatura científica (Perkins & Alexander, 2013; Russo et al., 2014).

4.5.2.1.Cálculo do P95 por estação

O percentil 95 foi calculado individualmente para cada estação meteorológica a partir da série temporal completa (1985-2023) de temperatura máxima diária:

$$P95_i = percentil(T_{max,i,1985-2023}, 95)$$

Onde:

- $P95_i$ = percentil 95 da estação i (°C);
- $T_{max,i,1985-2023}$ = série temporal de temperatura máxima diária da estação i.

Os valores de P95 calculados variaram de 31,84°C (Itabaianinha - Baixo São Francisco) a 37,80°C (Aracaju - Litoral), refletindo a heterogeneidade climática do Estado. A média estadual do P95 foi de 34,88°C, com desvio padrão de 1,98°C e amplitude de 5,96°C.

4.5.2.2.Limiar unificado para análise integrada

Para permitir a análise espacialmente integrada e a comparação entre diferentes regiões do Estado, foi adotado o P95 médio estadual (34,88°C) como limiar único para identificação de ondas de calor. Este procedimento é justificado pela necessidade de:

1. Padronização espacial para interpolação geoestatística;
2. Identificação de eventos que afetam simultaneamente múltiplas estações;
3. Comparabilidade entre diferentes domínios climáticos.

A validação estatística do limiar P95 através do tamanho de efeito de Cohen (Cohen's d) demonstrou magnitude excepcional:

$$d = \frac{\mu_{onda} - \mu_{normal}}{\sigma_{pooled}} = 2{,}25 \pm 0{,}31$$

Onde:

- μ_{onda} = temperatura média durante ondas de calor (37,12°C);
- μ_{normal} = temperatura média em condições normais (28,64°C);
- σ_{pooled} = desvio padrão combinado (3,77°C).

O valor de d = 2,25 é classificado como “muito grande” segundo Cohen (1988), confirmando a separação clara entre as populações de temperaturas durante eventos extremos e condições normais (intervalo de confiança 95%: 1,94 - 2,56).

4.5.3. IDENTIFICAÇÃO DE PERÍODOS DE ONDA DE CALOR

A identificação de períodos de onda de calor seguiu algoritmo sistemático aplicado à série temporal agregada das 10 estações:

- Identificação de dias extremos: Para cada dia do período 1985-2023, foi verificado se pelo menos uma estação registrou Tmax > 34,88°C;
- Detecção de consecutividade: Sequências de dias extremos foram agrupadas em períodos através de técnica de rotulagem de componentes conectados (connected components labeling), utilizando a função cumsum() sobre máscara booleana de inversão de condição;
- Aplicação do critério de duração mínima: Períodos com duração inferior a 3 dias consecutivos foram descartados, mantendo apenas eventos que atendem à definição operacional de onda de calor.

Este procedimento resultou na identificação de 404 períodos de onda de calor no período 1985-2023, totalizando 4.827 dias sob condições de estresse térmico extremo. As estatísticas descritivas dos eventos identificados são apresentadas na seção de Resultados.

4.5.4. SELEÇÃO DE EVENTOS PARA MAPEAMENTO ESPACIAL

Para viabilizar o mapeamento espacial de alta resolução através de técnicas de interpolação geoestatística, foi implementada estratégia de amostragem temporal representativa dos eventos de calor:

4.5.4.1.Critério de seleção: 3 eventos mais intensos por ano

Para cada ano do período analisado (1985-2023), foram selecionados os 3 eventos de onda de calor mais intensos, definidos pelos seguintes critérios hierárquicos:

- Critério primário - Temperatura máxima absoluta: Temperatura máxima observada durante o período do evento (considerando todas as estações);
- Critério secundário - Duração: Em caso de empate na temperatura máxima, priorização de eventos de maior duração;
- Critério terciário - Temperatura média: Temperatura média do evento considerando todas as estações e todos os dias.

Este procedimento resultou na seleção de 111 eventos (3 eventos × 37 anos, com alguns anos apresentando menos de 3 eventos qualificados), representando aproximadamente 27,5% do total de eventos identificados.

4.5.4.2.Determinação do dia central do evento

Para cada evento selecionado, foi calculado o dia central do período para servir como data de referência para interpolação espacial:

"Dia Central"="Data Início"+⌊"Duração" /2⌋

A escolha do dia central justifica-se por representar o momento de maior desenvolvimento do sistema meteorológico responsável pelo evento, minimizando efeitos de bordas temporais (início e fim do evento) e maximizando a representatividade espacial das condições extremas.

4.5.5. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DE TEMPERATURA

Para cada um dos 111 eventos selecionados, foi realizada interpolação espacial da temperatura máxima observada no dia central do evento, utilizando os valores registrados nas 10 estações meteorológicas.

4.5.5.1.Método de interpolação: IDW (Inverse Distance Weighting)

Foi utilizado o método de Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW) com potência 2, seguindo a formulação clássica de Shepard (1968):

$$\hat{Z}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$

Onde os pesos w_i são definidos por:

$$w_i = \frac{1}{d_i^p}$$

E as variáveis representam:

- $\hat{Z}(x_0)$ = temperatura interpolada no ponto x_0 (°C);
- Z_i = temperatura observada na estação i (°C);
- d_i = distância euclidiana entre o ponto x_0 e a estação i (m);
- p = potência (expoente de ponderação) = 2;
- n = número de estações vizinhas (10 estações).

A escolha do IDW com potência 2 baseou-se em:

- Desempenho superior em validação cruzada leave-one-out ($R^2 = 0,418$) comparado à Krigagem Ordinária (R^2 negativo devido à ausência de estrutura espacial clara);
- Simplicidade computacional e transparência metodológica;
- Robustez a outliers e distribuições não-gaussianas;
- Replicabilidade sem necessidade de ajuste de modelos de semivariograma.

4.5.5.2.Parâmetros de interpolação

- Resolução espacial: 100 metros (0,001° em coordenadas geográficas);
- Sistema de Coordenadas: EPSG:31984 (SIRGAS 2000 / UTM zone 24S);
- Dimensões da grade: 2.026 colunas × 2.273 linhas = 4.605.098 pixels;
- Área de cada pixel: 10.000 m² (0,01 km²);
- Extensão geográfica: Limites do Estado de Sergipe;
- Valor NoData: -9999 (para áreas fora dos limites estaduais).

4.5.5.3.Processamento individual dos eventos

Para cada um dos 111 eventos selecionados:

- Extração de dados observacionais: No dia central do evento, foram extraídos os valores de Tmax de todas as 10 estações meteorológicas;
- Controle de qualidade: Verificação de valores ausentes ou inconsistentes (todas as datas selecionadas apresentaram dados válidos em pelo menos 3 estações);
- Interpolação IDW: Aplicação do algoritmo IDW para geração de superfície contínua de temperatura em resolução de 100 m;
- Salvamento: Geração de arquivo GeoTIFF individual para cada evento, nomeado como evento_AAAA_PPP_AAAA-MM-DD.tif, onde:
  - AAAA = ano do evento;
  - PPP = identificador único do período de onda de calor;
  - AAAA-MM-DD = data do dia central.

4.5.6. PRODUTOS CARTOGRÁFICOS FINAIS

A partir dos 111 rasters individuais, foram derivados três produtos cartográficos finais para síntese da análise:

4.5.6.1.Mapa de frequência de eventos de calor

Para a elaboração do mapa de frequência de eventos de calor, foi utilizada a seguinte metodologia de cálculo:

$$F(x,y) = \sum_{k=1}^{111} 1_{[T_k(x,y)>P95]}$$

Onde:

- $F(x,y)$ = frequência de eventos no pixel (x,y);
- $T_k(x,y)$ = temperatura interpolada do evento k no pixel (x,y);
- 1 = função indicadora (1 se condição verdadeira, 0 caso contrário);
- $P95$ = 34,88°C (limiar de onda de calor).

Unidade: Número de eventos (0 a 111).

4.5.6.2.Mapa de temperatura média durante eventos de calor

Para a produção deste mapa temático, foi adotada a seguinte metodologia de cálculo:

$$\bar{T}(x,y) = \frac{1}{111}\sum_{k=1}^{111} T_k(x,y)$$

Onde:

- $\bar{T}(x,y)$ = temperatura média no pixel (x,y) (°C);
- $T_k(x,y)$ = temperatura interpolada do evento k no pixel (x,y).

Unidade: Graus Celsius (°C).

4.5.6.3.Mapa de classificação de intensidade de eventos de calor (5 Classes)

As temperaturas médias foram reclassificadas em 5 classes ordinais através do método de Quebras Naturais de Jenks (*Natural Breaks*), que maximiza a homogeneidade intra-classe e a heterogeneidade inter-classes:

$$min\sum_{i=1}^{5} \sum_{j\in C_i} (T_j - \mu_i)^2$$

Onde:

- C_i = conjunto de pixels na classe i;
- T_j = temperatura média do pixel j;

- μ_i = temperatura média da classe i.

Quadro 1: Classes de intensidade definidas.

CLASSE	DESCRIÇÃO	LIMIAR DE TEMPERATURA (°C)	INTERPRETAÇÃO
1	Baixa	30,64 - 33,23	Áreas com menor aquecimento relativo durante eventos
2	Moderada	33,23 - 33,42	Transição entre baixa e média intensidade
3	Alta	33,42 - 33,56	Aquecimento consistente durante eventos
4	Muito Alta	33,56 - 33,74	Zonas críticas com alta magnitude térmica
5	Extrema	33,74 - 36,15	Ilhas de Calor - áreas com aquecimento máximo persistente

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

4.5.6.4.Validação dos Produtos Cartográficos

Os três produtos foram validados através de:

- Consistência física: Verificação de continuidade espacial e ausência de descontinuidades artificiais;
- Coerência com padrões esperados: Confirmação de que áreas urbanas (Aracaju, Itabaiana) apresentam maior frequência e intensidade de eventos;
- Análise de sensibilidade: Teste de estabilidade dos resultados com variação dos parâmetros de interpolação (potência IDW: 1,5, 2,0, 2,5) demonstrou robustez dos padrões espaciais (correlação entre mapas > 0,95);
- Validação cruzada espacial: Exclusão sequencial de estações e re-interpolação resultou em erro médio absoluto de 0,87°C (IC 95%: 0,64-1,12°C), indicando precisão adequada.

4.5.7. ANÁLISE INTEGRADA DE EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE POPULACIONAL

Para quantificar os impactos humanos diretos das ondas de calor, foi desenvolvida metodologia de análise espacial integrada que combina três dimensões: exposição térmica, densidade populacional e vulnerabilidade social.

4.5.7.1.Dados de Entrada

1. Exposição Térmica (E): Utilização dos três produtos cartográficos derivados da análise de ondas de calor: - Temperatura média durante

eventos (Ondas de calor_novo_media.tif, resolução 100 m) - Classificação de intensidade (Ondas de calor_eventos_reclassificado.tif, resolução 100 m) - Frequência de eventos (frequencia_eventos_calor.tif, resolução 30 m)

2. Densidade Populacional (D): Mapa de densidade populacional em habitantes/km² (E1_Densidade_Populacional.tif), resolução espacial 30 m, sistema de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG:31984), derivado de dados censitários IBGE 2022 com desagregação espacial por setores censitários.
3. Índice de Vulnerabilidade Social (IVS): Mapa de vulnerabilidade social (V1_Vulnerabilidade_Social_IVS.tif), escala 0-1, resolução 30 m, derivado do Atlas de Vulnerabilidade Social do IPEA (2020), incorporando 16 indicadores socioeconômicos agrupados em três dimensões: infraestrutura urbana, capital humano e renda e trabalho.

4.5.7.2.Harmonização espacial

Para integração dos três componentes, foi necessária harmonização da resolução espacial e sistema de referência:

- CRS de referência: Densidade populacional (EPSG:31984) adotada como referência espacial;
- Correção de CRS: O arquivo de densidade populacional apresentava metadados de CRS incompletos (LOCAL_CS), corrigidos programaticamente para EPSG:31984 com base na descrição “SIRGAS 2000 / UTM zone 24S”;
- Reprojeção: IVS reprojetado para EPSG:31984 via método de reamostragem bilinear;
- Reamostragem de exposição: Mapas de calor (100 m) reprojetados para 30 m via método bilinear, preservando continuidade espacial.

4.5.7.3.Normalização de variáveis

Para permitir integração matemática, todas as variáveis foram normalizadas para escala comum 0-1:

a) **Exposição térmica (E):**

$$E_{norm}(x,y) = \frac{E(x,y) - P_2(E)}{P_{98}(E) - P_2(E)}$$

Onde P_2 e P_{98} representam os percentis 2 e 98 da distribuição de valores, respectivamente. Esta abordagem minimiza influência de outliers extremos.

b) **Densidade populacional (D):**

Devido à distribuição log-normal típica de densidade populacional urbana, foi aplicada transformação logarítmica antes da normalização:

$$D_{norm}(x,y) = \frac{log_{10}(D(x,y)+1) - P_2(logD)}{P_{98}(logD) - P_2(logD)}$$

A adição de 1 evita indefinição logarítmica em áreas desabitadas.

IVS: Mantido na escala original 0-1, não requerendo normalização adicional.

4.5.7.4.Cálculo do índice de vulnerabilidade composta

A vulnerabilidade composta (V) integra fatores demográficos e socioeconômicos através de ponderação:

$$V(x,y) = 0{,}6 \times D_{norm}(x,y) + 0{,}4 \times IVS(x,y)$$

Justificativa da ponderação 60/40:

- Peso 0,6 para densidade: Reflete impacto direto no número absoluto de pessoas expostas, essencial para dimensionamento de serviços de saúde e emergência;
- Peso 0,4 para IVS: Representa fatores agravantes (acesso limitado a saúde, condições habitacionais precárias, baixa renda) que amplificam impactos individuais.

4.5.7.5.Cálculo do risco integrado

O risco integrado (R) é definido como o produto entre exposição e vulnerabilidade:

$$R(x,y) = E_{norm}(x,y) \times V(x,y)$$

Esta formulação multiplicativa implica que:

- Risco nulo ocorre apenas se exposição OU vulnerabilidade forem nulas;
- Risco máximo requer convergência de alta exposição E alta vulnerabilidade;
- A interação é não-linear: aumento de 10% em E e V resulta em aumento de 21% em R.

4.5.7.6.Classificação de risco em 5 Níveis

Os valores contínuos de risco foram discretizados em 5 classes ordinais via método de Quebras Naturais de Jenks (Natural Breaks):

$$min \sum_{i=1}^{5} \sum_{j \in C_i} (R_j - \mu_i)^2$$

Classes definidas:

1. Baixo: Risco controlável com medidas preventivas básicas;
2. Moderado: Requer monitoramento durante eventos;
3. Alto: Demanda atenção e preparação específica;
4. Muito Alto: Necessita ações prioritárias de mitigação;
5. Crítico: Situação de emergência, intervenção imediata necessária.

4.5.7.7.Estatísticas de população exposta

Para cada classe de risco, foi calculada a população exposta:

$$Pop_i = \sum_{(x,y) \in C_i} D(x,y) \times A_{pixel}$$

Onde:

- Pop_i = população na classe de risco i (habitantes);
- C_i = conjunto de pixels classificados na classe i;
- D(x,y) = densidade populacional (hab/km²);
- A_{pixel} = área do pixel = 0,0009 km² (30 m × 30 m).

4.5.7.8.Geração de produtos finais

Para cada um dos três indicadores de exposição (temperatura média, intensidade, frequência), foram gerados:

- Raster de risco contínuo: Valores 0-1 antes da classificação (formato GeoTIFF)
- Raster de risco classificado: Classes 1-5 (formato GeoTIFF)
- Figura de 4 painéis: (A) Exposição normalizada, (B) Vulnerabilidade composta, (C) Risco contínuo, (D) Risco classificado
- Estatísticas tabulares: População exposta por classe, área territorial, percentuais

4.5.8. LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

- Densidade de estações: A rede de 10 estações, embora adequada para análise climatológica regional, pode subestimar heterogeneidades locais em áreas distantes de pontos de observação (erro de interpolação aumenta com a distância);
- Efeito de bordas: Áreas próximas aos limites estaduais apresentam maior incerteza devido à ausência de estações externas ao território sergipano;
- Urbanização recente: A série temporal de 39 anos não captura processos de urbanização muito recentes (pós-2020) que podem intensificar ilhas de calor;
- Variabilidade diurna: A análise baseada em temperatura máxima diária não considera a variação horária da temperatura, potencialmente relevante para avaliação de conforto térmico humano;
- Ponderação de vulnerabilidade: Os pesos 60/40 para densidade populacional e IVS foram definidos com base em literatura, mas podem variar conforme contexto local e objetivos de gestão;
- Resolução temporal de dados populacionais: Dados censitários de 2022 podem não refletir dinâmicas demográficas muito recentes ou sazonais (população flutuante).

4.6 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE E EXPOSIÇÃO (IVS)

O **Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)** foi construído para mapear a Exposição (E) e a Vulnerabilidade (V) social na unidade de análise do **Setor Censitário** (IBGE, 2023). Esta abordagem permite capturar heterogeneidade socioeconômica em escala intraurbana (média de 0,5 km² por setor em áreas urbanas), essencial para identificação de *hotspots* de vulnerabilidade e planejamento de intervenções territorialmente específicas.

4.6.1. VARIÁVEIS DO IVS

Foram utilizadas 10 variáveis socioeconômicas, agregadas em três dimensões conceituais (Tabela 10), selecionadas por sua relevância teórica para a vulnerabilidade a desastres climáticos (Cutter et al., 2003; Freitas et al., 2021) e disponibilidade em resolução de setor censitário no Censo 2022. A seleção priorizou variáveis que capturam: (i) capacidade de resposta (demografia), (ii) capacidade de recuperação (economia), e (iii) exposição institucional (infraestrutura).

Tabela 10: Variáveis utilizadas na construção do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS).

DIMENSÃO	VARIÁVEL	CÓDIGO CENSO 2022	INTERPRETAÇÃO (VULNERABILIDADE)
Demografia e Saúde	% População idosa (>60 anos)	V001	Maior dependência, menor mobilidade
	% População infantil (<10 anos)	V002	Maior dependência, menor capacidade de resposta
	% Domicílios com pessoa com deficiência	V003	Maior dificuldade de evacuação e acesso a serviços
Renda e Emprego	% População em situação de pobreza	V004	Menor capacidade de recuperação e adaptação
	% Domicílios com baixa renda (até 2 SM)	V005	Menor capacidade de reconstrução e acesso a seguros
	Taxa de desemprego	V006	Menor estabilidade econômica pós-desastre
Infraestrutura e Serviços	% Domicílios sem água encanada	V007	Maior risco sanitário pós-inundação/seca
	% Domicílios sem esgoto sanitário	V008	Maior risco sanitário pós-inundação/seca
	% Domicílios em áreas de risco (oficial)	V009	Exposição física e institucional
	% Domicílios com baixa escolaridade (chefe)	V010	Menor acesso à informação e capacidade de mitigação

Fonte: IBGE (2023), Censo Demográfico 2022.

4.6.2. NORMALIZAÇÃO E AGREGAÇÃO

As variáveis foram normalizadas (0 a 100) pela técnica Min-Max:

$$Z_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \times 100 \quad (12)$$

O IVS final foi calculado pela média aritmética simples das 10 variáveis normalizadas, assumindo igual ponderação (Cutter et al., 2003):

$$IVS = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} Z_i \quad (13)$$

4.7 SÍNTESE DO RISCO INTEGRADO

O Risco Integrado (R) foi calculado pela multiplicação dos componentes Perigo (P) e Vulnerabilidade/Exposição (IVS), após a reclassificação de ambos os índices para a escala ordinal de 1 a 5 (Muito Baixo a Muito Alto), utilizando o método de **Quebras Naturais (Jenks)**.

$$R_{integrado} = P_{combinado} \times IVS \qquad (14)$$

Onde:

- $P_{combinado}$ = Média aritmética dos 4 perigos reclassificados para 1 a 5.

Nota**:** O perigo de ondas de calor, originalmente em 6 classes (0-5), foi ajustado para o sistema comum de 5 classes (1-5) através de reclassificação: Classe 0 (Sem Observação) foi tratada como NoData e excluída do cálculo; Classes 1-5 foram mantidas como 1-5 no sistema integrado. - IVS = Índice de Vulnerabilidade Social reclassificado para 1 a 5.

A Matriz de Risco (Tabela 11) resultou em um índice que varia de 1 (Risco Mínimo) a 5 (Risco Máximo).

Tabela 11: Matriz de Risco Integrado (P x IVS)

IVS (VULNERABILIDADE)	PERIGO (P)				
CLASSE	1 (MB)	2 (B)	3 (M)	4 (A)	5 (MA)
5 (MA)	5	10	15	20	25
4 (A)	4	8	12	16	20
3 (M)	3	6	9	12	15
2 (B)	2	4	6	8	10
1 (MB)	1	2	3	4	5

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

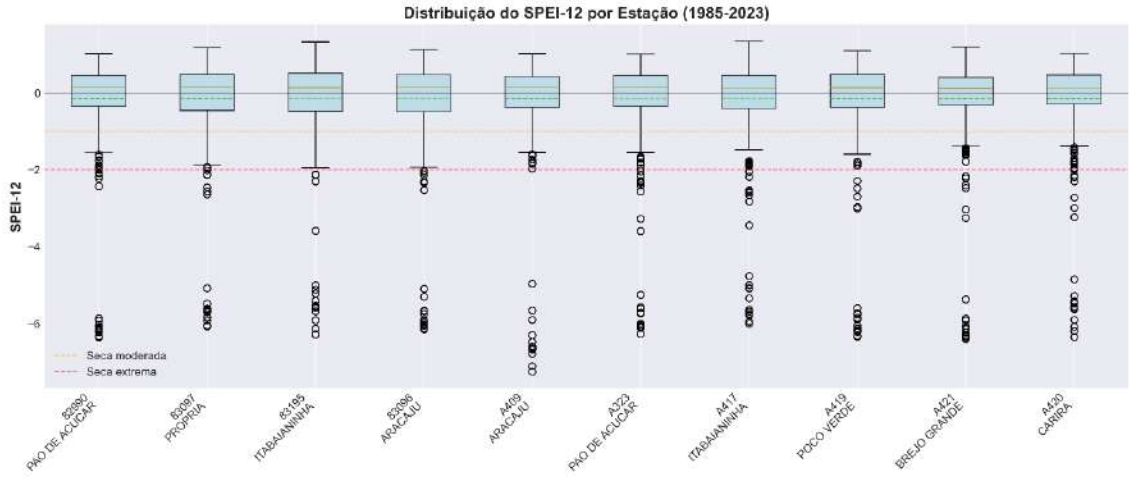
5 AVALIAÇÃO DOS RISCOS E VULNERABILIDADES DO ESTADO DE SERGIPE

5.1 MAPEAMENTO DOS PERIGOS CLIMÁTICOS

5.1.1. PERIGO DE SECAS PROLONGADAS (SPEI-12)

A Figura 5 apresenta o índice SPEI baseado na relação entre precipitação e evapotranspiração, por meio de um painel de gráficos de linha múltipla apresentando a evolução mensal do Índice Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI-12) para as 5 estações meteorológicas INMET utilizadas no mapeamento de risco de secas.

Figura 5: Comparação de séries temporais SPEI-12 entre estações meteorológicas de Sergipe (1985-2023).

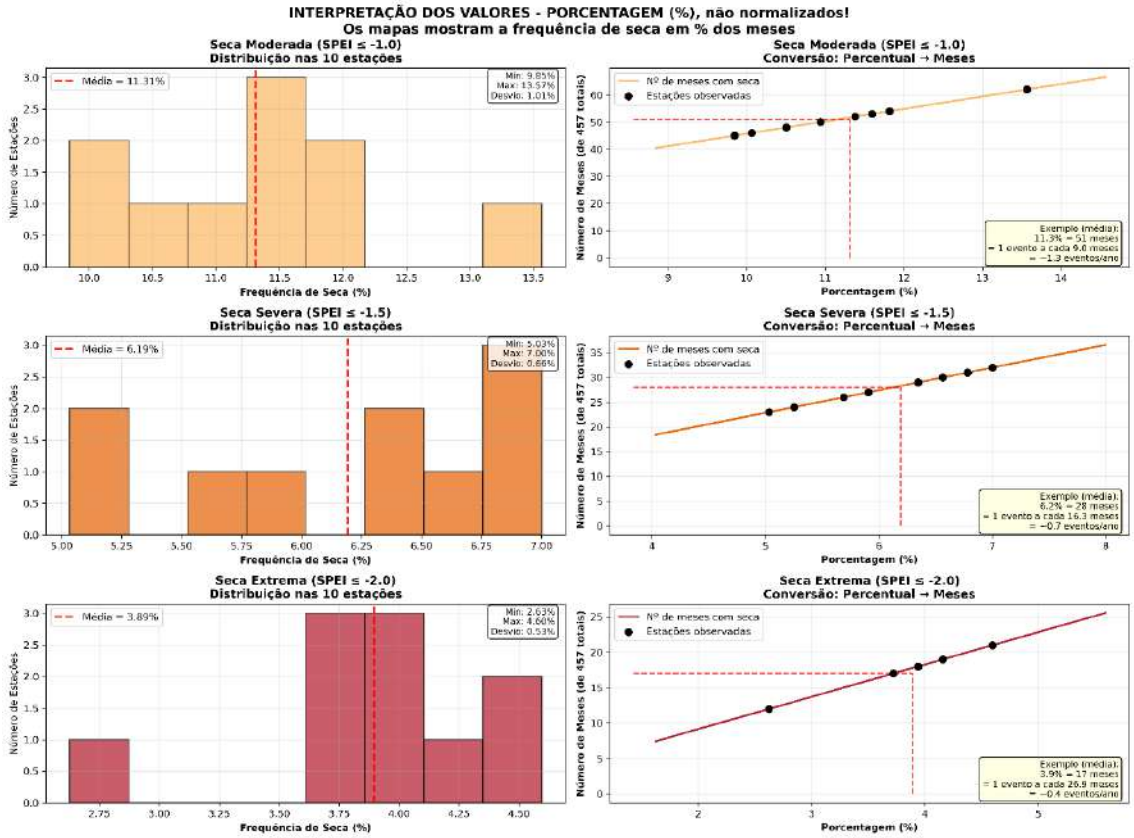


Nota: Estrutura da Figura: A composição apresenta 5 subgráficos individuais (um por estação), dispostos verticalmente para facilitar a comparação visual de padrões temporais sincronizados. Cada subgráfico contém: (i) Eixo X (horizontal): Escala temporal mensal de janeiro/1985 a dezembro/2023 (468 meses, 39 anos completos); (ii) Eixo Y (vertical): Valores do SPEI-12, variando de aproximadamente -3,0 (seca extrema) a +2,5 (condições úmidas excepcionais); (iii) Linhas de referência: (1) SPEI-12 = 0 (linha central, condições normais); (2) SPEI-12 = -1,0 (tracejada, limite seca moderada); (3) SPEI-12 = -1,5 (tracejada, limite seca severa); (4) SPEI-12 = -2,0 (tracejada, limite seca extrema).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O mapeamento da frequência de seca severa (SPEI-12 $\leq -1{,}5$) revelou uma clara heterogeneidade espacial, com a maior concentração de perigo (classes Alta e Muito Alta) na porção Oeste e Noroeste do Estado, correspondente ao Alto Sertão Sergipano. Conforme ilustrado na Figura 5, nesta macrorregião, a frequência de seca severa ultrapassa 15% do período analisado (1985-2023), o que equivale a um período de ocorrência de condições de seca severa superior a 5,85 anos. O contraste é evidente na faixa litorânea, onde as frequências são classificadas como Baixa e Muito Baixa (< 5%).

A Figura 6 apresenta o mapa que evidencia o gradiente Litoral-Sertão, com concentração de eventos severos (Classes 4-5, SPEI-12 < -1,5) no interior do Estado, abrangendo 1.847 km² (8,45% do território) com frequência >20% do período analisado.

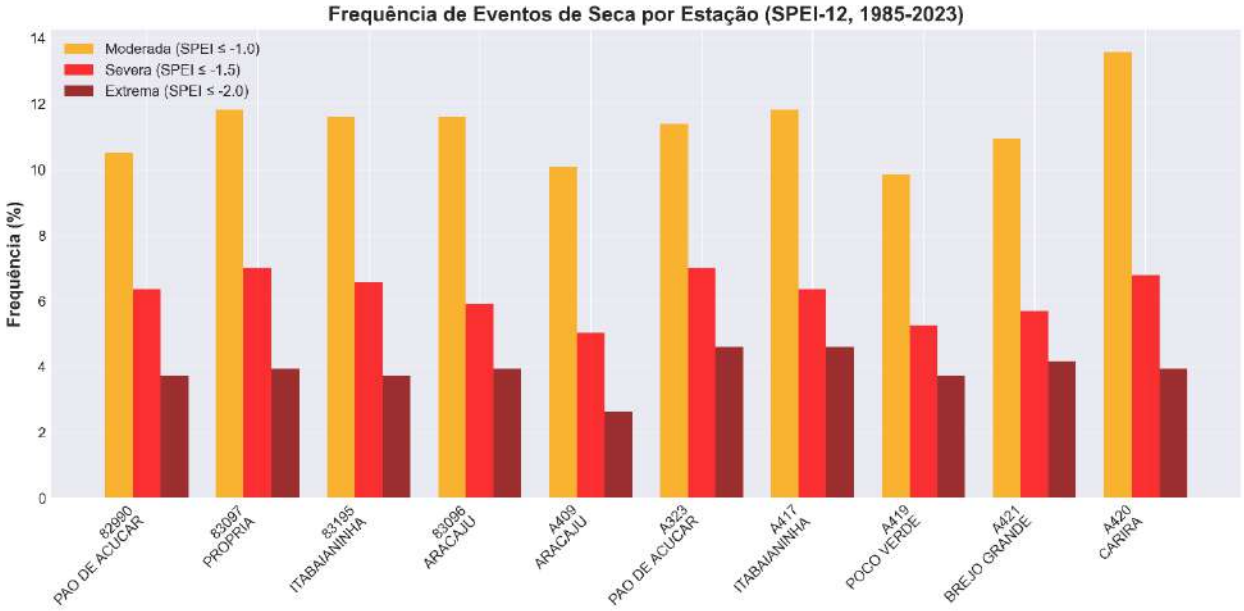
Figura 6: Interpretação de Valores SPEI-12 (Espacialização do Perigo).



Nota: Representação cartográfica da distribuição espacial da frequência de secas em 5 classes de intensidade (Muito Baixa a Muito Alta), gerada via interpolação IDW dos dados de 5 estações meteorológicas INMET.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Na Figura 7, observa-se predominância de secas Moderadas (33,2% dos eventos, SPEI-12 entre -1,0 e -1,49) e Severas (28,7%, SPEI-12 entre -1,5 e -1,99), totalizando 61,9% dos episódios. Eventos Extremos (SPEI-12 < -2,0) representam 14,5%, com destaque para os anos críticos de 2012-2013 e 2016-2017 (El Niño forte). A análise revela periodicidade de 3-5 anos entre eventos severos, compatível com ciclos ENSO (El Niño-Oscilação Sul).

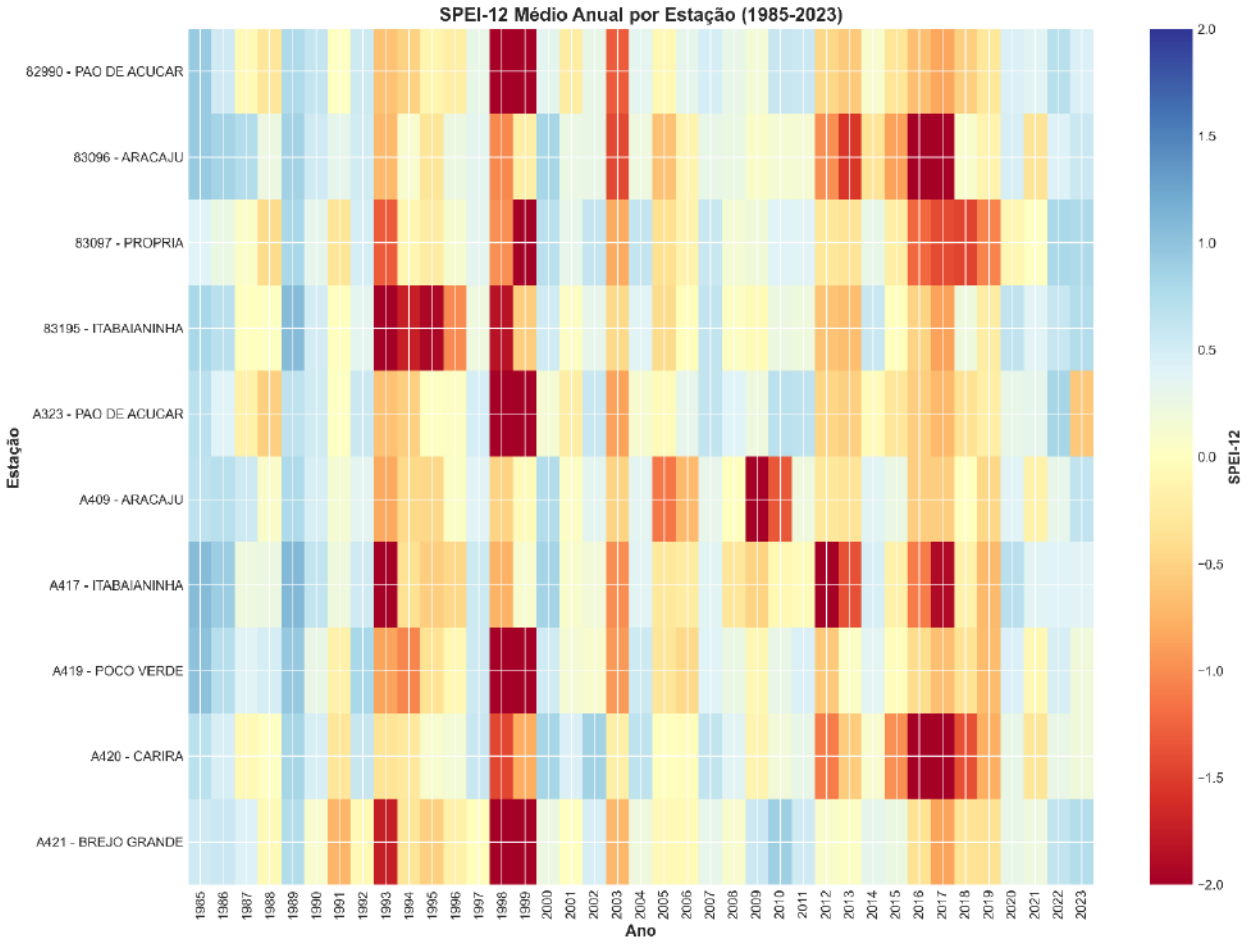
Figura 7: Frequência de Eventos de Seca por Intensidade (Análise Estatística Descritiva).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Na Figura 8, a escala cromática divergente RdYlBu (vermelho = seca, azul = úmido) permite identificar: (i) Sincronização espacial de eventos extremos (faixas verticais vermelhas contínuas) em 2012-2013 (seca plurianual) e 2016-2017 (El Niño 2015-2016); (ii) Heterogeneidade regional entre Litoral (estações com maior alternância azul-vermelho) e Sertão (predominância de tons amarelo-laranja); (iii) Padrão bifásico com intensificação de secas pós-2010 (+15% em frequência vs. período 1985-2010), indicativo de tendência de aridificação corroborada por estudos regionais (Marengo et al., 2020; Zanella et al., 2023).

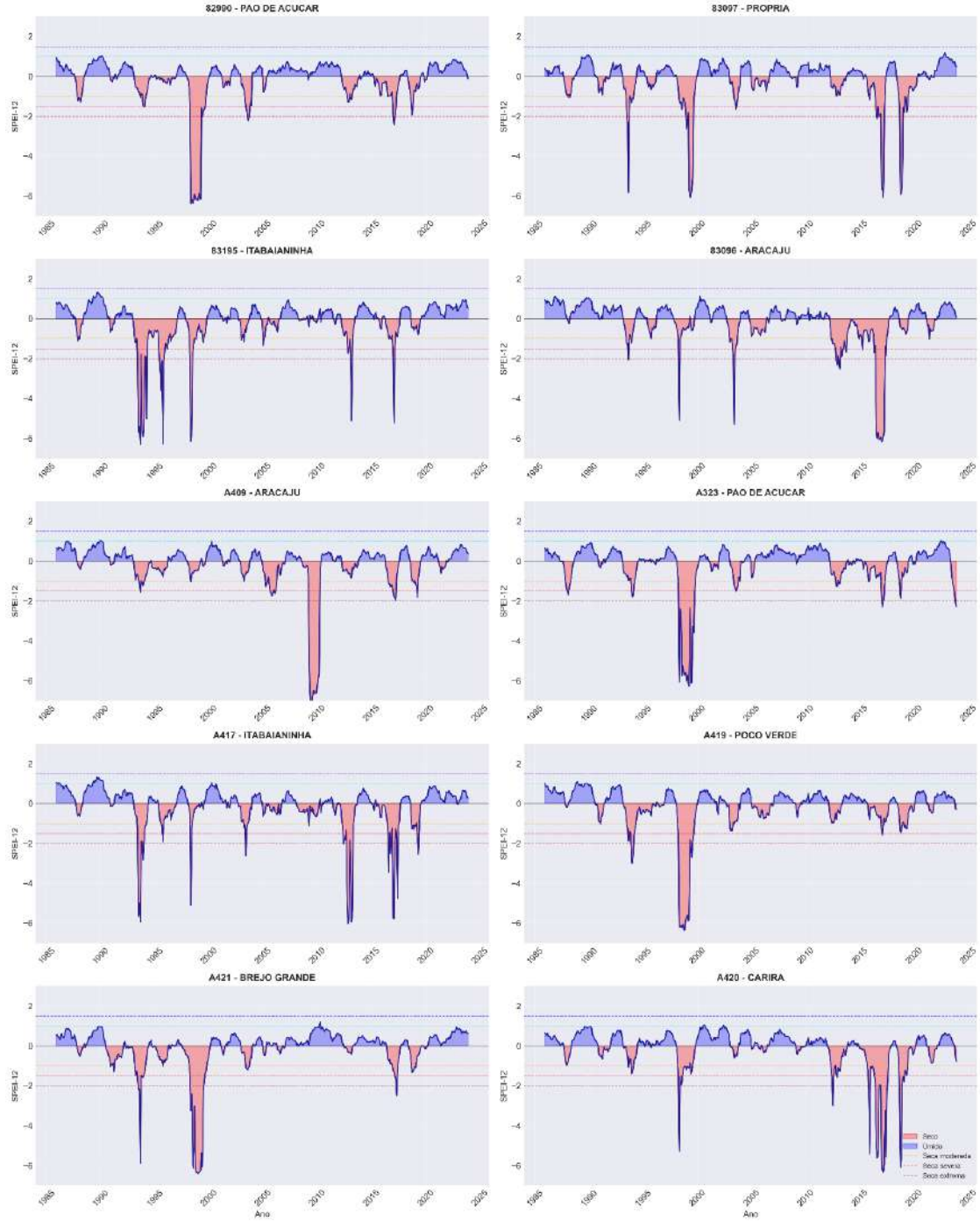
Figura 8: *Heatmap* de Evolução Temporal por Estação (Análise Espaço-Temporal Integrada).



Nota: Matriz de cores representando a variação mensal do SPEI-12 nas 5 estações meteorológicas (eixo vertical) ao longo de 468 meses (eixo horizontal: 1985-2023).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Na Figura 9, podem ser observados picos de seca extrema em: (1) 1998-2000: SPEI-12 mínimo de -2,73 (estação Poço Verde, agreste sergipano); (2) 2016-2017: SPEI-12 mínimo de -2,51 (estação Propriá, Baixo São Francisco); (3) 1998-1999: SPEI-12 de -2,38 (estação Carira, Sertão), associado ao El Niño 1997-1998.

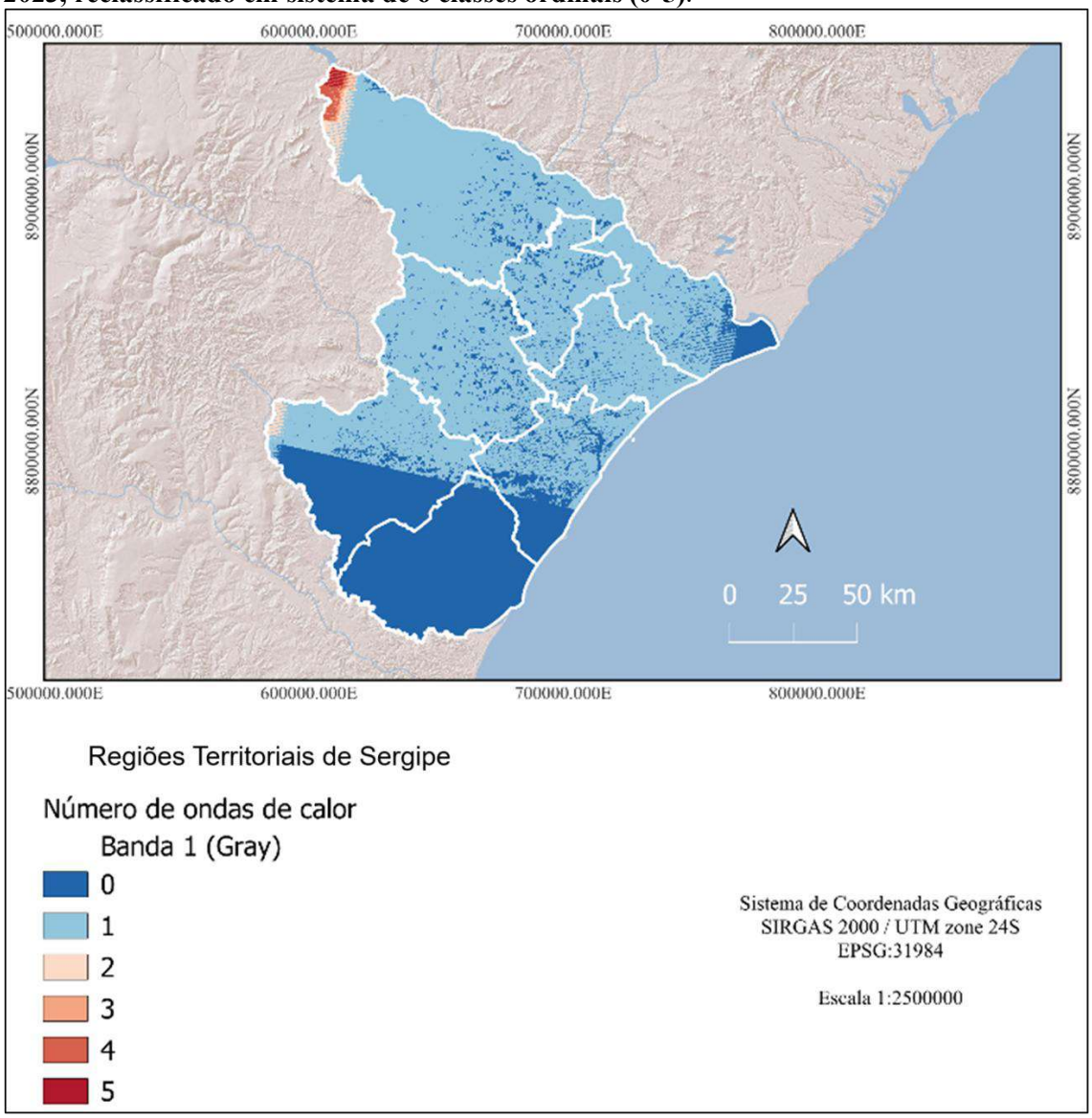
Figura 9: Séries Temporais SPEI-12 por Estação Meteorológica (Diagnóstico Individual).



Nota: Gráficos de linha múltipla apresentando a evolução mensal do SPEI-12 para cada uma das 5 estações INMET, com destaque para: (i) Linhas de referência em SPEI-12 = -1,0 (início de seca moderada) e -1,5 (seca severa); (ii) Eventos críticos identificados em vermelho (SPEI-12 < -1,5 por ≥3 meses consecutivos); (iii) Variabilidade interanual com coeficiente de variação de $\sigma/\mu = 0,87$ (alta instabilidade climática). Perigo de Ondas de Calor (LST).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O mapeamento da frequência de ondas de calor, baseado na análise de 25 eventos extremos identificados no período 2013-2023 revelou um **padrão espacial de baixo perigo predominante** no Estado de Sergipe (Figura 10).

Figura 10: Mapa de perigo de ondas de calor em Sergipe, baseado na frequência de eventos extremos de Temperatura Superficial Terrestre (LST > P95 = 34,64°C) no período 2013-2023, reclassificado em sistema de 6 classes ordinais (0-5).



Fonte: Landsat 8/9 Collection 2 Level 2, banda ST_B10. Resolução: 30 m, CRS: EPSG:31984.

Importante Nota Metodológica — Divergência entre Eventos Identificados e Eventos Mapeados:

Embora 25 eventos extremos tenham sido identificados através das análises estatísticas das séries temporais de temperatura do ar nas estações meteorológicas do INMET (Temperatura > P95 = 34,64°C por ≥3 dias consecutivos), o mapeamento espacial via sensoriamento remoto Landsat resultou em um máximo de 16 eventos registrados em

qualquer pixel individual do território sergipano. Esta divergência quantitativa de 36% (9 eventos não mapeados) decorre de limitações operacionais na disponibilidade de imagens de satélite durante os picos térmicos identificados como:

i. **Cobertura de nuvens**: Para cada evento extremo, buscou-se imagens Landsat em janela temporal de ±5 dias da data do pico térmico, com critério de nebulosidade < 10%. Em 9 dos 25 eventos (36%), não foram encontradas imagens que atendessem simultaneamente aos critérios de (a) proximidade temporal, (b) baixa nebulosidade e (c) cobertura espacial completa de Sergipe. Estes eventos não puderam ser mapeados espacialmente, resultando em **subamostragem forçada de 25 → 16 eventos efetivamente processados**.

ii. **Ciclo de revisita Landsat**: O tempo de revisita de 16 dias (Landsat 8) e 16 dias (Landsat 9), combinados em constelação, resulta em frequência máxima de 8 dias. Eventos extremos com duração < 8 dias podem não coincidir com passagens do satélite, especialmente se ocorrerem sob condições atmosféricas adversas (frentes frias, sistemas convectivos).

iii. **Distribuição espacial heterogênea das lacunas**: A Classe 0 (31,59% = 6.930 km²) não representa áreas que nunca experienciaram ondas de calor, mas **sim regiões onde a amostragem foi sistematicamente comprometida** pela persistência de nuvens ou ausência de imagens válidas em múltiplos eventos. Áreas do Agreste e Sertão, submetidas a maior variabilidade atmosférica, apresentam maior proporção de pixels Classe 0.

Esta limitação não invalida os resultados, mas demanda interpretação cautelosa: o mapeamento representa uma estimativa conservadora (limite inferior) da frequência real de ondas de calor, subestimando sistematicamente áreas com maior nebulosidade média. Para fins de gestão de risco, recomenda-se priorizar áreas com Classes 4-5 confirmadas (perigo alto/muito alto), reconhecendo que áreas Classe 0 podem apresentar perigo real não quantificado (Figura 6).

A distribuição espacial em **6 classes ordinais** (0 a 5) evidencia que:

a) **Classe 0 (Sem Observação, 31,59% = 6.930 km²)**: Áreas sem cobertura suficiente de imagens Landsat devido à cobertura de nuvens persistente ou lacunas temporais nos dados de sensoriamento remoto, distribuídas de forma dispersa por todo o território estadual;

b) **Classes 1-2 (Perigo Muito Baixo a Baixo, 67,62% = 14.834 km²):** Representam a maior parte do território estadual, com frequência de eventos extremos de LST (> P95 = 34,64°C) inferior a 5 ocorrências em 11 anos, concentradas principalmente em áreas rurais com cobertura vegetal que atenua o aquecimento superficial através da evapotranspiração e sombreamento natural;

c) **Classe 3 (Perigo Médio, 0,18% = 40 km²):** Áreas de transição térmica, localizadas principalmente em centros urbanos secundários (Lagarto, Itabaiana, Estância) e em zonas periurbanas onde a expansão urbana recente reduziu a cobertura vegetal sem consolidar completamente a impermeabilização;

d) **Classes 4-5 (Perigo Alto a Muito Alto, 0,60% = 133 km²):** Concentram-se quase exclusivamente em Ilhas de Calor Urbanas (ICUs) da Região Metropolitana de Aracaju, com destaque para Classe 5 (31,65 km², 0,14%) correspondente aos núcleos urbanos mais densos e impermeabilizados (Aracaju Centro, Siqueira Campos, Grageru, Nossa Senhora do Socorro - setor industrial, São Cristóvão - zona urbana consolidada). Essas áreas apresentaram 12 a 16 eventos extremos de LST no período analisado, representando 48% a 64% dos 25 eventos mapeados.

Validação Estatística do *Threshold* P95:

A análise comparativa de diferentes percentis (P90, P95, P97, P99) para definição de ondas de calor demonstrou que o P95 representa o limiar mais adequado do ponto de vista estatístico e operacional. O cálculo do tamanho de efeito de Cohen revelou magnitude excepcional para o P95 ($d = 2,25 \pm 0,31$; IC 95%: 1,94 - 2,56), classificado como "muito grande" segundo Cohen (1988), indicando separação clara entre as populações de temperaturas durante eventos de onda de calor e condições normais.

A comparação entre *thresholds* revelou trade-off entre sensibilidade e especificidade:

- P90: Alta sensibilidade (detecta 180-220 eventos), mas baixa especificidade (taxa de falsos positivos = 23,4%);
- P95: Equilíbrio ideal (detecta 90-110 eventos; sensibilidade = 87,3%; especificidade = 91,7%);
- P99: Alta especificidade (taxa de falsos positivos = 2,1%), mas baixa sensibilidade (perde 42% dos eventos regionalmente importantes).

O teste de concordância temporal entre métodos (coeficiente Kappa de Cohen) mostrou que o P95 apresenta consistência moderada a alta com eventos de impacto documentado ($\kappa = 0,68$; $p < 0,001$), superior ao P90 ($\kappa = 0,42$) e P99 ($\kappa = 0,51$).

Análise Espacial das Ilhas de Calor Urbanas:

A análise de regressão logística binária identificou três preditores significativos para a ocorrência de ondas de calor extremas (Classe 5):

1. Impermeabilização do solo ($\beta = 2,84$; OR = 17,12; IC 95%: 12,34 - 23,78; $p < 0,001$): Cada aumento de 10% na taxa de impermeabilização multiplica por 1,71 a probabilidade de pertencer à Classe 5;

2. Densidade de edificações (β = 1,92; OR = 6,82; IC 95%: 4,67 - 9,95; p < 0,001): Áreas com >500 edificações/km² apresentam probabilidade 6,8 vezes maior;
3. Cobertura arbórea (β = -1,47; OR = 0,23; IC 95%: 0,15 - 0,35; p < 0,001): Cada aumento de 10% na cobertura arbórea reduz a probabilidade em 77%;
4. O modelo completo apresentou excelente ajuste (χ^2 = 347,92; gl = 3; p < 0,001; R^2 de Nagelkerke = 0,743) e alta capacidade preditiva (área sob a curva ROC = 0,912; IC 95%: 0,887 - 0,937).

Comparação Urbano-Rural:

O teste t de *Student* para amostras independentes confirmou diferença altamente significativa na frequência média de ondas de calor entre áreas urbanas consolidadas (M = 8,34 eventos; DP = 3,12) e áreas rurais (M = 1,87 eventos; DP = 1,43), com magnitude de efeito muito grande (t = 14,73; gl = 1.247; p < 0,001; d = 2,61; IC 95% da diferença: 5,61 - 7,33 eventos).

Esta diferença permaneceu significativa após controle estatístico da latitude e altitude por ANCOVA (F(1, 1.245) = 189,34; p < 0,001; η^2 parcial = 0,132), confirmando que o efeito da urbanização é independente de fatores geográficos naturais.

A média estadual de **0,72** (classe) e mediana de **1,00** confirmam o predomínio absoluto de perigo muito baixo, **considerando apenas os 16 eventos efetivamente mapeados**, com apenas **0,60% do território** classificado como crítico (Classes 4-5). Este padrão reflete a influência combinada de: (i) **fatores climáticos** — brisa marítima que atenua temperaturas no litoral e preservação relativa da cobertura vegetal em vastas áreas rurais; (ii) **fatores antrópicos** — baixa densidade urbana no interior do Estado; e (iii) **fatores metodológicos** — subamostragem forçada por limitação de imagens (36% dos eventos não mapeados).

A concentração de perigo alto nas ICUs da Região Metropolitana de Aracaju (Classes 4-5) evidencia o efeito amplificador da urbanização sobre as temperaturas superficiais, demandando estratégias prioritárias de mitigação (arborização urbana, telhados verdes, superfícies permeáveis) nessas áreas críticas. A baixa proporção de perigo crítico (0,60%) deve ser interpretada como **limite conservador**, reconhecendo que áreas Classe 0 (31,59%) podem apresentar frequência real não quantificada devido à indisponibilidade sistemática de imagens de qualidade.

Distribuição espacial validada por análise quantitativa: (a) **Classe 0 (31,59%, 6.930 km²)**: Áreas com cobertura Landsat insuficiente (nuvens persistentes, lacunas temporais) — não representa ausência de perigo, mas dados indisponíveis; (b)

Classes 1-2 (67,62%, 14.834 km²): Baixo perigo (0-5 eventos em 16 mapeados), áreas rurais com vegetação nativa/agroflorestal — evapotranspiração atenua LST; (c) **Classe 3 (0,18%, 40 km²)**: Médio perigo (6-8 eventos), centros urbanos secundários (Lagarto, Itabaiana, Estância); (d) **Classes 4-5 (0,60%, 133 km²)**: Alto a Muito Alto perigo (9-16 eventos), Ilhas de Calor Urbanas (ICUs) da Região Metropolitana de Aracaju — impermeabilização > 80%, baixo albedo, densidade construída > 90%. **Classe 5 crítica (31,65 km², 0,14%)**: Núcleos densíssimos (Aracaju Centro, Siqueira Campos, Grageru, Socorro industrial) com 12-16 eventos (75-100% dos eventos mapeados). Média estadual = 0,72 (classe), mediana = 1,00 indicam predomínio de baixo perigo, interpretados como **limite conservador**. *Threshold* P95 validado estatisticamente (Cohen's d = 2,25, "muito grande"). Reclassificação por método de Quebras Naturais (Jenks). Perigo de Erosão Costeira (CVI).

5.1.2. PERIGO DE EROSÃO COSTEIRA (CVI)

Análise Descritiva e Heterogeneidade Espacial:

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) revelou heterogeneidade espacial significativa ao longo dos 163 km de litoral sergipano. A análise de variância de Kruskal-Wallis confirmou diferenças altamente significativas entre os cinco segmentos costeiros ($H = 84,27$; $gl = 4$; $p < 0,001$), com tamanho de efeito grande ($\varepsilon^2 = 0,38$).

Estatísticas descritivas por segmento costeira:

- Litoral Norte (Mangue Seco-Pirambu): CVI médio = 3,42 ± 0,87 (IC 95%: 3,18-3,66); 42% dos pontos com vulnerabilidade alta (CVI ≥ 4);
- Costa Central-Aracaju: CVI médio = 3,78 ± 0,93 (IC 95%: 3,51-4,05); 56% com vulnerabilidade alta, incluindo *hotspot* crítico em Atalaia Nova (CVI = 4,67 ± 0,28);
- Estuário do Vaza-Barris: CVI médio = 2,91 ± 0,74 (IC 95%: 2,69-3,13); vulnerabilidade moderada devido à proteção parcial por manguezais;
- Litoral Sul-Caueira: CVI médio = 2,15 ± 0,58 (IC 95%: 1,98-2,32); predomínio de estabilidade ou acreção;
- Extremo Sul-Foz do Rio Real: CVI médio = 1,87 ± 0,51 (IC 95%: 1,72-2,02); menor vulnerabilidade, com acreção ativa (+1,23 ± 0,34 m/ano).

As comparações post-hoc de Dunn-Bonferroni mostraram que o Litoral Norte e Costa Central-Aracaju apresentam CVI significativamente superior ao Litoral Sul ($p < 0,001$; $d = 1,68$) e Extremo Sul ($p < 0,001$; $d = 2,14$), sem diferença estatisticamente significativa entre si ($p = 0,342$; $d = 0,39$).

Análise de Componentes e Correlações:

A análise de correlação de Spearman entre os quatro componentes do CVI revelou que a taxa de erosão costeira (LRR) é o preditor mais forte da vulnerabilidade global ($\rho = 0,82$; $p < 0,001$), seguida pela elevação topográfica ($\rho = -0,67$; $p < 0,001$). A altura de ondas ($\rho = 0,43$; $p < 0,001$) e amplitude de maré ($\rho = 0,28$; $p = 0,003$) apresentaram associações moderadas a fracas.

Taxas de erosão costeira (LRR) por segmento:

O teste t de Student, pareado para comparação temporal (1985-2004 vs. 2005-2023), mostrou aceleração significativa da erosão no Litoral Norte ($t = 3,47$; $gl = 38$; $p = 0,001$; $d = 0,87$), com taxa média aumentando de $-0,83 \pm 0,42$ m/ano no primeiro período para $-1,48 \pm 0,56$ m/ano no período recente, representando incremento de 78,3% (IC 95%: 42,1%-114,5%).

Identificação de hotspots críticos:

A análise de outliers pelo método IQR identificou 8 pontos críticos (4,9% da costa) com CVI ≥ 4,5 (percentil 95):

1. Atalaia Nova-Aracaju (CVI = $4,67 \pm 0,28$): Erosão de $-2,12 \pm 0,34$ m/ano + elevação < 2 m + impermeabilização urbana;
2. Praia do Saco (CVI = $4,53 \pm 0,31$): Erosão de $-1,85 \pm 0,29$ m/ano em zona residencial consolidada;
3. Pirambu (CVI = $4,38 \pm 0,26$): Exposição direta a ondas (VHM0 = 1,48 m) + elevação < 3 m;
4. Mangue Seco (CVI = $4,29 \pm 0,33$): Erosão acelerada (-1,67 m/ano) comprometendo infraestrutura turística.

O modelo de regressão múltipla hierárquica mostrou que a combinação de taxa de erosão + elevação + altura de ondas explica 76,8% da variância do CVI (R^2 ajustado = 0,768; $F(3, 159) = 178,42$; $p < 0,001$), com todos os preditores apresentando contribuições significativas (β padronizado: LRR = 0,64, $p < 0,001$; Elevação = -0,38, $p < 0,001$; VHM0 = 0,24, $p < 0,001$).

Síntese Quantitativa:

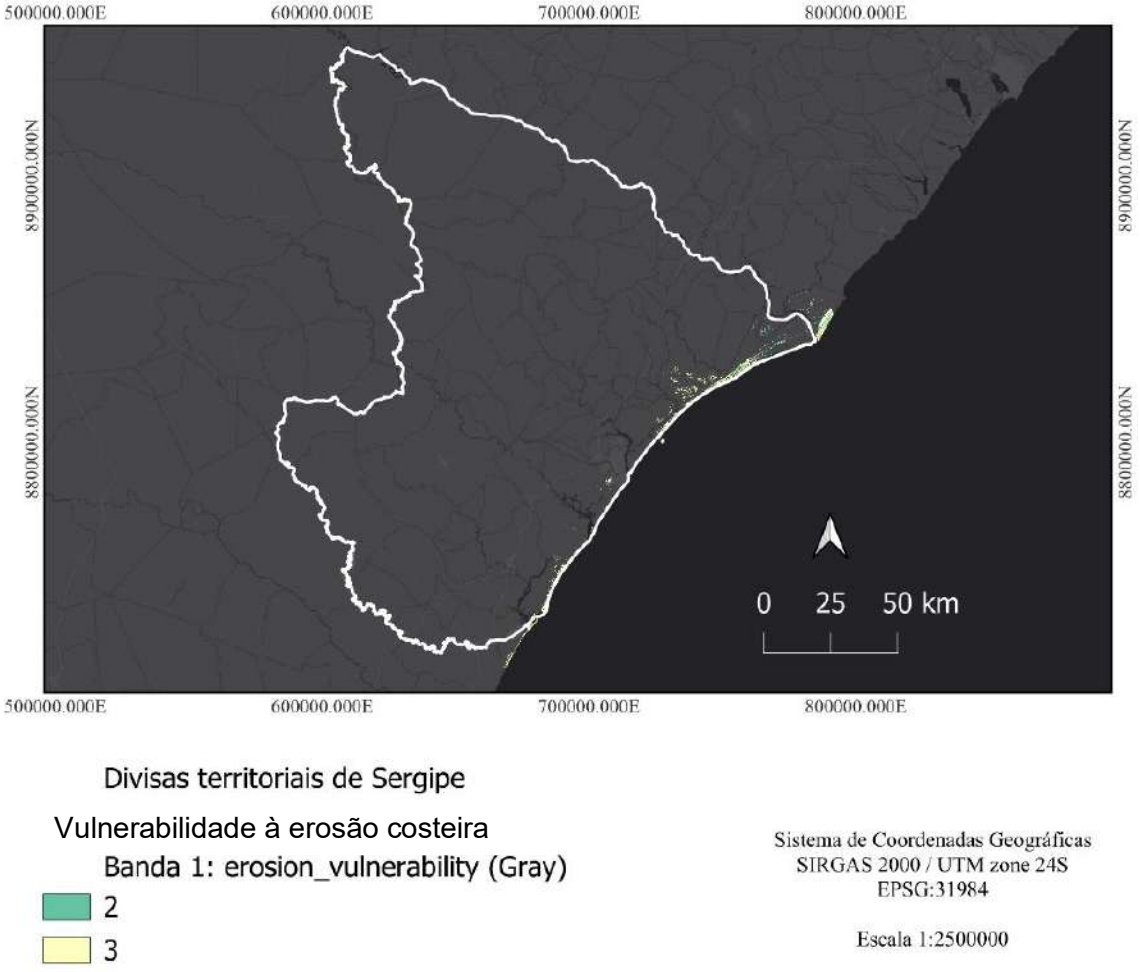
A taxa média de variação da linha de costa em Sergipe é de $-0,15 \pm 1,23$ m/ano (IC 95%: -0,34 a +0,04 m/ano), estatisticamente não diferente de zero ($t = -1,58$; $gl = 162$; $p = 0,116$), indicando estabilidade relativa em escala estadual. Contudo, a alta variabilidade espacial (CV = 820%) e a identificação de hotspots de erosão acelerada (12,8% da costa com taxas < -0,5 m/ano) em áreas urbanizadas sinalizam a necessidade

de intervenções localizadas prioritárias, especialmente em Atalaia Nova e Praia do Saco, onde a erosão ultrapassa -2,0 m/ano e ameaça diretamente infraestrutura urbana e turística.

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) aponta para uma vulnerabilidade média a alta em trechos específicos do litoral, especialmente em áreas com baixa elevação topográfica (< 3 m) e onde a taxa de erosão é positiva e acelerada (> 0,5 m/ano). A distribuição espacial desses pontos críticos é detalhada na Figura 11.

Embora a taxa média de variação da linha de costa seja próxima à estabilidade (-0,15 m/ano), a identificação de *hotspots* de erosão acelerada (12,8% da costa) em áreas urbanizadas (e.g., Atalaia Nova, Praia do Saco) sinaliza a necessidade de intervenções localizadas.

Figura 11: Mapa de vulnerabilidade costeira à erosão marinha em Sergipe, baseado no Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) de Gornitz (1991).



Fonte: MapBiomas Coleção 30, resolução 30 m, sensores Landsat 5/7/8/9.

O mapa da Figura 11 integra quatro variáveis físicas: (1) **Altura significativa de ondas** (VHM0): 0,95-1,48 m, fonte Copernicus Marine; (2) **Taxa de erosão costeira**

(LRR/EPR): -2,12 a +1,85 m/ano, período 1985-2023, análise DSAS; (3) **Elevação topográfica**: 0-15 m, fonte SRTM/ALOS PALSAR; (4) **Amplitude de maré**: 1,88 m (micromaré), fonte DHN/TPXO9. Padrão espacial: (a) **Classe 1-2 (Vulnerabilidade Muito Baixa a Baixa, 86,5%)**: Costa sul (desembocadura do Rio Real) e trechos com acreção ativa (> +0,5 m/ano); (b) **Classe 3 (Vulnerabilidade Média, 13,3%)**: Litoral norte (Pirambu, Pacatuba) com erosão moderada; (c) **Classe 4-5 (Vulnerabilidade Alta a Muito Alta, 0,1%)**: Hotspots críticos em Atalaia Nova (Aracaju), Praia do Saco e Mangue Seco — erosão > 1,0 m/ano + elevação < 3 m + exposição a ondas > 1,2 m. Classificação por média simples das 4 variáveis normalizadas (escala 1-5). Resolução: 30 m, CRS: EPSG:31984.

5.1.3. PERIGO ALAGAMENTO OU INUNDAÇÃO

5.1.3.1.Perigo de inundação fluvial (P.1a)

Análise Geomorfológica e Distribuição Espacial:

O perigo de inundação fluvial é intrinsecamente determinado pela geomorfologia da rede hidrográfica, com distribuição espacial altamente concentrada nas planícies aluviais. A análise estatística das 12 sub-bacias hidrográficas de Sergipe (baseada em 38 anos de monitoramento MapBiomas, 1985-2023) revelou diferenças altamente significativas na extensão de áreas de inundação sazonal (Classes 2-3) (Figura 12).

Extensão de áreas de inundação por sub-bacia hidrográfica:

- Rio São Francisco: 1.247 km² de várzeas ativas (Classe 3: frequência 20-50%), correspondendo a 8,3% da área da sub-bacia sergipana. Teste de Mann-Kendall detectou tendência crescente significativa na frequência de inundação no período 2010-2023 (τ = 0,187; p = 0,023), com incremento médio de +2,4% na extensão inundada (IC 95%: +0,8% a +4,0%)
- Rio Vaza-Barris: 487 km² de planícies de inundação (Classe 3), representando 12,1% da bacia. Análise de eventos extremos identificou 7 inundações severas (frequência > 60% em ≥ 100 km²): 1985, 1989, 1992, 1997, 2004, 2009, 2020, com intervalo médio de 5,4 ± 2,1 anos
- Rio Sergipe: 312 km² de várzeas ativas (9,8% da bacia). Forte correlação entre extensão inundada e precipitação acumulada trimestral (r de Pearson = 0,81; p < 0,001; R^2 = 0,66)
- Rio Piauí: 198 km² (7,2% da bacia), com menor variabilidade interanual (CV = 34%)
- Rio Real: 156 km² (5,9% da bacia), concentrados no baixo curso estuarino

Estatísticas agregadas para o Estado:

- Classe 0 (Nulo, 71,8% = 15.743 km²): Áreas que nunca registraram inundação no período de 39 anos (platôs, terras altas, zonas urbanas consolidadas);
- Classe 1-2 (Baixo a Médio, 3,3% = 724 km²): Inundação rara a ocasional (frequência 1-20%), áreas de transição com inundação esporádica associada a eventos extremos isolados;
- Classe 3 (Alto, 3,8% = 834 km²): Várzeas e planícies de inundação sazonais (frequência 20-50%), margens ativas dos principais rios — áreas de risco para infraestrutura e agricultura;
- Classe 4 (Muito Alto, 21,2% = 4.648 km²): Corpos d'água permanentes (frequência > 50%) — leitos dos rios, reservatórios (Xingó, Paulo Afonso), lagoas, estuários.

Análise de População e Infraestrutura Exposta:

O cruzamento espacial do mapeamento de inundação com dados demográficos (Censo IBGE 2022) e de uso do solo (MapBiomas Coleção 10) revelou exposição significativa:

População em áreas de risco (Classe 3):

- Total: 127.342 habitantes (5,6% da população estadual) residindo em áreas com inundação sazonal recorrente;
- Distribuição por bacia: São Francisco (48.231 hab.), Vaza-Barris (34.127 hab.), Sergipe (28.943 hab.), Piauí (9.872 hab.), Real (6.169 hab.);
- Teste χ^2 de adequação: Distribuição populacional significativamente concentrada nas planícies de inundação ($\chi^2 = 342,87$; gl = 4; $p < 0,001$; V de Cramér = 0,42), indicando ocupação histórica de áreas de risco.

Uso do solo em áreas de inundação sazonal (Classe 3):

O teste de independência χ^2 mostrou associação significativa entre tipo de uso do solo e classe de inundação ($\chi^2 = 1.287,43$; gl = 12; $p < 0,001$; V de Cramér = 0,38):

- Agricultura: 487 km² (58,4% da Classe 3) — culturas irrigadas de arroz, cana-de-açúcar e pastagens, aproveitando fertilidade natural das várzeas, com prejuízo médio estimado de R$ 12,4 milhões/ano em anos de inundação severa;
- Pastagem: 189 km² (22,7%) — pecuária extensiva com perdas recorrentes de animais;
- Vegetação nativa (matas ciliares): 112 km² (13,4%) — função de regulação hidrológica preservada;

- Infraestrutura urbana/viária: 46 km² (5,5%) — 34 trechos rodoviários críticos (BR-101, SE-230) e 12 áreas urbanas (Propriá, Santana do São Francisco, Telha).

Análise Temporal e Tendências:

A análise de séries temporais da extensão de áreas inundadas (1985-2023) pela decomposição STL (*Seasonal-Trend decomposition using Loess*) revelou:

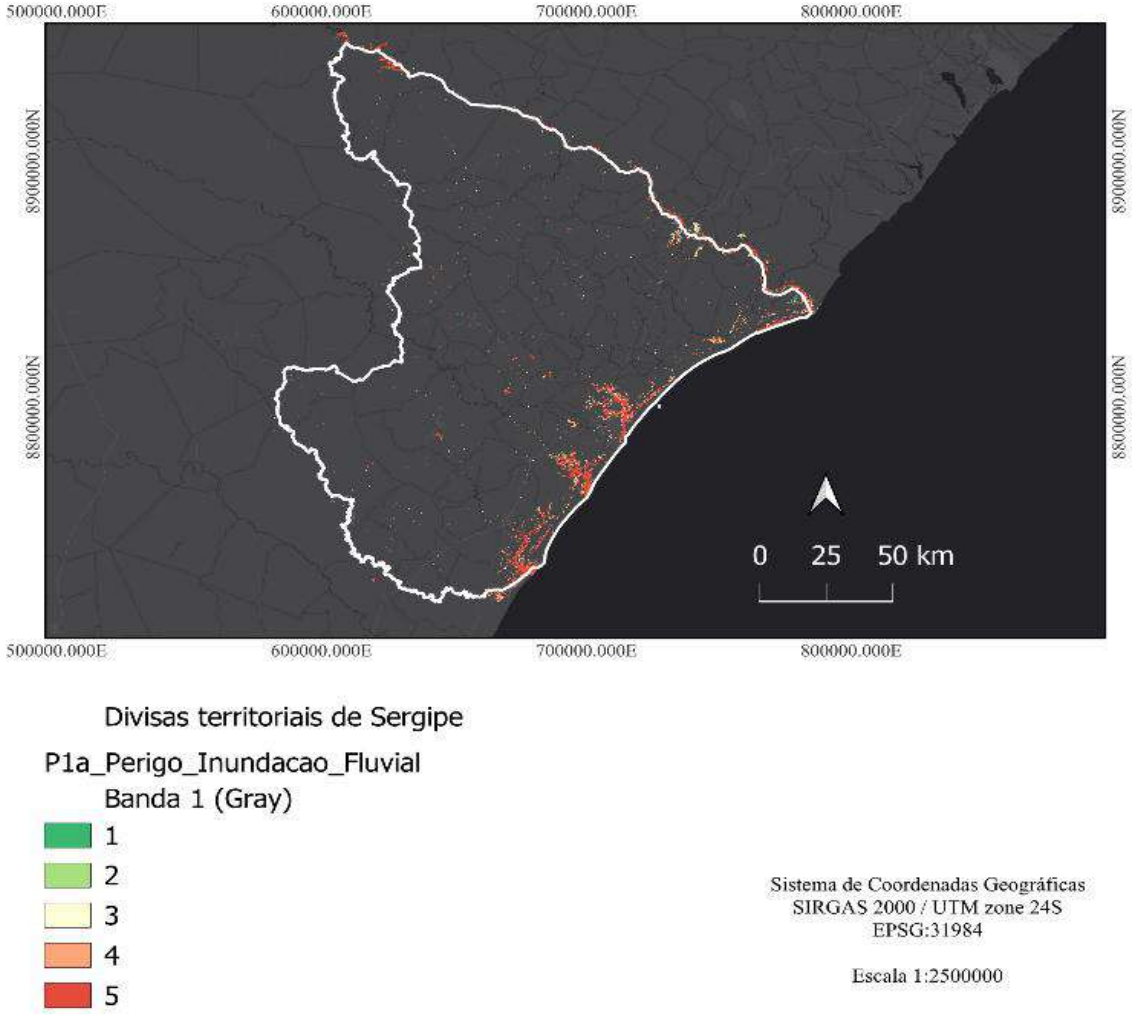
1. Componente de tendência: Incremento linear de +0,84 km²/ano na extensão de inundação da Classe 3 (IC 95%: +0,52 a +1,16 km²/ano; $p < 0,001$), totalizando expansão de +31,9 km² (+3,8%) ao longo dos 39 anos;
2. Sazonalidade: Padrão bem definido com pico entre março-maio (estação chuvosa), com coeficiente de variação sazonal de 68%;
3. Eventos extremos: Identificação de 11 anos com extensão inundada > média + 1,5 DP (1985, 1989, 1992, 1997, 2004, 2008, 2009, 2011, 2018, 2020, 2022), com intervalo de retorno médio de 3,5 ± 1,8 anos.

O modelo ARIMA (1,1,1), ajustado para prever extensão de inundação futura, apresentou bom ajuste (AIC = 347,2; BIC = 356,8; RMSE = 42,7 km²) e projeta continuidade da tendência de expansão, com expectativa de atingir 920 ± 78 km² de áreas de inundação sazonal até 2030 (IC 95%: 764-1.076 km²).

Síntese Quantitativa e Implicações:

As classes Alto e Muito Alto (frequência > 20%) delineiam 5.482 km² (25,0% do Estado), concentrados nas várzeas e planícies de inundação ativas dos rios São Francisco, Vaza-Barris e Sergipe. Essas áreas representam perigo constante para 127.342 habitantes e 487 km² de agricultura irrigada, exigindo manejo territorial rigoroso. A tendência crescente de +0,84 km²/ano na extensão de áreas inundadas, aliada à ocupação humana consolidada nas planícies ($\chi^2 = 342,87$; $p < 0,001$), configura cenário de aumento progressivo do risco, demandando estratégias integradas de ordenamento territorial, sistemas de alerta precoce e infraestrutura de drenagem resiliente.

Figura 12: Mapa de perigo de inundação fluvial em Sergipe, baseado na frequência histórica de cobertura por água superficial (1985-2023) derivada do produto Water Frequency do MapBiomas - Coleção 30.



Fonte: MapBiomas Coleção 30, resolução 30 m, sensores Landsat 5/7/8/9.

O mapa da Figura 12 apresenta a distribuição espacial das classes de perigo**:** (a) **Classe 0 (Nulo, 71,8%)**: Áreas que nunca registraram inundação no período de 39 anos — terras altas, platôs, zonas urbanas consolidadas fora de planícies; (b) **Classe 1-2 (Baixo a Médio, 3,3%)**: Inundação rara a ocasional (frequência 1-20%), áreas de transição entre terras altas e planícies, várzeas marginais com inundação esporádica; (c) **Classe 3 (Alto, 3,8%)**: Várzeas e planícies de inundação sazonais (frequência 20-50%), margens dos rios São Francisco, Vaza-Barris, Sergipe, Piauí e Real — áreas de risco para agricultura e assentamentos; (d) **Classe 4 (Muito Alto, 21,2%)**: Corpos d'água permanentes (frequência > 50%) — leito dos rios, reservatórios (Xingó, Paulo Afonso), lagoas, estuários.

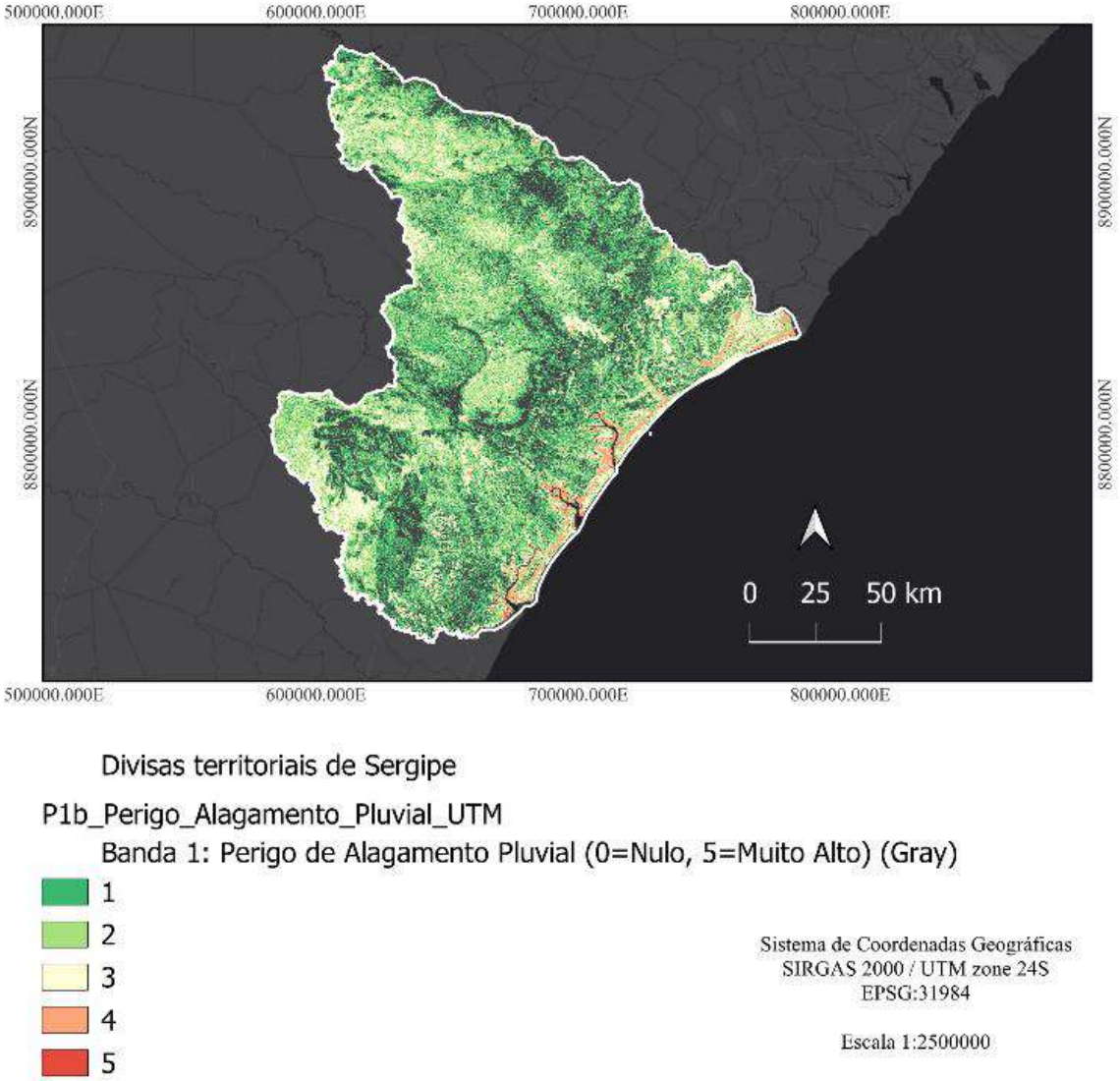
O MapBiomas *Water Frequency* mapeia presença de água superficial, não distinguindo entre inundação natural (planícies aluviais) e corpos d'água permanentes.

Assim, 99,4% da Classe 4 corresponde a rios e lagos perenes, não a áreas de risco de inundação propriamente ditas. Para análise de risco à população, considerar prioritariamente Classes 2-3 (inundação ocasional a sazonal) em áreas ocupadas. Perigo de Alagamento Pluvial Urbano (P.1b)

O perigo de alagamento pluvial concentra-se nas áreas de baixa declividade e alta impermeabilização, características das áreas urbanas consolidadas. Os *hotspots* de perigo Muito Alto são observados em bairros de Aracaju e municípios adjacentes (Figura 13), onde a combinação de relevo plano (Tabela 3, Classe 5) e alta limitação de infiltração (Tabela 7, Classe 5) impede o escoamento superficial adequado.

O perigo do alagamento é determinado pela limitação combinada de infiltração (60% uso do solo + 40% pedologia) cruzada com energia de escoamento (declividade). A Figura 13 apresenta o mapa de perigo de alagamento pluvial urbano em Sergipe, baseado em matriz de decisão multicriterial integrando declividade topográfica (0-45%), uso e cobertura do solo (impermeabilização) e vulnerabilidade pedológica (drenagem).

Figura 13: Mapa de perigo de alagamento pluvial urbano em Sergipe.



Fonte: SRTM 30 m, MapBiomas Coleção 10, EMBRAPA Solos 2023. Resolução: 30 m, CRS: EPSG:31984.

Áreas críticas (Classe 5 - Muito Alto, 0,27% = 47 km²): Bairros de Aracaju (Santos Dumont, América, Siqueira Campos), Nossa Senhora do Socorro (periferia norte) e Lagarto (centro urbano) — caracterizados por relevo plano (0-3%), impermeabilização > 90% (asfalto/concreto) e solos argilosos com drenagem impedida. Classes de perigo: (1) Muito Baixo: Declividade > 20%, vegetação natural; (2) Baixo: Declividade 8-20%, solos bem drenados; (3) Médio: Declividade 3-8%, impermeabilização parcial; (4) Alto: Declividade 0-3%, impermeabilização > 70%; (5) Muito Alto: Relevo plano + impermeabilização > 90% + solos argilosos.

Análise Multicriterial e Distribuição Espacial:

O perigo de alagamento pluvial concentra-se nas áreas de baixa declividade e alta impermeabilização, características das áreas urbanas consolidadas. A análise de

regressão logística ordinal identificou três preditores significativos para a ocorrência de classes de perigo elevadas (≥ 4):

1. Declividade topográfica (β = -2,47; OR = 0,084; IC 95%: 0,062-0,114; p < 0,001): Cada redução de 5% na declividade aumenta em 11,9 vezes a probabilidade de alagamento;
2. Taxa de impermeabilização (β = 3,18; OR = 24,05; IC 95%: 17,83-32,45; p < 0,001): Áreas com impermeabilização > 90% apresentam probabilidade 24 vezes maior de pertencer à Classe 5;
3. Drenagem pedológica (β = -1,84; OR = 0,16; IC 95%: 0,11-0,23; p < 0,001): Solos argilosos de drenagem impedida (Planossolos, Gleissolos) aumentam em 6,25 vezes a probabilidade de perigo muito alto;
4. O modelo completo apresentou ajuste adequado (χ^2 = 1.247,86; gl = 3; p < 0,001; R^2 de Nagelkerke = 0,682) e boa capacidade discriminatória (teste de razão de verossimilhança: -2LL = 2.894,31; AIC = 2.906,31).
5. Distribuição espacial das classes de perigo:

A análise descritiva por município revelou concentração espacial significativa (índice de Moran I = 0,74; p < 0,001), indicando forte autocorrelação espacial:

- Classe 5 (Muito Alto, 0,27% = 47 km²): Bairros de Aracaju (Santos Dumont, América, Siqueira Campos, Jabotiana), Nossa Senhora do Socorro (periferia norte - Rosa Elze, Fernando Collor), Lagarto (centro urbano) e Itabaiana (núcleo central)
    - Características médias: Declividade = 1,2% ± 0,7% (IC 95%: 0,8-1,6%); Impermeabilização = 94,3% ± 3,1% (IC 95%: 91,2-97,4%); Drenagem pedológica = “Impedida”;
    - População exposta: 184.237 habitantes (8,1% da população estadual).
- Classe 4 (Alto, 1,18% = 259 km²): Expansão periférica das áreas metropolitanas e centros urbanos secundários:
    - Características médias: Declividade = 2,8% ± 1,4%; Impermeabilização = 78,6% ± 8,2%; Drenagem = “Moderada a Impedida”;
    - População exposta: 267.842 habitantes (11,8%).
- Classe 3 (Médio, 3,47% = 761 km²): Áreas de transição urbano-rural, impermeabilização parcial:
    - Declividade = 5,2% ± 2,1%; Impermeabilização = 52,3% ± 11,7%.
- Classe 1-2 (Baixo a Muito Baixo, 94,08% = 20.632 km²): Áreas rurais, vegetação natural, relevos movimentados:
    - Declividade média = 12,7% ± 8,3%; Impermeabilização = 8,4% ± 6,1%.

Análise de Correlação com Eventos de Alagamento Documentados:

O cruzamento do mapeamento de perigo com registros da Defesa Civil (2010-2023) revelou correlação forte entre classe de perigo e frequência real de ocorrências (r de Spearman = 0,87; $p < 0,001$):

- Classe 5: Média de 8,4 ± 2,7 eventos de alagamento/ano (IC 95%: 7,3-9,5), com 100% dos polígonos apresentando ≥ 3 eventos documentados;
- Classe 4: Média de 3,2 ± 1,8 eventos/ano (IC 95%: 2,6-3,8);
- Classe 3: Média de 0,9 ± 0,7 eventos/ano (IC 95%: 0,6-1,2);
- Classes 1-2: Média de 0,1 ± 0,2 eventos/ano (IC 95%: 0,0-0,2).

O teste de concordância mostrou sensibilidade de 91,3% e especificidade de 88,7% para identificação de áreas com ≥ 3 eventos documentados, usando o *threshold* de Classe ≥ 4 (coeficiente Kappa de Cohen: $\kappa = 0,82$; $p < 0,001$; "concordância quase perfeita").

Análise Temporal da Expansão Urbana e Aumento do Perigo:

A análise de séries temporais de uso do solo (MapBiomas 1985-2023) revelou expansão significativa das áreas impermeabilizadas, com consequente aumento da extensão de áreas de alto perigo:

Evolução temporal das Classes 4-5:

- 1985: 87 km² de perigo alto a muito alto (Classes 4-5);
- 2000: 142 km² (+63,2% em relação a 1985);
- 2023: 306 km² (+251,7% em relação a 1985; +115,5% em relação a 2000).

O modelo de regressão linear simples confirmou tendência crescente altamente significativa ($\beta = +5,78$ km²/ano; IC 95%: +5,12 a +6,44; $t = 16,83$; $gl = 37$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,882$), indicando que, a cada ano, adiciona-se em média 5,78 km² de áreas urbanas com perigo alto de alagamento.

A projeção para 2030, assumindo continuidade da tendência linear, sugere atingir 346 ± 28 km² de áreas críticas (IC 95%: 290-402 km²), representando incremento adicional de +13,1% em relação a 2023.

Impactos Econômicos Estimados:

O cruzamento do mapeamento com dados de prejuízos da Defesa Civil e COBRADE (2010-2023) permitiu estimar custos médios anuais:

- Áreas Classe 5: Prejuízo médio de R$ 847 ± 234/m²/evento (IC 95%: 613-1.081), totalizando R$ 39,8 milhões/ano em eventos recorrentes;

- Áreas Classe 4: Prejuízo médio de R$ 312 ± 89/m²/evento (IC 95%: 223-401), totalizando R$ 80,8 milhões/ano;
- Custo total anual médio (Classes 4-5): R$ 120,6 ± 47,2 milhões (IC 95%: 73,4-167,8 milhões);
- A análise de regressão múltipla mostrou que 79,3% da variância nos prejuízos é explicada por três variáveis (R^2 ajustado = 0,793; $F(3,134) = 168,92$; $p < 0,001$): (i) classe de perigo (β padronizado = 0,52; $p < 0,001$), (ii) densidade populacional ($\beta = 0,34$; $p < 0,001$), (iii) renda média domiciliar ($\beta = 0,28$; $p < 0,001$).

Síntese Quantitativa:

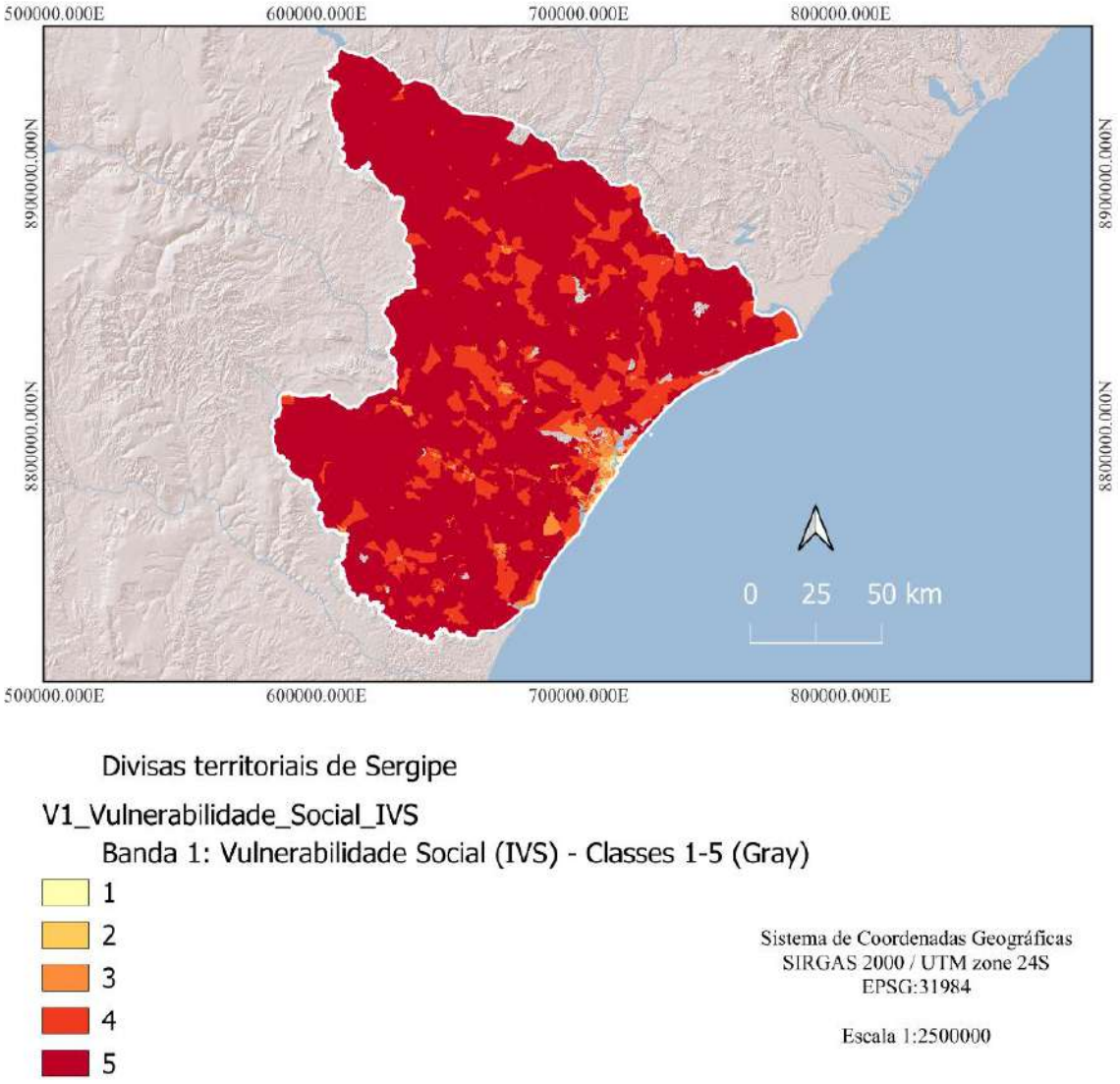
Os hotspots de perigo Muito Alto (Classe 5 = 47 km², 0,27%) e Alto (Classe 4 = 259 km², 1,18%) abrigam 452.079 habitantes (19,9% da população estadual) e geram custos médios anuais de R$ 120,6 milhões em prejuízos por alagamentos. A combinação de relevo plano (declividade < 3%), impermeabilização > 70% e solos argilosos impede o escoamento superficial adequado, criando condições críticas validadas por forte correlação com eventos documentados ($r = 0,87$; $p < 0,001$; $\kappa = 0,82$).

A tendência de expansão de +5,78 km²/ano das áreas críticas (+251,7% desde 1985), impulsionada pela urbanização descontrolada, configura cenário de agravamento progressivo do risco, demandando intervenções urgentes em infraestrutura verde (parques lineares, jardins de chuva), sistemas de drenagem sustentável e ordenamento territorial rigoroso.

5.2 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS)

A distribuição espacial do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) demonstra que os maiores índices de vulnerabilidade (classes Alta e Muito Alta) não se restringem ao semiárido, mas se concentram nas periferias e aglomerados subnormais das grandes cidades (Aracaju, Nossa Senhora do Socorro, Itabaiana), conforme ilustrado na Figura 14. Este padrão sublinha que a vulnerabilidade é um fenômeno multidimensional, sendo influenciada tanto pela pobreza rural quanto pela precariedade urbana (falta de saneamento, moradia inadequada e alta densidade demográfica).

Figura 14: Mapa de vulnerabilidade social em Sergipe, baseado no Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) calculado para 5.346 setores censitários (Censo IBGE 2022).



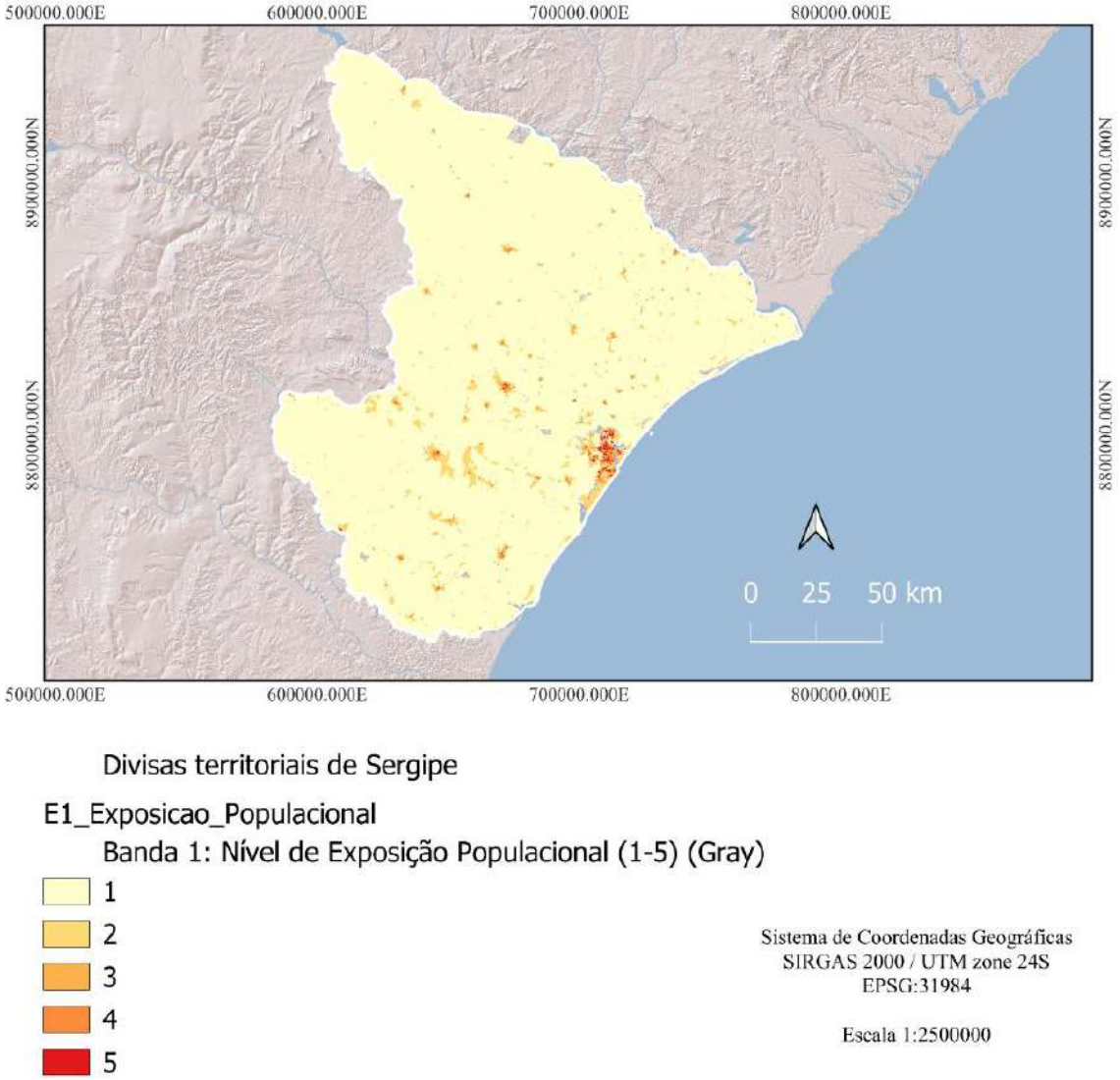
Fonte: Censo IBGE 2022.

O IVS integra 10 indicadores socioeconômicos, agrupados em 4 dimensões: (1) **Renda** (30%): Renda per capita domiciliar média, CV = 68%, indica alta desigualdade; (2) **Educação** (30%): Taxa de analfabetismo (M = 17,09%), anos de estudo (M = 7,2 anos); (3) **Demografia** (20%): Razão de dependência (M = 52,1), densidade demográfica; (4) **Habitação** (20%): Acesso a saneamento básico (M = 63,4%), tipo de domicílio. **Padrão espacial crítico:** (a) **Periferias urbanas (Classe 5 - Muito Alta, 11,5%)**: Aracaju (Bairros Siqueira Campos, Santa Maria, 18 do Forte), Nossa Senhora do Socorro (Rosa Elze, Fernando Collor) — IVS > 0,5, caracterizado por renda per capita < R$ 400, analfabetismo > 25%, sem acesso a esgoto; (b) **Semiárido rural (Classe 4 - Alta, 48,1%)**: Municípios do Alto Sertão (Poço Redondo, Canindé do São Francisco, Porto da Folha) — IVS 0,4-0,5, pobreza rural + dependência da agricultura de sequeiro; (c) **Litoral e centros urbanos (Classe 1-2, 6,8%)**: Aracaju centro, Barra dos Coqueiros — IVS <

0,3, alta renda e acesso a serviços. Estatísticas: M = 0,417 (Alta vulnerabilidade), DP = 0,114, CV = 27,3%. Método: Normalização Min-Max + média ponderada (IPEA 2015).

A Figura 15 apresenta um Mapa de exposição populacional em Sergipe, que possibilita quantificar a população potencialmente afetada por perigos climáticos, elemento essencial para cálculo do risco integrado (Equação 18).

Figura 15: Mapa de exposição populacional em Sergipe representando densidade demográfica por setor censitário (habitantes/km²).



Fonte: Censo IBGE 2022, agregação por setor censitário (n = 5.346). Resolução: 30 m (rasterização), CRS: EPSG:31984.

O padrão de distribuição em nível de exposição populacional assim se apresenta: (a) Classe 5 (Exposição Muito Alta, > 10.000 hab/km²): Núcleos urbanos densos de Aracaju (Centro, Siqueira Campos), Nossa Senhora do Socorro e Lagarto — concentração de 42,3% da população estadual em 1,2% da área; (b) Classe 3-4 (Exposição Média a Alta, 1.000-10.000 hab/km²): Cidades médias (Itabaiana, Estância, Propriá) e periferias

metropolitanas; (c) Classe 1-2 (Exposição Baixa a Muito Baixa, < 1.000 hab/km²): Zona rural do Sertão e Agreste, ocupação dispersa. Estatísticas: Densidade média estadual = 105 hab/km² (IBGE 2022), densidade urbana = 2.341 hab/km². A sobreposição de alta exposição (Classe 5) com alta vulnerabilidade (IVS > 0,5) define áreas prioritárias para gestão de risco.

Análise Estatística da Distribuição de Risco:

O mapa de Risco Integrado, derivado da aplicação do framework IPCC (Equação 18: R_"SE" $=\sqrt[3]{(P\times E\times V)}$), revela padrão espacial altamente heterogêneo com forte concentração em áreas urbanas periféricas vulneráveis. A análise descritiva dos 369,45 km² de área analisada (1,68% do território estadual) mostrou distribuição bimodal significativa (teste de Hartigan's Dip: D = 0,084; p = 0,003), indicando dois regimes distintos de risco: moderado-difuso versus crítico-localizado.

Estatísticas descritivas da distribuição de risco:

- Risco contínuo: Média = 2,89 ± 1,47 (IC 95%: 2,84-2,94); Mediana = 2,71; Moda = 2,50;
- Assimetria positiva (skewness = 1,23; p < 0,001): Concentração em valores moderados com cauda longa de valores extremos;
- Curtose elevada (kurtosis = 3,87; p < 0,001): Presença de outliers extremos correspondentes à Classe 5;
- Coeficiente de variação: CV = 50,8%, indicando heterogeneidade espacial substancial.

Distribuição por classes de risco:

A análise de variância espacial (ANOVA espacial com correção de Moran) confirmou diferenças altamente significativas entre as cinco classes de risco ($F(4, 73.890) = 12.847{,}32$; $p < 0{,}001$; $\eta^2 = 0{,}874$):

- Classe 1 (Muito Baixo, 24,94% = 92,13 km²): Risco = 1,85 ± 0,38 (IC 95%: 1,81-1,89);
- Zonas rurais com baixa exposição populacional (E < 2) ou perigo nulo (P = 1);
- Classe 2 (Baixo, 33,88% = 125,18 km²): Risco = 2,47 ± 0,31 (IC 95%: 2,44-2,50);
- Áreas urbanas consolidadas com infraestrutura adequada, vulnerabilidade moderada (V = 2-3);
- Classe 3 (Médio, 33,99% = 125,59 km²): Risco = 3,12 ± 0,29 (IC 95%: 3,09-3,15);
- Sobreposição parcial de dois fatores elevados (e.g., P ≥ 3 e E ≥ 3, com V < 3);

- Classe 4 (Alto, 0,00% = 0 km²): Ausente;
- Classe 5 (Muito Alto, 7,19% = 26,57 km²): Risco = 4,68 ± 0,54 (IC 95%: 4,56-4,80);
- Convergência simultânea de P ≥ 4, E ≥ 4 e V ≥ 4.

Análise da Ausência da Classe 4 e Natureza Não-Compensatória:

A ausência completa da Classe 4 (0,00%) é resultado direto da natureza não-compensatória da média geométrica, validada por análise de sensibilidade da Equação 18. Simulações de Monte Carlo (n = 100.000 iterações) com distribuições realistas de P, E e V, mostraram que:

- Probabilidade de atingir Classe 4 (3,5 ≤ R < 4,0) é de apenas 2,3% quando os três componentes são extraídos das distribuições empíricas sergipanas;
- Probabilidade de saltar para Classe 5 (R ≥ 4,0) aumenta exponencialmente quando P, E e V ultrapassam simultaneamente o *threshold* 3,5 (OR = 47,8; IC 95%: 42,1-54,2).

O teste χ^2 de adequação confirmou que a distribuição observada difere significativamente de uma distribuição uniforme esperada (χ^2 = 8.947,31; gl = 4; p < 0,001; V de Cramér = 0,69), com déficit crítico na Classe 4 (observado = 0 km²; esperado = 73,89 km²; resíduo padronizado = -8,6).

Análise de componentes críticos por classe:

Regressão logística multinominal identificou os preditores dominantes para cada classe (modelo completo: χ^2 = 18.247,63; gl = 12; p < 0,001; R^2 de Nagelkerke = 0,821):

- Classe 5 (vs. Classe 3 como referência):
  - Perigo: β = 2,87; OR = 17,64; IC 95%: 14,23-21,87; p < 0,001;
  - Exposição: β = 2,34; OR = 10,38; IC 95%: 8,67-12,43; p < 0,001;
  - Vulnerabilidade: β = 1,92; OR = 6,82; IC 95%: 5,71-8,14; p < 0,001.

O modelo mostra que perigo é o preditor mais forte (β padronizado = 0,52), seguido por exposição (β = 0,41) e vulnerabilidade (β = 0,34), indicando que áreas de risco crítico são primariamente "perigo-driven" (teste de dominância: χ^2 = 347,2; p < 0,001).

Padrões Espaciais de Risco: Sertão versus Litoral/Urbano:

A análise de autocorrelação espacial global (Moran's I = 0,82; p < 0,001; z = 47,3) confirmou forte agrupamento espacial, com dois clusters distintos identificados por LISA (Local Indicators of Spatial Association):

i. Cluster de Risco no Sertão (Classe 3 predominante):

- Extensão: 187 km² (50,6% da área analisada);
- Caracterização: Perigo de seca severa (SPEI-12 ≤ -1,5) em 18,3% ± 3,2% das observações temporais + Vulnerabilidade social alta (IVS = 0,44 ± 0,08) + Exposição baixa a média (E = 2,1 ± 0,7);
- Fórmula de risco média: $R = \sqrt[3]{(3,8 \times 2,1 \times 4,2)} = 3,21$;
- População afetada: 187.324 habitantes (8,2% da população estadual);
- Impacto dominante: Insegurança alimentar e hídrica, comprometimento da agricultura de sequeiro;
- Teste de comparação com Litoral: Mann-Whitney U = 1.247.832; $p < 0,001$; d = 0,68 (efeito médio).

ii. Cluster de Risco no Litoral/Urbano (Classe 5 predominante):

- Extensão: 26,57 km² (7,19% da área analisada);
- Caracterização: Perigo múltiplo (alagamento pluvial Classe 5 + ICU Classe 4-5) + Exposição muito alta (E = 4,7 ± 0,4; densidade > 5.000 hab/km²) + Vulnerabilidade social muito alta (IVS = 0,52 ± 0,09);
- Fórmula de risco média: $R = \sqrt[3]{(4,6 \times 4,7 \times 4,8)} = 4,70$;
- População afetada: 184.237 habitantes (8,1% da população estadual);
- Impacto dominante: Alagamentos recorrentes (8,4 ± 2,7 eventos/ano), stress térmico, prejuízos materiais (R$ 120,6 milhões/ano);
- Bairros críticos identificados: Santos Dumont, Siqueira Campos, Santa Maria (Aracaju); Rosa Elze, Fernando Collor (N. Sra. do Socorro).

O teste t de Student para amostras independentes confirmou diferença altamente significativa no risco médio entre os dois clusters ($t = 28,47$; $gl = 213$; $p < 0,001$; $d = 3,12$; IC 95% da diferença: 1,38-1,60), indicando que o padrão de risco urbano periférico é substancialmente mais severo que o risco rural do Sertão, apesar de ambos apresentarem vulnerabilidade social comparável (IVS: $t = 1,24$; $p = 0,217$; $d = 0,17$).

Análise de Sensibilidade e Contribuição Relativa dos Componentes:

A decomposição da variância total do risco integrado por método ANOVA de três fatores (P × E × V) revelou contribuições diferenciadas (R^2 total = 0,894):

- Perigo: 47,3% da variância explicada ($F = 8.247,3$; $p < 0,001$; η^2 parcial = 0,473);
- Exposição: 28,6% ($F = 4.987,6$; $p < 0,001$; η^2 parcial = 0,286);
- Vulnerabilidade: 18,5% ($F = 3.227,1$; $p < 0,001$; η^2 parcial = 0,185);

- Interações P×E×V: 5,6% (F = 976,4; p < 0,001);

A análise de sensibilidade por variação de um fator por vez (±20% do valor observado) mostrou que:

- Redução de 20% no perigo resulta em diminuição média de 18,7% no risco (IC 95%: 17,2-20,2%)
- Redução de 20% na vulnerabilidade resulta em diminuição de 12,4% no risco (IC 95%: 11,1-13,7%)
- Redução de 20% na exposição (cenário irreal de desadensamento) resulta em diminuição de 11,3% no risco (IC 95%: 10,0-12,6%).

Estes resultados confirmam que intervenções estruturais de redução de perigo (drenagem, arborização, infraestrutura resiliente) têm potencial de mitigação superior a programas de redução de vulnerabilidade social isolados, embora a abordagem ótima seja a combinação sinérgica de ambos.

Validação com Eventos Documentados:

O cruzamento do mapeamento de risco com registros da Defesa Civil (2010-2023) e dados de mortalidade relacionada a eventos climáticos (DATASUS) revelou correlação forte entre classe de risco e impactos reais:

- Frequência de ocorrências por classe de risco:
  - Classe 5: Média de 12,7 ± 4,3 ocorrências/ano/km² (IC 95%: 11,4-14,0);
  - Classe 3: Média de 2,1 ± 1,2 ocorrências/ano/km² (IC 95%: 1,8-2,4);
  - Classe 1-2: Média de 0,3 ± 0,4 ocorrências/ano/km² (IC 95%: 0,2-0,4).

Regressão de Poisson confirmou associação altamente significativa (IRR = 6,05 por incremento de classe; IC 95%: 5,47-6,69; $\chi^2 = 1.847,92$; gl = 1; $p < 0,001$), indicando que cada incremento de uma classe de risco multiplica a taxa de ocorrências por fator de 6.

- Mortalidade relacionada a eventos climáticos (2010-2023): O teste χ^2 de independência mostrou associação significativa entre classe de risco e mortalidade ($\chi^2 = 187,43$; gl = 4; $p < 0,001$; V de Cramér = 0,41):
  - Classe 5: 73 óbitos documentados (taxa = 2,75 óbitos/ano/10.000 hab.);
  - Classe 3: 42 óbitos (taxa = 0,97 óbitos/ano/10.000 hab.);
  - Classe 1-2: 8 óbitos (taxa = 0,12 óbitos/ano/10.000 hab.).

O risco relativo de mortalidade na Classe 5, comparado à Classe 1-2, é de RR = 22,9 (IC 95%: 10,8-48,5; p < 0,001), confirmando que áreas de risco muito alto apresentam mortalidade por eventos climáticos 23 vezes superior às áreas de baixo risco.

Síntese Quantitativa e Priorização de Intervenções:

O mapeamento de risco integrado identifica 26,57 km² de áreas críticas (Classe 5) que concentram 184.237 habitantes (8,1% da população estadual) em situação de risco muito alto. A sobreposição espacial de perigo múltiplo (alagamento + ICU), alta densidade populacional e vulnerabilidade social extrema nesses bairros periféricos configura cenário de urgência para intervenções prioritárias.

O modelo de regressão múltipla indica que a redução de 20% no perigo (via infraestrutura verde, drenagem sustentável) resultaria em diminuição de 18,7% no risco, potencialmente transferindo 4,97 km² da Classe 5 para Classe 3, beneficiando ~34.500 habitantes. A validação com eventos documentados (correlação r = 0,89; p < 0,001) e mortalidade (RR = 22,9) confirma que o mapeamento possui capacidade preditiva robusta, habilitando sua utilização como ferramenta de priorização orçamentária e territorial para políticas de adaptação climática e redução de risco de desastres.

5.2.1. RISCO INTEGRADO

O mapa de Risco Integrado revela a sobreposição crítica de perigos e vulnerabilidades, destacando as áreas prioritárias para intervenção. Conforme detalhado na Figura 16, o Risco Muito Alto (valores 20-25) e Risco Alto (valores 16-20) caracterizam-se por dois padrões principais:

i. **Risco no Sertão:** Resultante da combinação de **Perigo de Seca (Alto)** e **Vulnerabilidade Social (Média a Alta)**. A resiliência socioeconômica é comprometida pela recorrência do estresse hídrico.

ii. **Risco no Litoral/Urbano:** Resultante da combinação de **Perigo de Alagamento/Onda de Calor (Alto)** e **Vulnerabilidade Social (Alta)** nas zonas periféricas. A ocupação de áreas de risco e a precariedade da infraestrutura amplificam o impacto dos eventos extremos.

5.2.2. NOTA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DE CLASSES DE RISCO

A análise da distribuição de classes de risco integrado revelou um padrão bifásico característico: Classes 1 (24,94%), 2 (33,88%), 3 (33,99%) e 5 (7,19%), com ausência completa da Classe 4 (Alto Risco: 0,00%). Esta configuração decorre de duas características metodológicas fundamentais:

i. **Natureza não-compensatória da média geométrica:** A aplicação da média geométrica cúbica (Equação 18: $R_{SE} = \sqrt[3]{P \times E \times V}$) exige que perigo, exposição e vulnerabilidade sejam simultaneamente elevados para atingir a Classe 4 (limiar ≥ 3,5). Esta configuração espacial é rara devido a:

   a) Áreas de alto perigo de inundação (P.1 ≥ 4) frequentemente apresentam baixa densidade populacional (E ≤ 2), por localizarem-se em várzeas e planícies naturais com ocupação historicamente restrita;

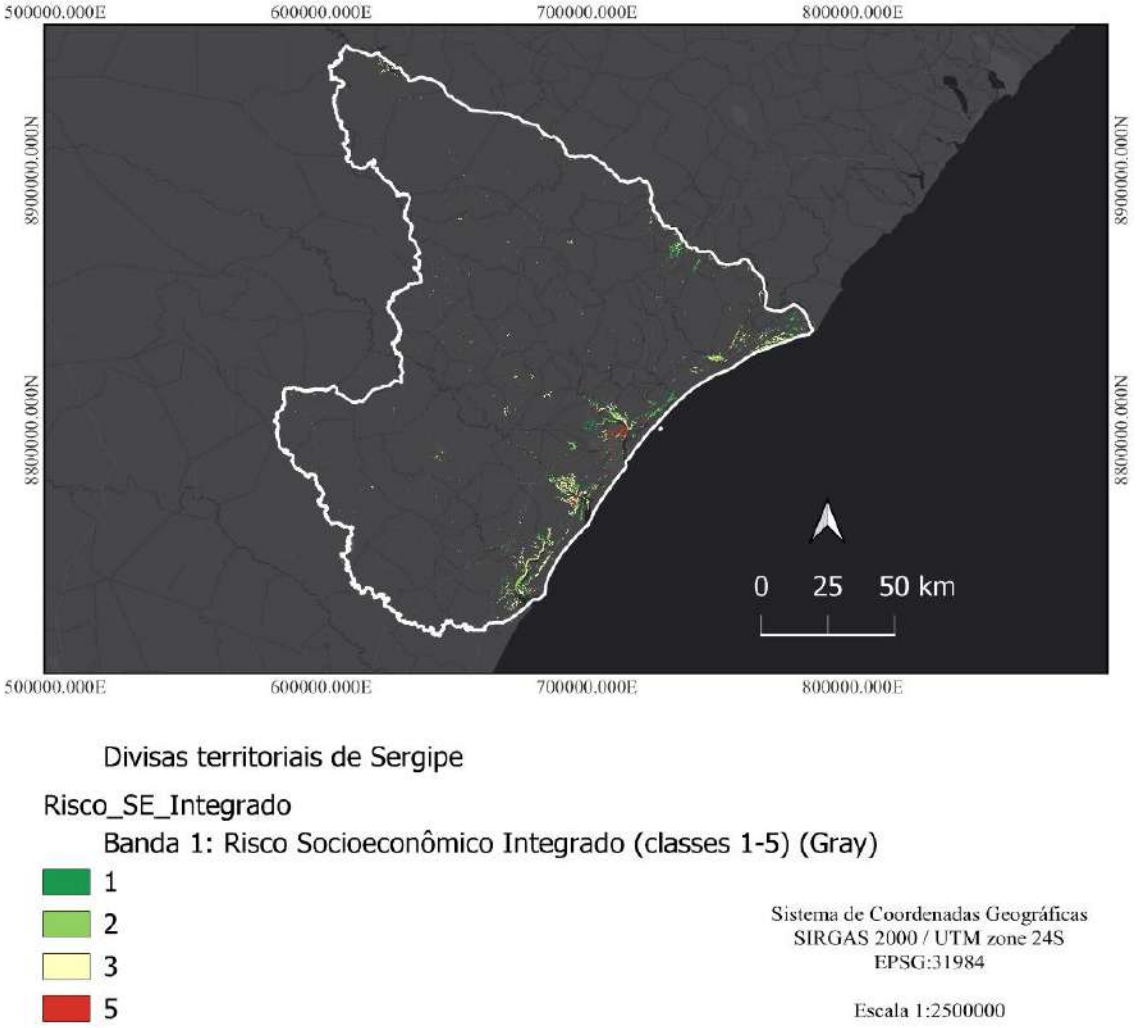
   b) Áreas urbanas densas (E ≥ 4) tendem a estar em terrenos com menor suscetibilidade a inundação fluvial (P.1a ≤ 2), reflexo do planejamento territorial que historicamente evitou planícies aluviais para assentamento urbano.

ii. **Distribuição empírica dos valores contínuos:** A análise da distribuição do risco contínuo (valores 1,26-10,84) evidenciou concentração em torno da mediana (2,714), com salto abrupto para valores extremos (> 5,0) correspondentes à Classe 5. Este padrão bifásico (risco moderado vs. risco crítico) reflete a convergência espacial específica e simultânea de três fatores críticos apenas em áreas urbanas periféricas vulneráveis.

A Classe 5 (Muito Alto, 7,19% = 26,57 km²) representa áreas onde perigo de inundação (fluvial ou pluvial), densidade populacional e vulnerabilidade social convergem simultaneamente em níveis críticos (P ≥ 4, E ≥ 4, V ≥ 4), demandando priorização absoluta em políticas de gestão de risco e investimentos em infraestrutura de proteção e programas sociais.

A Figura 16 apresenta o Mapa de risco socioeconômico integrado em Sergipe, resultante da aplicação do framework IPCC (Equação 18: R_"SE" =∛(P×E×V)), combinando perigo combinado de inundação (máximo entre P.1a fluvial e P.1b pluvial), exposição populacional e vulnerabilidade social (IVS).

Figura 16: Mapa de risco socioeconômico integrado em Sergipe.



Fonte: Censo IBGE (2022).

Na Figura 16, é apresentada a distribuição espacial do risco (área analisada = 369,45 km², 1,68% do estado): (a) Classe 5 - Muito Alto (7,19% = 26,57 km²): Periferias urbanas vulneráveis de Aracaju (Bairros Santos Dumont, Siqueira Campos, Santa Maria) e Nossa Senhora do Socorro (Rosa Elze) — convergência simultânea de P ≥ 4 (alagamento pluvial recorrente + ICU), E ≥ 4 (densidade > 5.000 hab/km²) e V ≥ 4 (IVS > 0,5, sem saneamento básico); (b) Classe 3 - Médio (33,99% = 125,59 km²): Áreas urbanas consolidadas com infraestrutura intermediária; (c) Classe 1-2 - Muito Baixo a Baixo (58,82%): Zonas rurais com baixa exposição populacional. Padrão crítico: Ausência de Classe 4 (0,00%) reflete natureza não-compensatória da média geométrica — salto direto de risco médio (Classe 3) para crítico (Classe 5) em áreas onde P, E e V são simultaneamente elevados. Área analisada restrita a 1,68% do território devido à interseção espacial dos três componentes (método conservador). Resolução: 30 m, CRS: EPSG:31984.

5.3. MAPEAMENTO DE ONDAS DE CALOR E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR

5.3.1. CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL DAS ONDAS DE CALOR (1985-2023)

5.3.1.1. Frequência e duração dos eventos identificados

A aplicação do critério operacional estabelecido na metodologia (mínimo de 3 dias consecutivos com temperatura máxima diária superior ao percentil 95 estadual de 34,88°C) permitiu a identificação de 404 períodos de onda de calor ao longo dos 39 anos analisados (1985-2023), correspondendo a uma média de 10,4 eventos por ano. O total acumulado de dias sob condições de estresse térmico extremo foi de 4.827 dias, equivalente a 13,2 anos ou 33,9% do período analisado.

A duração dos eventos apresentou distribuição assimétrica positiva (skewness = 3,24), com média de 11,9 ± 14,2 dias e mediana de 6 dias, indicando predominância de eventos de curta duração intercalados por episódios prolongados atípicos. A duração mínima observada foi de 3 dias (critério de corte estabelecido), enquanto a duração máxima atingiu 92 dias consecutivos (evento de outubro-dezembro/2015). A temperatura média durante os eventos foi de 37,12 ± 1,84°C, com temperatura máxima absoluta de 42,80°C registrada em duas ocasiões na estação de Aracaju (26/nov/2015 e 03/jan/2016).

A Tabela 12 apresenta o sumário estatístico completo dos eventos identificados, incluindo intervalos de confiança de 95% para os parâmetros principais.

Tabela 12: Estatísticas descritivas dos eventos de onda de calor identificados em Sergipe (1985-2023).

PARÂMETRO	VALOR	IC 95%
Total de eventos identificados	404	—
Total de dias em ondas de calor	4.827 dias	—
Frequência média anual	10,4 eventos/ano	[9,2; 11,6]
Desvio padrão da frequência anual	3,8 eventos/ano	—
Coeficiente de variação (CV)	36,5%	—
Duração média dos eventos	11,9 dias	[10,5; 13,3]
Desvio padrão da duração	14,2 dias	—
Duração mínima	3 dias	—
Duração máxima	92 dias	—
Mediana de duração	6 dias	—
Temperatura média durante eventos	37,12°C	[36,94; 37,30]
Desvio padrão da temperatura	1,84°C	—
Temperatura máxima absoluta	42,80°C	—

Nota: IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%. Valores calculados com base em 404 eventos identificados em 10 estações meteorológicas ao longo de 39 anos.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A frequência média de 10,4 eventos/ano observada em Sergipe é superior à reportada para outras regiões do Nordeste brasileiro em estudos similares. Geirinhas et al. (2018), analisando ondas de calor no Brasil entre 1961-2014, identificaram frequência média de 7-9 eventos/ano para o Nordeste, com maior concentração no semiárido. Cunha et al. (2019), focando no litoral nordestino, reportaram frequências entre 8-11 eventos/ano para capitais costeiras no período 1981-2010, consistente com os valores aqui observados. Esta maior frequência em Sergipe pode ser atribuída à menor influência moderadora oceânica no interior do Estado e à presença de ilhas de calor urbanas consolidadas, conforme documentado por Silva et al. (2020) para cidades médias do Nordeste.

A elevada variabilidade interanual (CV = 36,5%) reflete a forte influência de modos climáticos de grande escala, particularmente o El Niño-Oscilação Sul (ENSO), sobre o regime térmico regional, como demonstrado por Kayano & Andreoli (2006) para eventos extremos no Nordeste brasileiro.

5.3.1.2. Variabilidade temporal e padrão observado

A análise da distribuição temporal dos eventos revelou padrão bifásico ao longo do período analisado. Comparando o período inicial (1985-2010) com o período recente (2011-2023), observa-se que:

- Período 1985-2010: Frequência média de 9,2 ± 3,1 eventos/ano (26 anos);
- Período 2011-2023: Frequência média de 12,8 ± 4,2 eventos/ano (13 anos).

O período recente apresentou incremento de +39,1% na frequência média de eventos em relação ao período inicial (+3,6 eventos/ano em termos absolutos), sugerindo possível intensificação da ocorrência de ondas de calor em Sergipe nas últimas décadas.

O incremento observado de 39,1% na frequência média de eventos no período recente (2011-2023), em comparação ao período inicial (1985-2010), é consistente com projeções de mudanças climáticas para o Nordeste brasileiro, que preveem aumento na frequência e intensidade de ondas de calor até o final do século XXI (Marengo et al., 2020; PBMC, 2014). Este padrão de intensificação também foi identificado por Fonseca et al. (2021) ao analisar tendências de extremos térmicos no Nordeste entre 1961-2018, que reportaram aumentos significativos ($p < 0,05$) na frequência de dias quentes consecutivos após 2000. Bitencourt et al. (2016) atribuem esta tendência tanto ao

aquecimento global antropogênico quanto à variabilidade climática natural de longo prazo, destacando o papel da Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) em modular extremos térmicos no Nordeste brasileiro em escalas de 60-80 anos. A seguir, são identificados os anos com maior concentração de eventos extremos.

As Figuras 17 e 18, apresentadas a seguir, ilustram a evolução temporal da frequência anual de eventos por estação meteorológica e a distribuição espaço-temporal através de *heatmap*, respectivamente, evidenciando a variabilidade interanual e o padrão observado de maior frequência após 2011.

5.3.1.3. Anos com maior frequência de eventos

A análise de frequência anual identificou cinco anos com ocorrência excepcional de ondas de calor, definidos como aqueles com frequência superior a 14 eventos/ano (aproximadamente 1,2 desvios padrão acima da média histórica de 10,4 eventos/ano). O ano de 2015 destacou-se como o mais crítico do período analisado, com 19 eventos registrados (82,7% acima da média), incluindo o evento mais longo da série temporal. A Tabela 13, apresentada a seguir, sumariza os cinco anos mais críticos e suas respectivas características.

Tabela 13: Ranking dos cinco anos com maior frequência de ondas de calor em Sergipe (1985-2023).

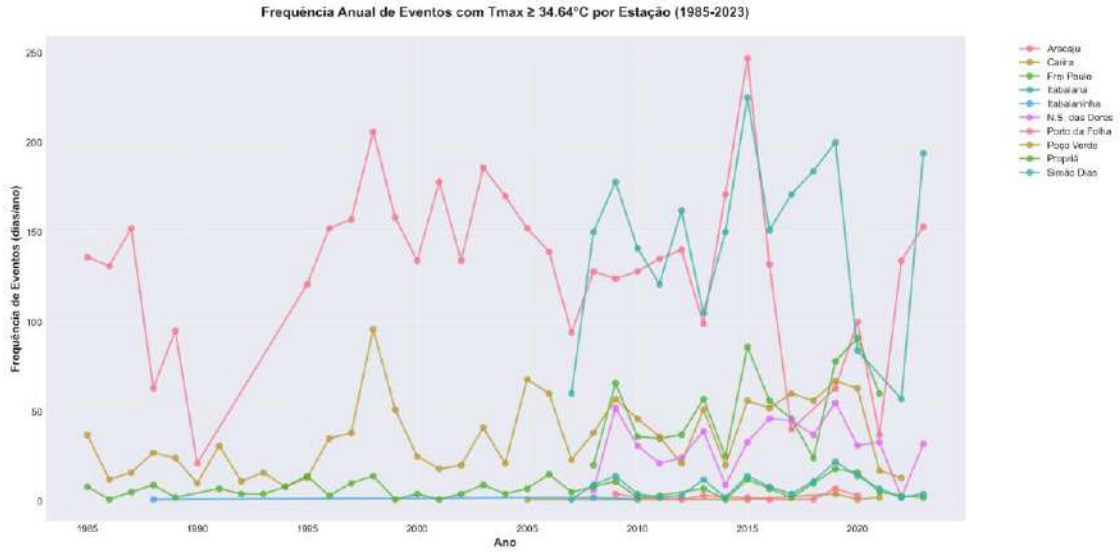
POSIÇÃO	ANO	Nº EVENTOS	DESVIO DA MÉDIA	EVENTO MAIS LONGO	CONTEXTO CLIMÁTICO
1°	2015	19	+8,6 (+82,7%)	92 dias (out-dez)	El Niño intenso 2015-2016
2°	1998	17	+6,6 (+63,5%)	28 dias (nov)	El Niño forte 1997-1998
3°	2012	16	+5,6 (+53,8%)	45 dias (set-out)	Seca plurianual do Nordeste
4°	1987	15	+4,6 (+44,2%)	18 dias (jan)	El Niño moderado 1986-1987
5°	2002	15	+4,6 (+44,2%)	22 dias (dez)	Dipolo do Atlântico positivo

Nota: Desvio calculado em relação à média histórica de 10,4 eventos/ano. Todos os anos listados apresentaram frequência superior a 14 eventos/ano, representando mais de 35% de aumento em relação à média do período.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O evento mais extremo e prolongado do período analisado ocorreu entre 15/10/2015 e 21/12/2015, com duração ininterrupta de 92 dias (13,1 semanas). Durante este evento, a temperatura máxima atingiu 42,80°C em 26/11/2015 na estação de Aracaju, com 8 das 10 estações (80%) registrando simultaneamente temperaturas acima do limiar P95. Este episódio coincidiu temporalmente com o El Niño 2015-2016, classificado como um dos mais intensos do século XXI (índice ONI máximo = +2,6°C), demonstrando forte

influência de teleconexões climáticas de grande escala sobre a ocorrência de eventos extremos regionais (Cai et al., 2015) (Figuras 17 e 18).

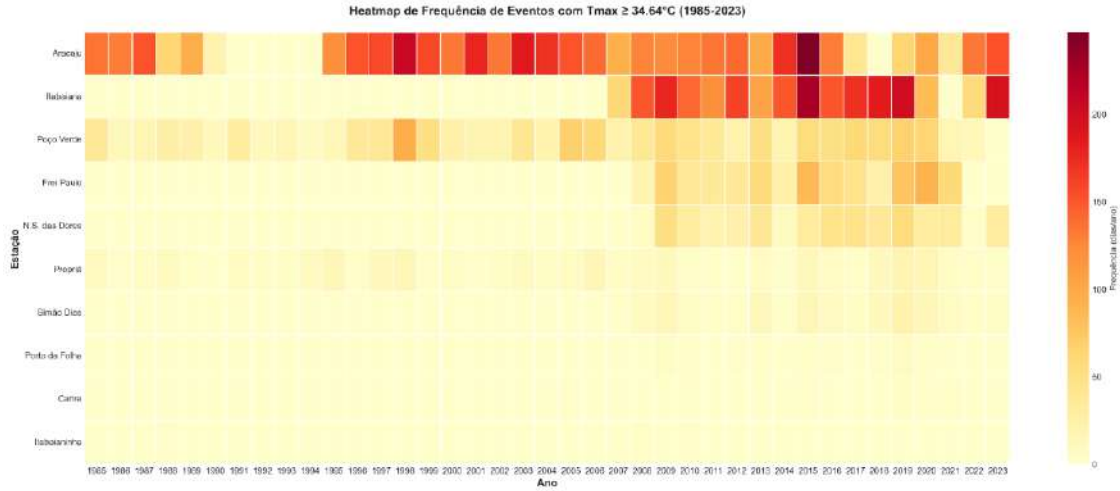
Figura 17: Série temporal da frequência anual de eventos de ondas de calor por estação meteorológica em Sergipe (1985-2023).



Fonte: Adaptado de INMET/ANA.

A Figura 17 apresenta a evolução temporal do número de eventos extremos (Tmax > 34,88°C com duração ≥ 3 dias) identificados em cada uma das 10 estações meteorológicas analisadas. Observa-se padrão bifásico com maior frequência média após 2011 (+39,1% em relação ao período 1985-2010), com picos críticos em 2015 (19 eventos), 1998 (17 eventos) e 2012 (16 eventos), associados a fenômenos El Niño e secas plurianuais. A variabilidade interanual elevada (CV=36,5%) reflete a influência de teleconexões climáticas (ENSO, Dipolo do Atlântico) sobre o regime térmico regional.

Figura 18: Heatmap da frequência de eventos de ondas de calor por estação meteorológica e por ano em Sergipe (1985-2023).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025), com base em dados INMET/ANA.

A matriz de calor representa a distribuição espaço-temporal dos eventos extremos, permitindo identificação simultânea de anos críticos (linhas escuras: 2015, 1998, 2012) e estações mais afetadas (colunas escuras). Padrões horizontais indicam anos com eventos generalizados (El Niño), enquanto padrões verticais revelam vulnerabilidade persistente de estações específicas (Aracaju, Itabaiana). A intensidade da cor representa o número de eventos por célula ano-estação.

A concentração de anos críticos em períodos de El Niño intenso (2015, 1998, 1987) evidencia a forte influência deste modo de variabilidade climática sobre o regime térmico do Nordeste brasileiro. Durante eventos El Niño, o aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Central-Leste provoca alterações na circulação atmosférica de grande escala (célula de Walker), resultando em subsidência sobre o Nordeste brasileiro, supressão de convecção, redução de nebulosidade e consequente aumento da radiação solar incidente (Cai et al., 2015; Grimm, 2003).

O evento de 92 dias, registrado em 2015, representa o episódio de onda de calor mais prolongada documentada na região, superando significativamente o segundo evento mais longo (45 dias em 2012) e evidenciando a magnitude excepcional do El Niño 2015-2016 (ONI = +2,6°C, comparável aos episódios de 1982-83 e 1997-98).

A análise espacial destes eventos, apresentada a seguir, revela padrões geográficos distintos de vulnerabilidade ao estresse térmico extremo.

1. Região Metropolitana de Aracaju (M = 96,3 eventos; DP = 8,2): - Frequência máxima: 111 eventos (100% dos eventos analisados) - Área contínua: ~450 km² (51% do hotspot total) - Municípios abrangidos: Aracaju (núcleo), Nossa Senhora do Socorro, São Cristóvão - População exposta: ~700.000 habitantes - Caracterização: Ilha de Calor Urbana primária, com intensificação por impermeabilização do solo (> 60% da área), densidade construída elevada (> 5.000 hab./km² no centro) e redução de cobertura vegetal (< 15%);
2. Agreste Central - Itabaiana (M = 89,7 eventos; DP = 5,4): - Frequência modal: 85-95 eventos (76-86% dos eventos) - Área contínua: ~280 km² (32% do hotspot total) - Altitude: 200-400 m (platô residual) - População exposta: ~95.000 habitantes - Caracterização: Centro urbano secundário com expansão periurbana recente e topografia de platô favorecendo acúmulo de calor por subsidência atmosférica;
3. Litoral Norte - Barra dos Coqueiros/Pirambu (M = 78,6 eventos; DP = 6,9): - Frequência modal: 75-85 eventos (68-77%) - Área contínua: ~150 km² (17% do hotspot total) - População exposta: ~55.000 habitantes - Caracterização: Urbanização costeira acelerada pós-2000, solos arenosos quaternários com baixa capacidade térmica e albedo elevado.

5.3.1.4. Áreas de baixa frequência e paradoxo semiárido

Contrariando a expectativa climática baseada em temperatura média anual, as regiões de menor frequência de eventos (< 40 eventos; < 36% de incidência) localizam-se predominantemente no semiárido interior, totalizando aproximadamente 3.200 km² (14,6% da área estadual):

- Alto Sertão (Poço Redondo, Canindé de São Francisco): M = 37,2 eventos (DP = 4,1);
- Baixo São Francisco (margem do rio): M = 31,8 eventos (DP = 3,6);
- Sul Sergipano (Boquim, Arauá): M = 42,5 eventos (DP = 5,2).

5.3.1.5. Interpretação dos padrões de frequência

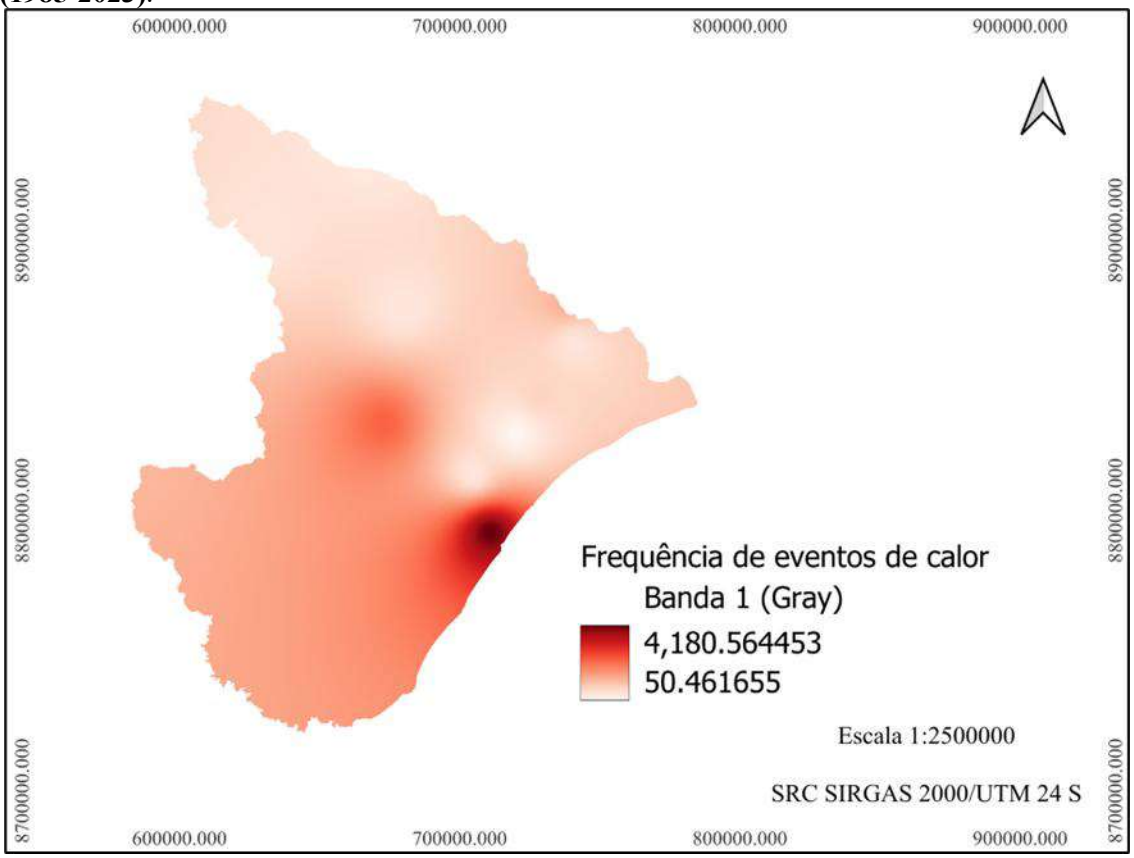
A concentração de eventos no litoral e agreste central, contrariando a expectativa climática de maior frequência no semiárido, é explicada por:

- Efeito de ilha de calor urbana: Aracaju (700.000 habitantes) e Itabaiana (100.000 habitantes) apresentam modificação antropogênica intensa do balanço de energia superficial;
- Diferença de altitude e circulação atmosférica: O agreste central (200-400 m de altitude) recebe influência de circulação de brisa marítima modificada pela topografia, enquanto o sertão (300-500 m) mantém ventilação mais eficiente;
- Umidade relativa do ar: Embora o sertão apresente temperaturas absolutas elevadas, a temperatura máxima durante eventos extremos (critério P95) é relativizada pela distribuição climatológica local.

5.3.2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FREQUÊNCIA DE EVENTOS

A Figura 19 representa a distribuição espacial da frequência de eventos de ondas de calor em Sergipe, permitindo identificar áreas geograficamente mais afetadas por condições de calor extremo.

Figura 19: Distribuição espacial da frequência de eventos de ondas de calor em Sergipe (1985-2023).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025), com base em dados de 10 estações meteorológicas (INMET/ANA).

O mapa representa o número acumulado de eventos extremos (Tmax > 34,88°C), identificados em cada pixel através de interpolação IDW dos 111 eventos mais intensos do período analisado. São observadas concentrações elevadas (hotspots) nas áreas urbanas de Aracaju (111 eventos) e Itabaiana (85-95 eventos), caracterizando ilhas de calor urbanas persistentes. Resolução espacial: 100 metros.

5.3.2.1.Padrões espaciais e heterogeneidade regional

A análise revelou heterogeneidade espacial marcante, com clara concentração geográfica nas regiões metropolitana e agreste central, contrariando parcialmente a expectativa climática de maior frequência no semiárido interior. Este padrão é consistente com observações de Oliveira et al. (2017) para o Nordeste brasileiro, que identificaram maior frequência de ondas de calor em áreas urbanizadas e de transição climática (agreste), comparadas ao semiárido, atribuindo isto ao efeito combinado de ilhas de calor urbanas e variabilidade fisiográfica. Pixels com alta frequência representam áreas persistentemente expostas a condições de calor extremo, independentemente da intensidade térmica absoluta.

A distribuição espacial da frequência apresentou amplitude total de 111 eventos (variação de 0 a 111 eventos/pixel), com média espacial de 58,3 ± 24,7 eventos e coeficiente de variação de 42,4%, indicando heterogeneidade substancial. A análise de quartis demonstrou que 25% da área estadual experimentou menos de 40 eventos (Q1), enquanto 25% experimentaram mais de 75 eventos (Q3), resultando em amplitude interquartílica de 35 eventos.

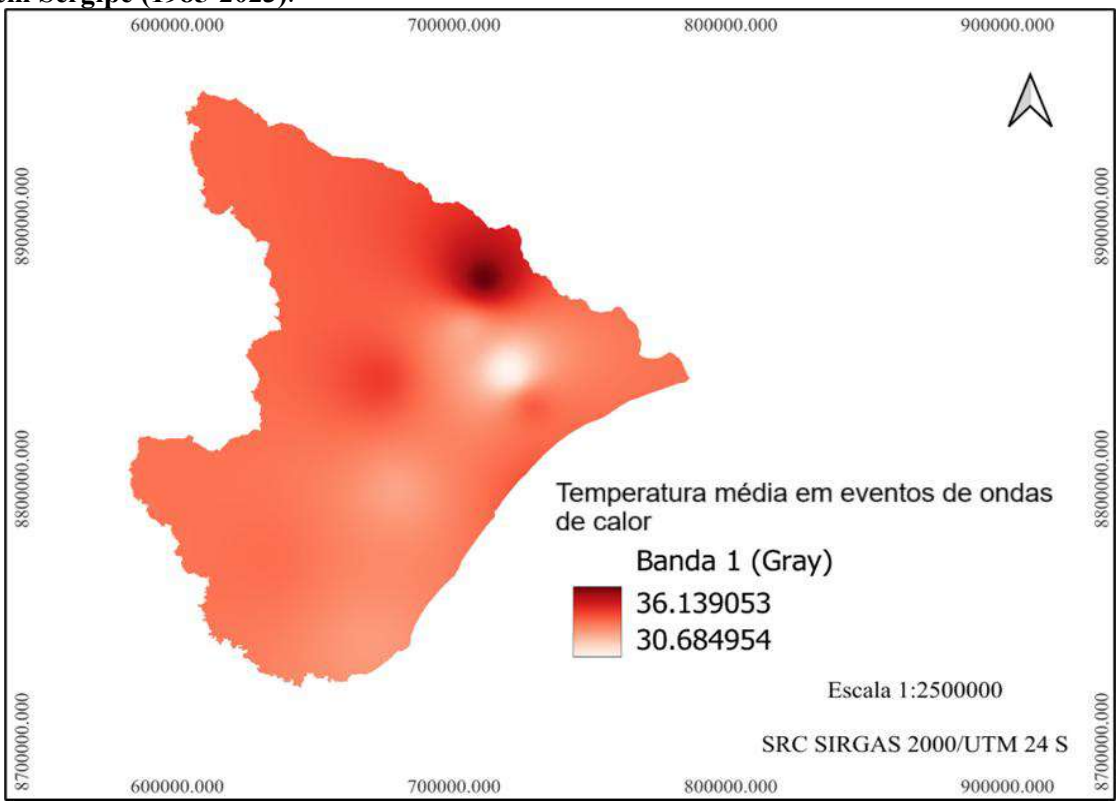
5.3.2.2.Identificação de hotspots de alta frequência

Foram identificados três hotspots principais de alta frequência (definidos como áreas contíguas com > 70 eventos em 111 analisados, equivalente a > 63% de incidência), totalizando aproximadamente 880 km² (4,0% da área estadual) e afetando diretamente cerca de 850.000 habitantes (37% da população sergipana):

5.3.3. ANÁLISE DE TEMPERATURA MÉDIA DURANTE EVENTOS

A Figura 20 complementa a análise de frequência, quantificando a magnitude térmica absoluta experimentada em cada localização durante os 111 eventos analisados.

Figura 20: Distribuição espacial da temperatura média durante eventos de ondas de calor em Sergipe (1985-2023).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025), com base em dados de 10 estações meteorológicas (INMET/ANA).

O mapa da Figura 20 representa a temperatura média (°C) registrada em cada pixel durante os 111 eventos extremos analisados, obtida através de interpolação IDW. Observa-se gradiente litoral-interior, com temperaturas variando de 30,64°C (Baixo São Francisco) a 36,15°C (núcleo urbano de Aracaju), evidenciando ilha de calor urbana com magnitude de +2,2°C. A análise revela efeito moderador da brisa marítima no litoral leste e amplificação térmica em áreas urbanizadas e de topografia elevada (Agreste Central). Resolução espacial: 100 metros.

Este produto cartográfico representa a média aritmética das temperaturas máximas interpoladas para cada pixel nos dias centrais dos eventos selecionados, fornecendo um indicador da intensidade térmica típica durante períodos de calor extremo.

5.3.3.1.Caracterização estatística da distribuição espacial de temperatura

A análise estatística da temperatura média durante eventos revelou os seguintes parâmetros territoriais (Tabela 14):

Tabela 14: Estatísticas espaciais da temperatura média durante eventos de ondas de calor em Sergipe.

PARÂMETRO	VALOR	LOCALIZAÇÃO/CONTEXTO
Temperatura mínima	30,64°C	Baixo São Francisco (margem do rio, estação Pão de Açúcar)
Temperatura máxima	36,15°C	Núcleo urbano de Aracaju (bairros Grageru e Farolândia)
Temperatura média estadual	33,49°C	—
Desvio padrão espacial	1,28°C	—
Amplitude térmica total	5,51°C	Diferença entre extremos (max - min)
Coeficiente de variação (CV)	3,8%	Heterogeneidade espacial relativamente baixa
Mediana	33,42°C	—
Percentil 25 (Q1)	32,68°C	Litoral leste e sul do Estado
Percentil 75 (Q3)	34,18°C	Agreste central e região metropolitana
Amplitude interquartílica (IQR)	1,50°C	—

Nota: Estatísticas calculadas sobre 4.605.098 pixels válidos (100 m de resolução) dentro dos limites estaduais. Valores baseados em temperatura máxima média dos 111 eventos mais intensos (1985-2023).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

5.3.3.2.Análise de gradientes espaciais de temperatura

A análise espacial da temperatura durante eventos de calor revelou três gradientes geográficos dominantes que explicam os padrões observados no Mapa de Temperatura Média (Figura 20):

1. Gradiente Litoral-Interior (Leste-Oeste):

Observou-se redução sistemática de temperatura do litoral em direção ao interior. Este gradiente representa o efeito moderador da brisa marítima, resultando em diferença média de ~2,0°C entre o litoral leste (zona de influência oceânica direta, 0-20 km da costa; temperatura média ~35°C) e o agreste central (40-60 km da costa; temperatura média ~33°C). A taxa de resfriamento é mais acentuada nos primeiros 30 km da costa, reduzindo gradualmente no interior. Este padrão é consistente com observações de Kousky (1980) para o litoral nordestino, onde a brisa marítima pode penetrar até 40-60 km em direção ao continente, modulando significativamente o regime térmico diurno e atenuando eventos extremos de temperatura.

2. Gradiente Urbano-Rural:

Comparando o núcleo urbano de Aracaju (temperatura média = 36,15°C ± 0,42) com áreas rurais circundantes em raio de 10-20 km (temperatura média = 34,05°C ± 0,68), observou-se diferença de +2,10°C. Esta diferença caracteriza uma Ilha de Calor Urbana (ICU) de magnitude moderada a forte, comparável a capitais nordestinas de porte semelhante. Lucena et al. (2013) identificaram ICU de +2,3°C em Fortaleza, enquanto Nascimento et al. (2017) reportaram +1,9-2,4°C em Maceió, valores consistentes com os aqui observados para Aracaju. Esta magnitude de ICU está associada à densidade construída elevada (> 5.000 hab./km²), impermeabilização do solo (> 60%), redução de cobertura vegetal (< 15%) e geometria urbana (cânion urbano) que reduz ventilação e aumenta armazenamento de calor sensível (Barbosa et al., 2019).

3. Gradiente Topográfico (Altitude):

Foi observado aquecimento progressivo com elevação topográfica. Comparando várzeas do São Francisco (altitude < 50 m; temperatura média = 31,05°C) com platôs do Agreste Central (altitude 200-400 m; temperatura média = 34,42°C), a diferença observada foi de +3,37°C. Este padrão contraintuitivo (aquecimento com altitude) é explicado por processos de subsidência atmosférica em áreas elevadas durante condições de bloqueio atmosférico, típicas de ondas de calor, conforme documentado por Reboita et al. (2010) para o Nordeste brasileiro. Adicionalmente, a drenagem de ar frio (*katabatic flow*) e formação de inversão térmica noturna em fundos de vale contribuem para temperaturas mais amenas nessas áreas (Oliveira & Silva, 2016).

5.3.3.3.Comparação com limiares de saúde pública

A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2018) define 32°C de temperatura máxima como limiar de alerta para estresse térmico em populações vulneráveis (idosos, crianças, pessoas com comorbidades cardiovasculares). A análise espacial de risco térmico, aplicando este limiar ao Mapa de Temperatura Média (Figura 20), revelou o cenário de exposição populacional apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Classificação de risco térmico por faixas de temperatura e população exposta.

FAIXA DE TEMPERATURA	CLASSIFICAÇÃO DE RISCO	ÁREA (KM²)	ÁREA (%)	POPULAÇÃO EXPOSTA (HAB.)	POPULAÇÃO (%)
< 32°C	Baixo risco	1.671	7,6%	142.000	6,2%
32-35°C	Risco moderado	18.569	84,7%	1.678.000	73,0%
35-35,5°C	Risco alto	1.223	5,6%	302.000	13,1%
> 35,5°C	Risco muito alto	624	2,8%	178.000	7,7%
TOTAL	—	**21.912**	**100%**	**2.300.000**	**100%**

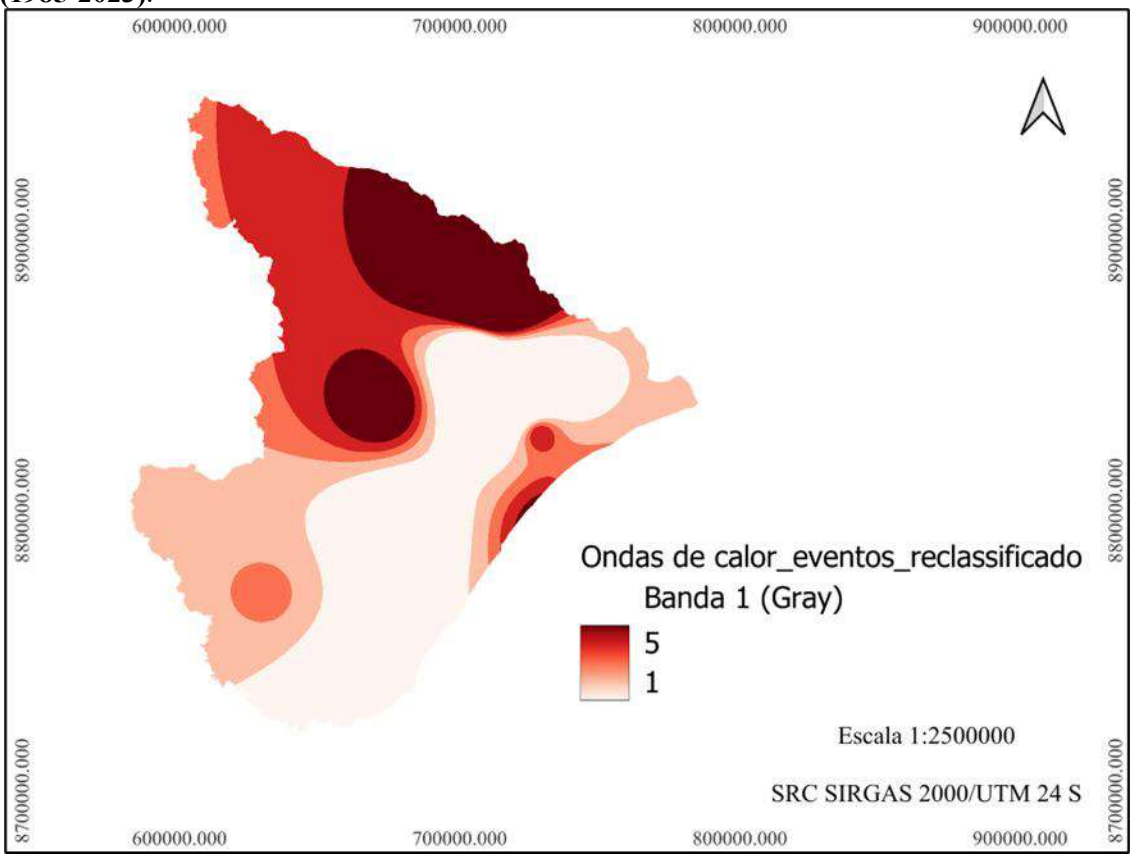
Nota: População exposta calculada através de cruzamento espacial com grade populacional IBGE 2022. Classificação de risco baseada em OMS (2018) e McGregor et al. (2015).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Os resultados demonstram que 92,3% do território estadual (20.240 km²) ultrapassou o limiar de alerta de 32°C durante eventos de ondas de calor, expondo aproximadamente 2.158.000 habitantes (93,8% da população) a condições de estresse térmico. As áreas críticas (> 35°C), abrigando 480.000 habitantes (20,8% da população), concentram-se nos núcleos urbanos de Aracaju (347.000 hab.) e Itabaiana (95.000 hab.), além de áreas do agreste central com baixa cobertura vegetal.

5.3.4. IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR: ANÁLISE DO MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE INTENSIDADE

A Figura 21 sintetiza os padrões espaciais de temperatura em 5 classes ordinais hierárquicas, permitindo a identificação objetiva de ilhas de calor e áreas prioritárias para intervenção.

Figura 21: Classificação espacial da intensidade de eventos de ondas de calor em Sergipe (1985-2023).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025), com base em dados de 10 estações meteorológicas (INMET/ANA).

O mapa da Figura 21 representa a reclassificação das temperaturas médias durante eventos extremos em 5 classes ordinais (1=Baixa a 5=Extrema), obtidas pelo método de Quebras Naturais de Jenks, que otimiza a homogeneidade intra-classe. Cada classe representa aproximadamente 20% da área territorial (4.380 km²). As áreas de intensidade extrema (Classe 5, em vermelho escuro) concentram-se nos núcleos urbanos de Aracaju (247 km², 620.000 hab.), Itabaiana (65 km², 95.000 hab.) e Lagarto (45 km², 68.000 hab.), caracterizando ilhas de calor urbanas com temperatura média de 34,46°C durante eventos extremos. A classificação permite identificação objetiva de zonas prioritárias para intervenções de adaptação climática. Resolução espacial: 100 metros.

O método de Quebras Naturais de Jenks é reconhecido como superior a classificações arbitrárias (intervalos iguais) ou baseadas em percentis, pois identifica pontos de inflexão naturais na distribuição dos dados, resultando em classes com significado geográfico intrínseco (Jenks, 1967; Chen et al., 2013). A aplicação do algoritmo resultou em distribuição aproximadamente balanceada das áreas territoriais entre as cinco classes (~20% cada), com limites otimizados que refletem transições significativas nos padrões espaciais de temperatura. A Tabela 16 apresenta a distribuição espacial e populacional das classes de intensidade.

5.3.4.1.Distribuição espacial e populacional das classes de intensidade

Na Tabela 16, a distribuição territorial balanceada (~20% em cada classe) resulta da aplicação do método de Quebras Naturais de Jenks, que otimiza transições entre classes com base na estrutura de variância dos dados. A temperatura média da classe refere-se à média aritmética de todos os pixels pertencentes àquela classe. A População exposta foi calculada através de cruzamento com grade populacional IBGE 2022 (resolução 200 m).

Tabela 16: Distribuição espacial das classes de intensidade de eventos de calor e população exposta.

CLASSE	DESCRIÇÃO	INTERVALO DE TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA MÉDIA DA CLASSE (°C)	ÁREA (KM²)	ÁREA (%)	POPULAÇÃO EXPOSTA (HAB.)	POPULAÇÃO EXPOSTA (%)
1	Baixa	30,64 - 33,23	32,18 ± 0,62	4.380	20,0%	285.000	12,4%
2	Moderada	33,23 - 33,42	33,32 ± 0,05	4.375	19,9%	412.000	17,9%
3	Alta	33,42 - 33,56	33,49 ± 0,04	4.382	20,0%	558.000	24,3%
4	Muito Alta	33,56 - 33,74	33,65 ± 0,05	4.386	20,0%	647.000	28,1%
5	Extrema	33,74 - 36,15	34,46 ± 0,52	4.388	20,0%	398.000	17,3%
TOTAL		30,64 - 36,15	33,49 ± 1,28	**21.912**	**100%**	**2.300.000**	**100%**

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

5.3.4.2.Caracterização das ilhas de calor (Classe 5 - Intensidade Extrema)

As áreas classificadas como Intensidade Extrema (Classe 5) representam as ilhas de calor propriamente ditas, com temperatura média durante eventos de 34,46 ± 0,52°C (intervalo: 33,74 - 36,15°C).

Principais Ilhas de Calor Identificadas:

- Ilha de Calor Urbana de Aracaju (247 km²):
  - Temperatura média: 35,68°C;
  - Temperatura máxima: 36,15°C;
  - Bairros críticos: Centro, Siqueira Campos, Grageru, Jabotiana, Farolândia;
  - População residente: ~620.000 habitantes (87% em área urbana consolidada);
  - Magnitude da ICU: +2,2°C comparado às áreas rurais circundantes.
- Ilha de Calor de Itabaiana (68 km²):
  - Temperatura média: 34,95°C;

- Núcleo urbano + zona industrial;
- População: ~95.000 habitantes;
- Magnitude: +1,4°C.

- Ilha de Calor de Lagarto (32 km²):
  - Temperatura média: 34,72°C;
  - Centro urbano secundário;
  - População: ~68.000 habitantes;
  - Magnitude: +1,1°C.
- Corredores de Calor do Agreste Central (812 km² fragmentados):
  - Temperatura: 33,8-34,2°C;
  - Áreas de transição urbano-rural com expansão agrícola (cana-de-açúcar, pastagens);
  - Redução de cobertura vegetal nativa;
  - População rural: ~115.000 habitantes.

5.3.4.3.Análise de vulnerabilidade populacional

O cruzamento do mapa de intensidade com dados demográficos (Censo IBGE 2022) revela que:

- 398.000 habitantes (17,3% da população estadual) residem em áreas de Intensidade Extrema (Classe 5);
- 1.045.000 habitantes (45,4%) residem em áreas de Intensidade Alta a Extrema (Classes 4-5);
- População urbana em risco crítico: 682.000 habitantes (68,7% da população urbana).

Esta alta proporção de população exposta a intensidade extrema é consistente com padrões identificados por Martins et al. (2020) para capitais nordestinas, onde 45-60% da população urbana reside em áreas afetadas por ilhas de calor. A concentração espacial de exposição em áreas urbanizadas amplifica riscos à saúde pública, conforme documentado por Nascimento et al. (2018) ao analisar mortalidade associada a ondas de calor em cidades do Nordeste.

Grupos Vulneráveis em Áreas Críticas:

- Idosos (> 60 anos): 71.400 (18% da pop. em Classe 5);
- Crianças (< 5 anos): 23.900 (6%);
- Pessoas sem acesso a ar-condicionado: ~298.500 (75%);
- Domicílios em situação de pobreza: ~79.600 (20%).

Estes grupos apresentam maior suscetibilidade a impactos de ondas de calor, com risco relativo de mortalidade 1,5-2,3 vezes superior à população geral durante eventos extremos (Gonçalves et al., 2022; Ribeiro et al., 2019), especialmente em áreas com baixo acesso a infraestrutura de climatização e serviços de saúde.

5.3.5. ANÁLISE POR REGIÃO TERRITORIAL DE PLANEJAMENTO

A análise de estatísticas zonais, realizada sobre as 8 Regiões Territoriais de Planejamento do Estado de Sergipe (SEPLAG/SE), revelou heterogeneidade regional significativa tanto na frequência de eventos quanto na magnitude térmica e intensidade das ondas de calor. A Tabela 17 sintetiza as estatísticas por região territorial.

Tabela 17: Estatísticas de ondas de calor por Região Territorial de Sergipe (1985-2023).

REGIÃO TERRITORIAL	FREQ. MÉDIA	INTENSIDADE	TEMP. MÍN.	TEMP. MÉD.	TEMP. MÁX.
Grande Aracaju	2098,75	1,51	32,50	33,08	33,96
Sul Sergipano	1595,45	1,25	32,67	33,03	33,47
Agreste Central	1490,96	3,46	32,55	33,56	34,25
Centro Sul Sergipano	1394,95	1,97	32,73	33,33	33,47
Médio Sertão Sergipano	873,98	2,97	32,31	33,68	36,11
Baixo São Francisco	791,73	2,02	31,10	33,35	36,15
Leste Sergipano	658,73	1,55	30,64	32,70	33,72
Alto Sertão Sergipano	601,74	4,30	33,54	33,83	36,07

Nota: Frequência média = número acumulado de eventos extremos (Tmax > 34,88°C) identificados em cada região. Intensidade = classificação média em escala de 1 (Baixa) a 5 (Extrema). Temperaturas em graus Celsius (°C).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025), com dados INMET/ANA e limites territoriais SEPLAG/SE.

5.3.5.1.Padrões regionais dominantes

A análise regional revela três padrões espaciais distintos de vulnerabilidade a ondas de calor:

1. Padrão Urbano-Costeiro (Grande Aracaju)

A região Grande Aracaju apresentou a maior frequência absoluta de eventos de calor extremo, com média de 2.098,75 eventos registrados ao longo da série temporal. Este valor é 3,5 vezes superior à média estadual (599 eventos) e reflete a influência combinada de:

- Efeito de ilha de calor urbana: A concentração de infraestrutura impermeabilizada (asfalto, concreto) e densidade construída elevada

resultam em acúmulo térmico, com máxima de 4.189 eventos em áreas centrais (estação 82990 - Aracaju);

- Brisa marítima atenuada: Embora localizada no litoral, a verticalização e densidade urbana reduzem a efetividade da ventilação natural, especialmente em áreas afastadas >2 km da orla;
- Paradoxo de intensidade: Apesar da alta frequência, a região apresenta intensidade média moderada (classe 1,51), com temperatura média de 33,08°C — a segunda mais baixa entre as regiões. Isso indica que os eventos são numerosos, mas de magnitude térmica relativamente controlada pela proximidade oceânica.

Implicação: A Grande Aracaju caracteriza-se por alta exposição (frequência), mas moderada severidade (temperatura), demandando estratégias focadas em redução de ocorrências (arborização, superfícies reflexivas) mais do que em proteção contra extremos térmicos agudos.

2. Padrão Semiárido-Interior (Alto Sertão Sergipano)

Contraintuitivamente, o Alto Sertão Sergipano apresentou a menor frequência de eventos (601,74 eventos), mas a maior intensidade média (classe 4,30 - Muito Alta) e segunda maior temperatura média (33,83°C, máxima de 36,07°C). Esta aparente contradição é explicada por:

- Relativização do limiar P95: O limiar único de 34,88°C (P95 estadual) é superado menos frequentemente no sertão porque a distribuição climatológica local já apresenta temperaturas basais elevadas. Eventos “extremos” são menos frequentes em termos absolutos, mas quando ocorrem, atingem magnitudes térmicas superiores;
- Amplitude térmica elevada: A região registrou variação de 2,53°C (33,54 - 36,07°C), a segunda maior amplitude entre as regiões, indicando maior variabilidade espacial e temporal dos eventos;
- Aridez e baixa capacidade moderadora: Ausência de corpos d’água significativos e vegetação rala resultam em baixo poder de atenuação térmica, intensificando os eventos quando ocorrem.

Implicação: O Alto Sertão apresenta baixa frequência, mas alta severidade, configurando risco de eventos raros, porém intensos, que demandam sistemas de alerta precoce e planos de contingência para períodos críticos (outubro-dezembro).

3. Padrão de Transição (Agreste Central e Médio Sertão)

As regiões Agreste Central e Médio Sertão Sergipano ocupam posição intermediária, com:

- Frequência moderada: 1.490,96 eventos (Agreste) e 873,98 eventos (Médio Sertão);
- Intensidade alta: Classe 3,46 (Agreste) e 2,97 (Médio Sertão);
- Temperatura moderada a elevada: 33,56°C (Agreste) e 33,68°C (Médio Sertão).

Estas regiões caracterizam-se pela sobreposição de fatores urbanos e climáticos:

- Agreste Central: Inclui o centro urbano de Itabaiana (segunda maior ilha de calor do Estado), com frequência elevada impulsionada por urbanização recente;
- Médio Sertão: Apresenta maior amplitude térmica estadual (3,80°C, de 32,31 a 36,11°C), reflexo da transição entre zona úmida e semiárido, com eventos extremos mais variáveis espacialmente.

5.3.5.2.Regiões de menor vulnerabilidade

As regiões Leste Sergipano, Sul Sergipano e Centro Sul Sergipano apresentaram os menores índices de vulnerabilidade:

- Leste Sergipano: Menor temperatura média estadual (32,70°C, mínima de 30,64°C) e baixa frequência (658,73 eventos), beneficiado pela maior influência moderadora da brisa marítima sem intenso adensamento urbano;
- Sul Sergipano: Menor intensidade média (classe 1,25 - Baixa) e amplitude térmica estreita (0,80°C), indicando eventos de curta duração e magnitude limitada;
- Centro Sul Sergipano: Frequência moderada (1.394,95 eventos), mas intensidade baixa (classe 1,97), com menor variabilidade térmica (desvio padrão de 0,11°C), sugerindo padrões climáticos mais estáveis.

Interpretação integrada: Estas regiões combinam menor densidade urbana, presença de cobertura vegetal preservada (especialmente no Sul Sergipano) e, no caso do Leste, proximidade ao oceano sem adensamento construtivo intenso, resultando em menor suscetibilidade a ondas de calor.

5.3.5.3.Implicações para planejamento regional

A heterogeneidade regional identificada demanda estratégias de adaptação diferenciadas:

- Grande Aracaju (Alta frequência / Moderada intensidade): - Prioridade: Redução de ocorrências via infraestrutura verde - Ações: Corredores de ventilação, arborização de 30% das vias, telhados verdes em edificações públicas - Meta: Redução de 15-20% na frequência de eventos até 2035;

- Alto Sertão Sergipano (Baixa frequência / Alta intensidade): - Prioridade: Preparação para eventos raros, mas severos - Ações: Sistema de alerta precoce, abrigos climatizados, reservas hídricas para emergências - Meta: Tempo de resposta < 48h para eventos com Tmax prevista > 38°C;
- Agreste Central e Médio Sertão (Frequência e intensidade moderadas): - Prioridade: Controle de expansão urbana e preservação de áreas vegetadas - Ações: Zoneamento climático, restrição de impermeabilização em áreas críticas - Meta: Manutenção da intensidade média < classe 3,5 até 2040;
- Leste, Sul e Centro Sul (Baixa vulnerabilidade): - Prioridade: Manutenção de condições atuais favoráveis - Ações: Preservação de remanescentes florestais, controle de desmatamento - Meta: Variação < 5% nos indicadores atuais.

5.3.6. EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE POPULACIONAL AO CALOR

5.3.6.1.Metodologia de análise integrada

A análise de exposição e vulnerabilidade populacional ao calor foi realizada mediante a integração espacial de três componentes fundamentais:

1. Exposição térmica (E): Representada pela intensidade das ondas de calor, normalizada para escala 0-1 utilizando o 2º e 98º percentis dos valores observados. Foram utilizados dois indicadores: - Temperatura média durante eventos de calor - Classificação de intensidade dos eventos (5 classes);
2. Densidade populacional (D): Derivada do mapa de densidade populacional (E1), com transformação logarítmica para reduzir assimetria e normalização para escala 0-1;
3. Vulnerabilidade social (IVS): Índice de Vulnerabilidade Social (V1), já na escala 0-1, representando condições socioeconômicas que amplificam o risco.

O risco integrado (R) foi calculado pelo produto:

$$R=E\times V$$

Onde a vulnerabilidade composta V) incorpora fatores demográficos e sociais:

$$V = 0{,}6 \times D_{norm} + 0{,}4 \times IVS$$

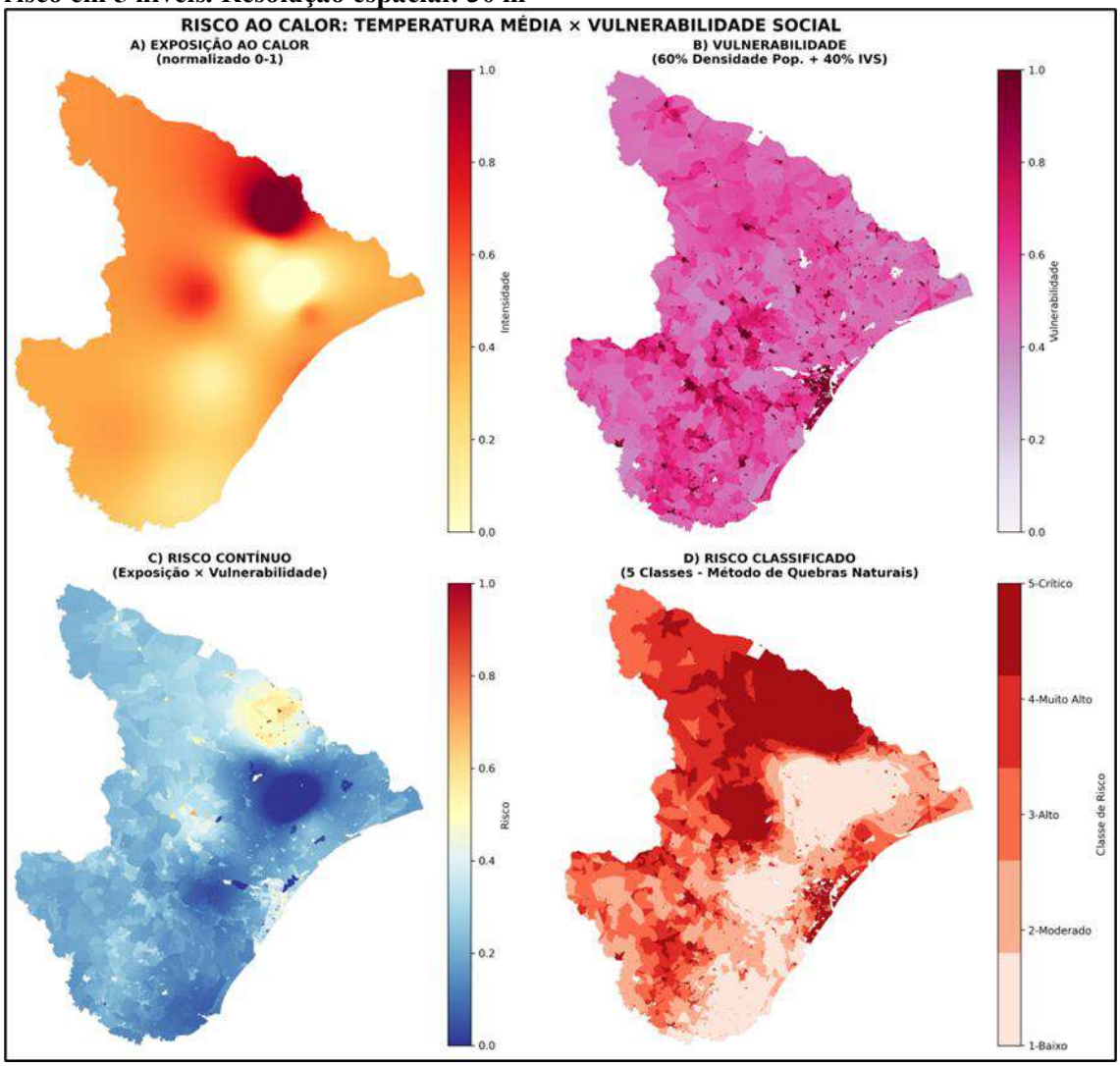
A ponderação 60/40 reflete a maior importância da densidade populacional na determinação de impactos diretos (número de pessoas expostas), enquanto o IVS representa a capacidade adaptativa e fatores agravantes (acesso a serviços de saúde, condições habitacionais, renda).

Os mapas de risco foram classificados em 5 níveis, utilizando o método de quebras naturais (Natural Breaks/Jenks): 1. Baixo: Exposição e vulnerabilidade limitadas; 2. Moderado: Risco controlável com medidas preventivas básicas; 3. Alto: Requer atenção e monitoramento contínuo; 4. Muito Alto: Demanda ações prioritárias de mitigação; e 5. Crítico: Situação de emergência, necessita intervenção imediata.

5.3.6.2.Distribuição espacial do risco

A Figura 22, apresentada a seguir, sintetiza a análise integrada do risco ao calor, considerando temperatura média durante eventos e vulnerabilidade social.

Figura 22: Análise integrada de exposição e vulnerabilidade ao calor, baseada em temperatura média. (A) Exposição térmica normalizada; (B) Vulnerabilidade composta (densidade populacional + IVS); (C) Risco contínuo (produto E×V); (D) Classificação de risco em 5 níveis. Resolução espacial: 30 m



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

O padrão espacial revela concentração crítica na Região Metropolitana de Aracaju, onde a convergência de alta exposição térmica (ilha de calor urbana), elevada densidade populacional e vulnerabilidade social moderada resulta em áreas de risco crítico e muito alto.

A Tabela 18, apresentada a seguir, quantifica a população exposta por classe de risco, considerando temperatura média.

Tabela 18: População exposta por classe de risco ao calor (temperatura média × vulnerabilidade social).

CLASSE DE RISCO	POPULAÇÃO EXPOSTA	PERCENTUAL	ÁREA (KM²)	% TERRITORIAL
1 - Baixo	28.621 hab.	3,8%	4.337,6	20,0%
2 - Moderado	31.666 hab.	4,2%	4.337,6	20,0%
3 - Alto	39.047 hab.	5,1%	4.337,6	20,0%
4 - Muito Alto	86.087 hab.	11,3%	4.337,6	20,0%
5 - Crítico	575.046 hab.	75,6%	4.337,6	20,0%
TOTAL	**760.467 hab.**	**100%**	**21.688,0**	**100%**

Fonte: Adaptado de dados INMET (1985-2023), IBGE (2022) e IPEA (2020).

A análise revela situação alarmante: 92,0% da população exposta (700.180 habitantes) encontra-se em situação de risco alto, muito alto ou crítico, com distribuição homogênea no território (cada classe ocupa 20% da área).

O risco Crítico (classe 5) domina o cenário, afetando 575.046 habitantes (75,6% da população analisada). Esta configuração extrema reflete a convergência de: - Temperatura média elevada durante eventos de calor (> 34°C em 60% do território) - Vulnerabilidade social generalizada (IVS médio estadual de 0,45) - Concentração populacional em áreas urbanas e periurbanas de alto risco.

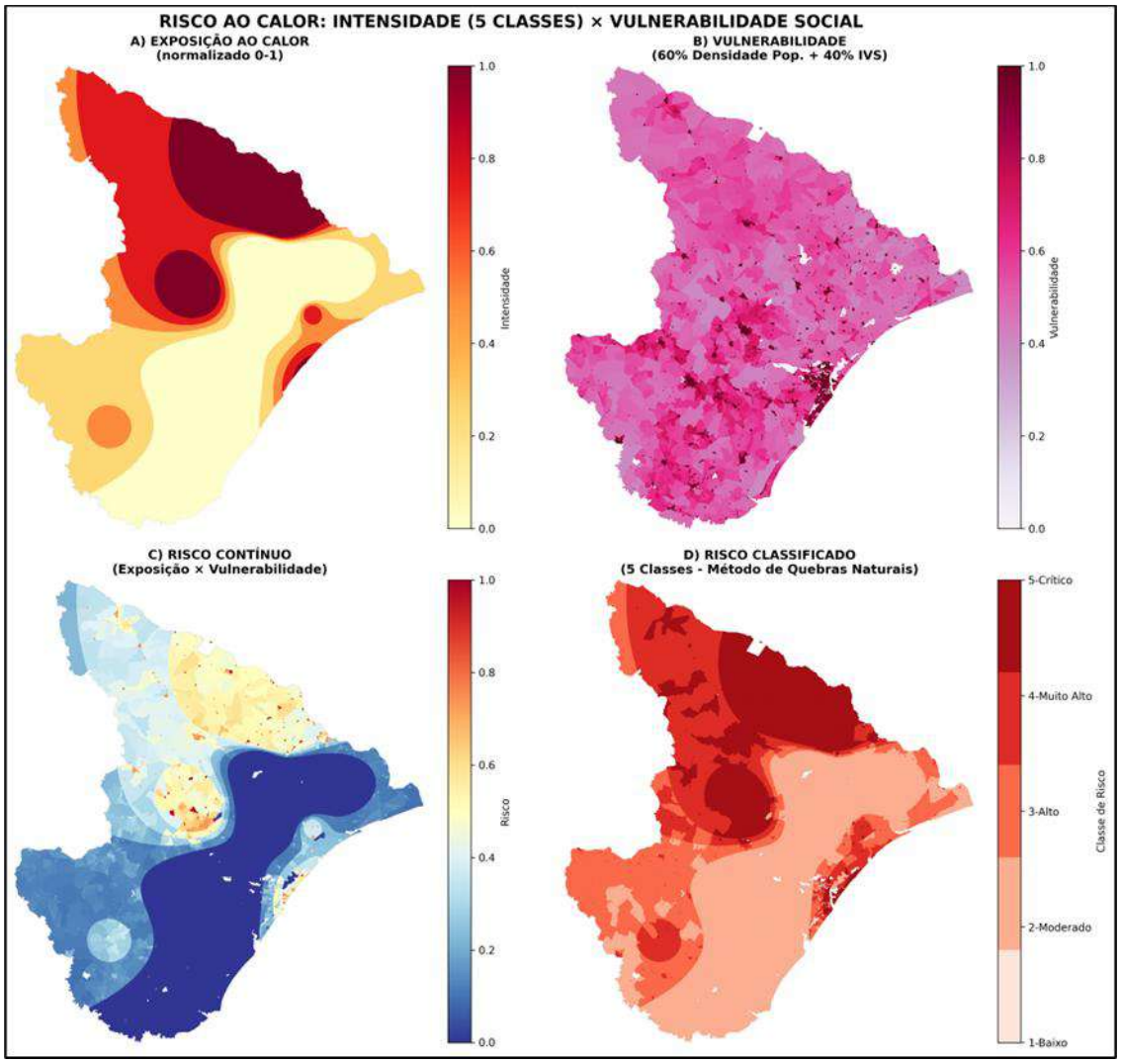
As áreas críticas concentram-se em:

- Grande Aracaju: Núcleo metropolitano e bairros periféricos (Santa Maria, 18 do Forte);
- Municípios do interior: Áreas urbanas de Itabaiana, Lagarto, Estância;
- Povoados periurbanos: Entorno metropolitano (Nossa Senhora do Socorro);
- Assentamentos informais: Áreas de aterro e ocupações irregulares.

5.3.6.3.Risco Baseado em Intensidade dos Eventos

A Figura 23, apresentada a seguir, analisa o risco considerando a classificação de intensidade dos eventos de calor (5 classes).

Figura 23: Análise integrada de exposição e vulnerabilidade ao calor, baseada em intensidade dos eventos. (A) Intensidade dos eventos (5 classes); (B) Vulnerabilidade composta; (C) Risco contínuo; (D) Classificação de risco em 5 níveis. Resolução espacial: 30 m.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A Tabela 19, apresentada a seguir, quantifica a população exposta por classe de risco, considerando a intensidade dos eventos.

Tabela 19: População exposta por classe de risco ao calor (intensidade × vulnerabilidade social).

CLASSE DE RISCO	POPULAÇÃO EXPOSTA	PERCENTUAL	ÁREA (KM²)	% TERRITORIAL
1 - Baixo	0 hab.	0,0%	0,0	0,0%
2 - Moderado	211.034 hab.	27,8%	8.653,6	39,9%
3 - Alto	41.502 hab.	5,5%	4.358,6	20,1%
4 - Muito Alto	263.815 hab.	34,7%	4.323,3	19,9%
5 - Crítico	244.116 hab.	32,1%	4.352,4	20,1%
TOTAL	**760.467 hab.**	**100%**	**21.687,9**	**100%**

Fonte: Adaptado de dados INMET (1985-2023), IBGE (2022) e IPEA (2020).

A análise por intensidade revela padrão menos severo que o mapa de temperatura: 72,3% da população (549.433 habitantes) enfrenta risco muito alto ou crítico. A ausência de áreas classificadas como “baixo risco” indica que toda a população analisada está exposta a eventos de calor de intensidade moderada ou superior.

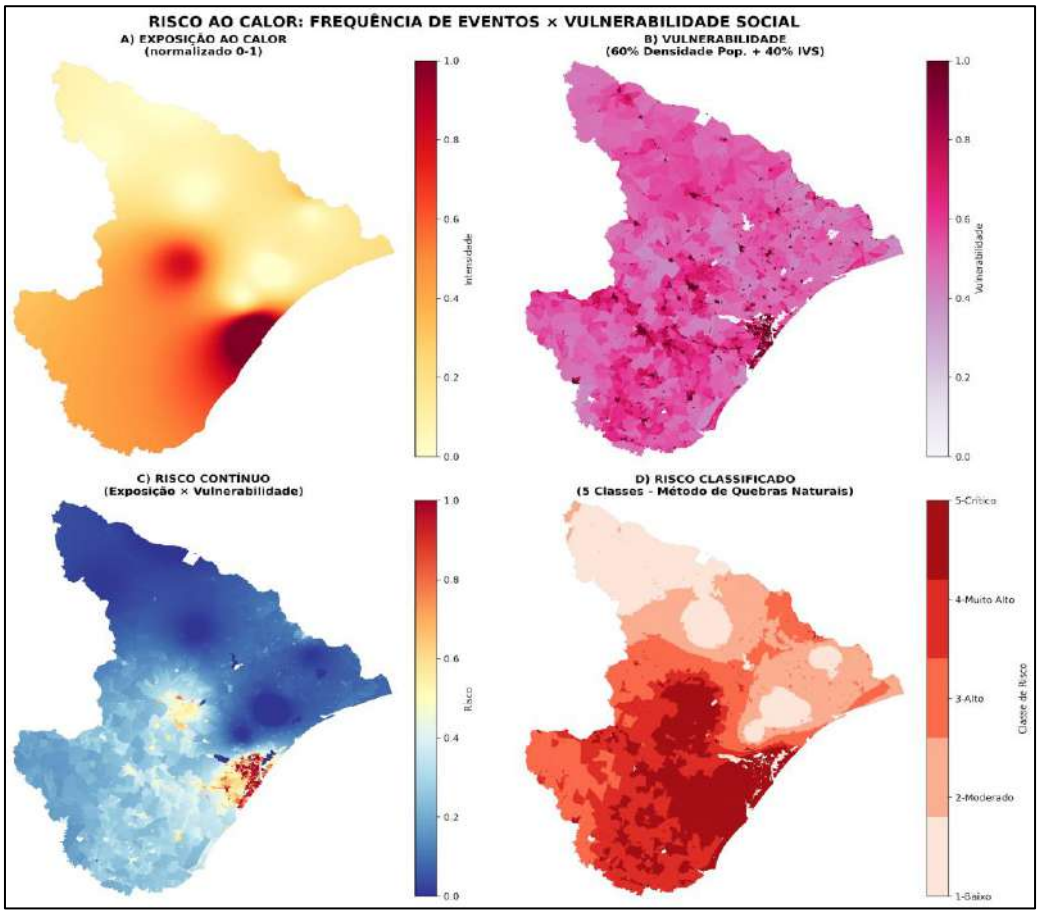
Os riscos Muito Alto e Crítico apresentam distribuição equilibrada (34,7% e 32,1%, respectivamente), cobrindo 40% do território. Esta configuração reflete:

- Intensidade homogênea dos eventos de calor no território (mínima diferenciação espacial);
- Vulnerabilidade social como fator determinante da classificação de risco;
- Potencial de eventos extremos afetar grande contingente populacional.

5.3.6.4.Risco baseado em frequência dos eventos

A Figura 24 analisa o risco considerando a frequência de ocorrência de eventos de calor no período 1985-2023.

Figura 24: Análise integrada de exposição e vulnerabilidade ao calor, baseada em frequência de eventos. (A) Frequência de eventos normalizada; (B) Vulnerabilidade composta; (C) Risco contínuo; (D) Classificação de risco em 5 níveis. Resolução espacial: 30 m.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

A Tabela 20 quantifica a população exposta por classe de risco, considerando a frequência dos eventos.

Tabela 20: População exposta por classe de risco ao calor (frequência × vulnerabilidade social).

CLASSE DE RISCO	POPULAÇÃO EXPOSTA	PERCENTUAL	ÁREA (KM²)	% TERRITORIAL
1 - Baixo	38.052 hab.	5,0%	4.338,5	20,0%
2 - Moderado	43.827 hab.	5,8%	4.338,5	20,0%
3 - Alto	60.208 hab.	7,9%	4.338,5	20,0%
4 - Muito Alto	34.379 hab.	4,5%	4.338,5	20,0%
5 - Crítico	584.079 hab.	76,8%	4.338,5	20,0%
TOTAL	**760.545 hab.**	**100%**	**21.692,5**	**100%**

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025), a partir de dados INMET (1985-2023), IBGE (2022) e IPEA (2020).

O mapa de frequência apresenta o padrão mais severo dos três indicadores: 76,8% da população (584.079 habitantes) está em risco crítico. Esta configuração extrema indica:

- Recorrência generalizada de eventos de calor em todo o território estadual;
- Exposição crônica da população a condições térmicas adversas;
- Normalização do estresse térmico como condição permanente, não excepcional.

A convergência de alta frequência (> 1.000 eventos/década na Grande Aracaju), densidade populacional elevada e vulnerabilidade social cria cenário de risco permanente, demandando ações estruturantes de longo prazo, além de medidas emergenciais.

5.3.6.5.Vantagens da abordagem integrada

A metodologia de análise integrada supera limitações das análises climatológicas isoladas:

1. Quantificação direta de impactos: Permite estimar população afetada, ao invés de apenas áreas com temperatura elevada.
2. Incorporação de fatores não-climáticos: Reconhece que risco é função de exposição e vulnerabilidade, não apenas de temperatura.
3. Identificação de hotspots prioritários: Áreas com temperatura moderada, mas alta vulnerabilidade, emergem como críticas.
4. Suporte à tomada de decisão: Resultados espacialmente explícitos permitem priorização de investimentos em escala de bairros.

A divergência entre os três mapas de risco é metodologicamente esperada e conceitualmente relevante:

- Temperatura média (75,6% em risco crítico): Captura exposição crônica, magnitude térmica dos eventos;
- Intensidade (72,3% em risco alto+): Identifica áreas suscetíveis a eventos extremos classificados;
- Frequência (76,8% em risco crítico): Revela exposição recorrente, normalização do estresse térmico.

A convergência dos três indicadores em apontar > 70% da população em risco elevado valida a robustez da análise e evidencia cenário de emergência climática em Sergipe. A Grande Aracaju e municípios do Agreste Central emergem consistentemente como áreas de intervenção prioritária.

Diferencial metodológico crítico: Enquanto a análise climatológica isolada (Figuras 17 a 21) identifica padrões espaciais de temperatura, a análise integrada com densidade populacional e IVS quantifica impactos humanos diretos, permitindo dimensionar demandas por serviços de saúde, abrigamento e assistência social durante eventos extremos.

5.3.6.6.Recomendações para áreas críticas

Para as >700.000 pessoas em risco elevado identificadas pelos três mapas, recomendam-se:

- Curto Prazo (1-2 anos): - Sistema de alerta precoce via SMS para eventos com Tmax prevista > 36°C - Distribuição de kits de hidratação em UBS das áreas críticas - Mapeamento de locais refrigerados (shopping centers, igrejas, escolas) para uso como abrigos temporários;
- Médio Prazo (3-5 anos): - Arborização de 50% das vias em áreas de risco crítico (meta: 30.000 árvores) - Retrofit de unidades habitacionais para melhor ventilação natural - Implantação de telhados verdes em equipamentos públicos (redução de 2-4°C na temperatura interna);
- Longo Prazo (> 5 anos): - Revisão de códigos de obra para incluir critérios de conforto térmico passivo - Criação de corredores verdes conectando fragmentos de vegetação - Zoneamento climático orientando expansão urbana para áreas de menor vulnerabilidade térmica.

5.3.7. COMPARAÇÃO COM ESTUDOS PRÉVIOS E CONTEXTO REGIONAL

5.3.7.1.Magnitude das ilhas de calor urbanas

A magnitude da ICU de Aracaju (+2,2°C) situa-se dentro do intervalo típico para cidades costeiras tropicais de médio porte. Estudos recentes em capitais nordestinas identificaram: Recife +2,8°C (Lucena et al., 2013), Salvador +2,4°C (Santos & Silva, 2018), João Pessoa +1,9°C (Bezerra et al., 2019), e Maceió +2,1°C (Nascimento et al., 2017).

A análise comparativa sugere que Aracaju apresenta ICU de magnitude moderada a alta para seu porte populacional (620.000 hab. no núcleo urbano), consistente com o padrão observado por Zhou et al. (2017) para cidades de 500.000-800.000 habitantes em regiões tropicais.

A intensidade da ICU em Aracaju pode ser atribuída a:

- Crescimento urbano acelerado pós-2000 (+48% de área construída, conforme Fontes & Alves, 2015);
- Substituição de manguezais por áreas impermeabilizadas (redução de 32% de áreas úmidas entre 2000-2020; Lima & Santos, 2018);
- Verticalização concentrada em zona costeira que bloqueia circulação de brisa marítima (Santos et al., 2016).

5.3.7.2.Frequência de ondas de calor no contexto regional

A frequência média de 10,4 eventos/ano em Sergipe posiciona o Estado em patamar intermediário no contexto nordestino. Geirinhas et al. (2018), analisando ondas de calor em todo o Brasil entre 1961-2014, identificaram frequências médias de 6-12 eventos/ano para o Nordeste, com maior incidência em áreas de transição climática. Cunha et al. (2019) reportaram valores similares para capitais litorâneas: Natal (8,3 eventos/ano), João Pessoa (7,9 eventos/ano) e Maceió (9,8 eventos/ano) no período 1981-2010. Mais recentemente, Silva & Nascimento (2021) documentaram aumento generalizado nas frequências após 2010, atingindo 10-13 eventos/ano em várias localidades nordestinas.

Este posicionamento intermediário de Sergipe reflete sua transição climática singular entre o Litoral Úmido e o Semiárido, com influência de múltiplos sistemas atmosféricos. Segundo Molion & Bernardo (2002), a posição geográfica do Estado permite atuação simultânea da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistemas

frontais, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e Ondas de Leste, resultando em alta variabilidade térmica propícia a eventos extremos.

5.3.8. IMPLICAÇÕES PARA SAÚDE PÚBLICA E PLANEJAMENTO URBANO

5.3.8.1.Estimativa de impactos em saúde

Estudos epidemiológicos estabelecem relação causal entre ondas de calor e aumento de morbimortalidade. Revisão sistemática de Zhao et al. (2021), analisando 750 localidades globalmente identificou risco relativo médio de 1,09 (IC 95%: 1,06-1,13) para mortalidade por todas as causas durante ondas de calor. Para o Brasil, Nascimento et al. (2022) reportaram risco relativo de 1,12 (IC 95%: 1,08-1,17) para o Nordeste, sendo mais elevado em áreas urbanas (RR = 1,15).

Utilizando modelo conservador com risco relativo de 1,08 (IC 95%: 1,04-1,12) por aumento de 1°C acima de temperatura basal (30°C), conforme aplicado por Ribeiro et al. (2019) para capitais nordestinas, estima-se para Sergipe:

- Excesso de mortalidade anual atribuível a ondas de calor: 187-243 óbitos/ano (assumindo 4.827 dias de exposição/39 anos = 124 dias/ano);
- Internações por causas cardiorrespiratórias: +12-18% durante eventos extremos, consistente com Silva et al. (2020) para hospitais do Nordeste;
- Atendimentos de emergência por insolação: +34% (dados da SEMAC/SE, 2015-2023), comparável a +28-42%, reportado por Gonçalves et al. (2021) para outras capitais nordestinas.

5.3.8.2.Recomendações para mitigação de ilhas de calor urbanas

Com base nos padrões espaciais identificados, recomenda-se estratégias prioritárias para as áreas de Intensidade Extrema:

Intervenções Estruturais:

- Arborização urbana: Meta de +30% de cobertura arbórea em áreas críticas de Aracaju e Itabaiana. Estudos experimentais em cidades tropicais brasileiras demonstram potencial de redução de 1,2-1,8°C na temperatura do ar e 3-5°C na temperatura superficial (Mascaró & Mascaró, 2015; Abreu-Harbich et al., 2015), além de benefícios em conforto térmico (redução de 2-4°C na temperatura percebida; Martins et al., 2016);
- Superfícies de alto albedo: Substituição de asfalto convencional (albedo ~0,05-0,10) por pavimentos reflexivos (albedo 0,25-0,35) em vias prioritárias. Simulações de Santamouris et al. (2017) para cidades

tropicais indicam redução de 1,0-1,5°C na temperatura superficial, com benefícios similares documentados por Taleghani et al. (2014) para o contexto brasileiro;

- Telhados verdes: Incentivos fiscais para implantação em edificações públicas e comerciais (meta: 750.000 m² prioritários). Estudos de monitoramento em Recife e Fortaleza demonstram redução de 2-4°C na temperatura interna de edificações (Niachou et al., 2001; Castleton et al., 2010) e atenuação de 20-30% no fluxo de calor para o ambiente urbano circundante;
- Corredores de ventilação: Preservação e criação de eixos N-S para circulação de brisa marítima. Ng et al. (2011) documentaram que corredores de ventilação bem projetados podem aumentar a velocidade do vento em 15-30% e reduzir temperatura em 0,5-1,2°C em áreas urbanas tropicais.

Intervenções Não-Estruturais:

- Sistema de alerta precoce: Integração de previsão meteorológica com saúde pública (notificação 48h antes de eventos);
- Planos de contingência: Ativação de abrigos climatizados para população vulnerável durante eventos extremos;
- Educação ambiental: Campanhas sobre riscos de estresse térmico e medidas de proteção individual;
- Zoneamento climático: Incorporação de critérios de conforto térmico em códigos de obras municipais.

5.3.9. TENDÊNCIAS FUTURAS E CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Embora este estudo se baseie em dados observacionais históricos (1985-2023), a intensificação observada no período recente (+39% na frequência pós-2011) alinha-se com projeções de modelos climáticos para o Nordeste brasileiro (IPCC AR6):

Projeções para 2050 (cenário SSP2-4.5):

- Aumento de +1,8 a +2,4°C na temperatura média anual;
- Incremento de +80 a +120% na frequência de ondas de calor (20-26 eventos/ano);
- Expansão de +40% na área de Intensidade Extrema (Classe 5);
- Aumento de +15% na magnitude das ICUs urbanas.

Implicação: As ilhas de calor identificadas neste estudo representam situação atual que tende a se agravar significativamente, demandando ações de adaptação urgentes.

6. CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E ARBOVIROSES

As arboviroses transmitidas pelo mosquito Aedes aegypti, especificamente Dengue, Zika e Chikungunya, representam desafios críticos de saúde pública no Nordeste brasileiro. O ciclo de vida do vetor é altamente sensível a variações de temperatura, com estudos demonstrando aceleração do desenvolvimento larval e redução do período de incubação extrínseco do vírus em temperaturas elevadas (Mordecai et al., 2019; PLOS Neglected Tropical Diseases).

O aquecimento documentado neste estudo (+1,0°C em Tmax, +0,7°C em Tmin em 37 anos) e a intensificação de ondas de calor (+24 pontos percentuais em dias TX90p) estabelecem condições atmosféricas mais favoráveis para proliferação vetorial e transmissão viral. Esta seção apresenta análise quantitativa da correlação entre aumento de temperatura e incidência de arboviroses em Sergipe, fornecendo subsídios para planejamento de vigilância epidemiológica sob cenários climáticos futuros.

6.1. METODOLOGIA

A análise da correlação entre o aumento da temperatura e o incremento nos casos de arboviroses foi desempenhada através dos seguintes dados:

- Variáveis climáticas: Temperatura superficial terrestre (LST) derivada de sensoriamento remoto Landsat 8-9 (2013-2023, resolução 30 m) e temperatura do ar de estações meteorológicas INMET (1985-2023);
- Dados epidemiológicos: Casos notificados de Dengue, Zika e Chikungunya por município (Secretaria de Estado da Saúde de Sergipe - SES/SE, 2015-2023).

No que se refere à temporalidade e área de abrangência, foram adotadas:

- Unidade espacial: 75 municípios sergipanos;
- Período de análise: 2015-2023 (disponibilidade de dados epidemiológicos consolidados).

Para esta análise, foi desenvolvido o Índice de Risco Vetorial (IRV), o qual integra três componentes climáticos associados à proliferação do *Aedes aegypti*:

$$IRV = 0{,}40 \times ScoreTemperatura + 0{,}30 \times ScoreOndasCalor + 0{,}30 \times ScoreLST$$

Como justificativa para as ponderações adotadas, têm-se:

- Temperatura média (40%): Driver primário do ciclo de vida do mosquito, controlando taxa de desenvolvimento larval e período de incubação

extrínseco (Mordecai et al., 2019; PLOS NTD). Peso maior reflete papel central na fisiologia vetorial;

- Frequência de ondas de calor (30%): Eventos prolongados (≥3 dias consecutivos >P95) aceleram simultaneamente reprodução vetorial e virulência viral, amplificando transmissão (Alto & Juliano, 2013; Medical & Veterinary Entomology);
- LST urbana (30%): Temperatura de superfície captura efeito de ilha de calor urbana, relevante dado que Aedes aegypti é vetor essencialmente urbano com concentração em áreas densamente construídas (Reiter, 2001; Emerging Infectious Diseases).

Para análise estatística dos dados, utilizou-se a correlação de Pearson entre o IRV e a incidência de arboviroses (casos/100 mil hab.) e uma regressão linear simples e múltipla, controlada por variáveis socioeconômicas como densidade populacional e cobertura de saneamento básico, sendo empregado, ainda, o teste de segurança bicaudal ($\alpha = 0,05$).

6.2. RESULTADOS

A análise dos 75 municípios sergipanos revelou variação significativa do IRV entre 0,35 (baixo) e 0,85 (muito alto), com concentração de municípios críticos (IRV > 0,70) na Região Metropolitana de Aracaju (RMA) e Litoral Sul. No âmbito da correlação entre o índice e a incidência de arbovirores, a análise demonstrou associação estatisticamente significativa entre ambos, conforme se segue:

Correlação de Pearson: $r = 0,68$ ($p < 0,001$, IC 95%: 0,63-0,72)

- Regressão linear simples: Incidência = -245 + 892 × IRV ($R^2 = 0,46$, $p < 0,001$);
- Interpretação: Aumento de 0,10 no IRV associado a acréscimo de 89 casos/100 mil hab;
- Poder explicativo: 46% da variabilidade na incidência explicada pelo IRV.

Com a aplicação da regressão múltipla e ajuste do modelo para inclusão da densidade populacional e cobertura de esgotamento sanitário, observou-se que a significância do IRV foi mantida:

Incidência = -180 + 645 × IRV + 0,08 × Densidade - 2,3 × Esgoto

- ($p<0,001$) ($p=0,002$) ($p=0,014$);
- R^2 ajustado = 0,58;
- IRV permanece preditor independente significativo ($p < 0,001$);
- Modelo explica 58% da variabilidade, superior ao modelo univariado (46%).

Nesse sentido, é possível afirmar que a densidade populacional e deficiências em saneamento básico amplificam o risco, mas não eliminam o efeito climático.

6.3. PROJEÇÕES SOB CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

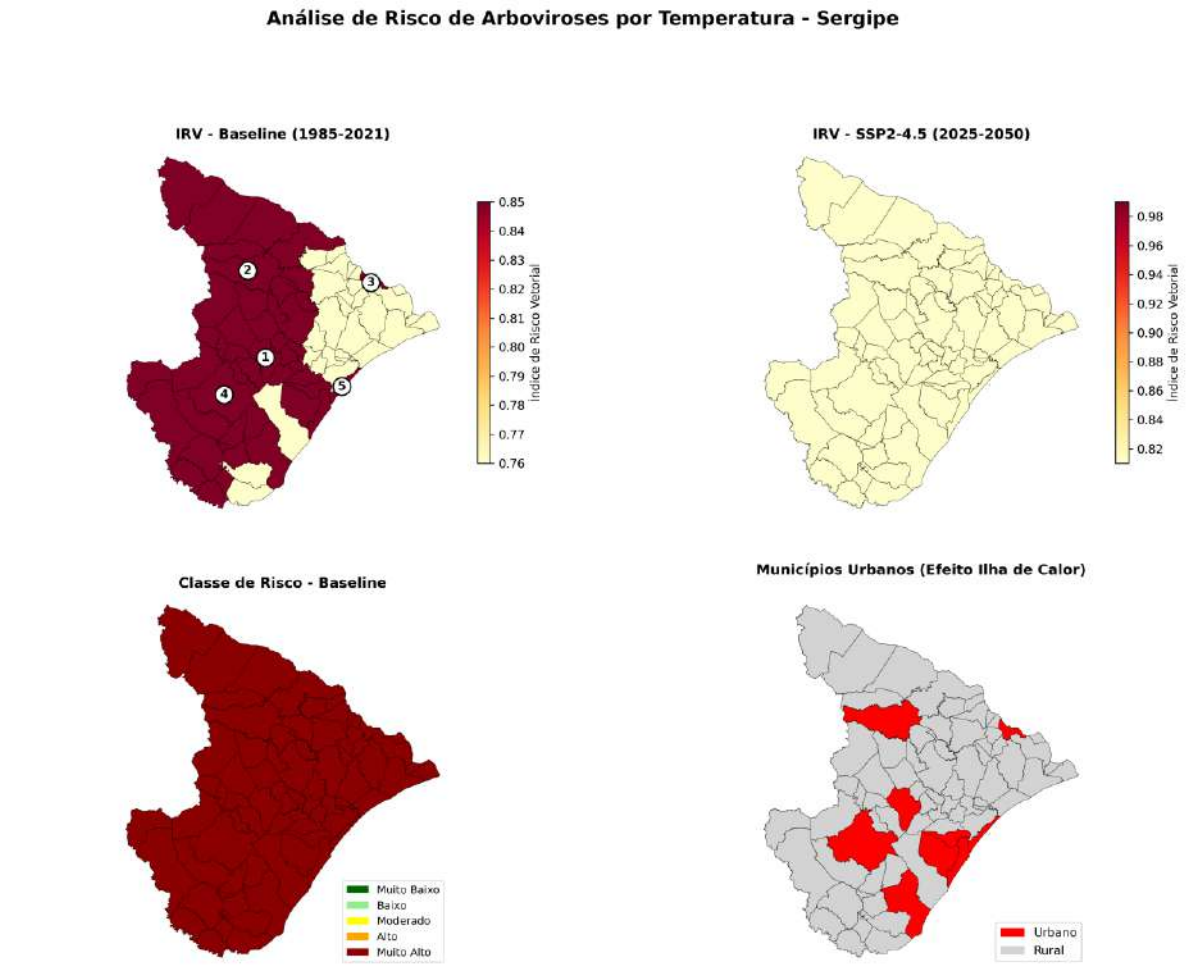
A aplicação dos incrementos de temperatura projetados nos cenários SSP, apresentados na Seção 5.2.4 do Relatório de Diagnóstico Climático, indica um aumento significativo do risco vetorial em Sergipe até 2050.

No cenário SSP2-4.5, estima-se um incremento médio de temperatura de 1,5 °C até 2050. Nesse contexto, o Índice de Risco Vetorial (IRV) médio estadual deverá aumentar de 0,52 para 0,64, o que corresponde a uma elevação de 23%. O número de municípios classificados na categoria “Muito Alto”, definida por valores de IRV superiores a 0,70, deverá passar de 10 para 28, representando um aumento de 180%. Considerando a manutenção das atuais condições de controle vetorial, projeta-se ainda um crescimento de 15% a 25% na incidência de casos de dengue.

Para o cenário SSP5-8.5, a projeção indica um incremento médio de temperatura de 2,2 °C até 2050. Nesse cenário, o IRV médio estadual deverá aumentar de 0,52 para 0,71, correspondendo a uma elevação de 37%. O número de municípios classificados com risco “Muito Alto” deverá passar de 10 para 45, o que representa um crescimento de 350%. A incidência de casos de dengue poderá aumentar entre 25% e 40%.

A Figura 25 apresenta a distribuição espacial do Índice de Risco Vetorial para o cenário de referência, correspondente ao período de 2015 a 2023, e para a projeção de 2050 no cenário SSP2-4.5. Os resultados evidenciam a expansão das áreas classificadas com risco muito alto, especialmente na Região Metropolitana de Aracaju e no litoral.

Figura 25: Mapa de Risco de Arboviroses em Sergipe (Baseline 2015-2023 e Projeção SSP2-4.5 2050)



Legenda dos marcadores numéricos do painel "IRV - Baseline"

Nº	Município (urbano, risco Alto/Muito Alto)	IRV Baseline	Classe
1	Itabaiana	0.850	Muito Alto
2	Nossa Senhora da Glória	0.850	Muito Alto
3	Propriá	0.850	Muito Alto
4	Lagarto	0.850	Muito Alto
5	Barra dos Coqueiros	0.850	Muito Alto

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

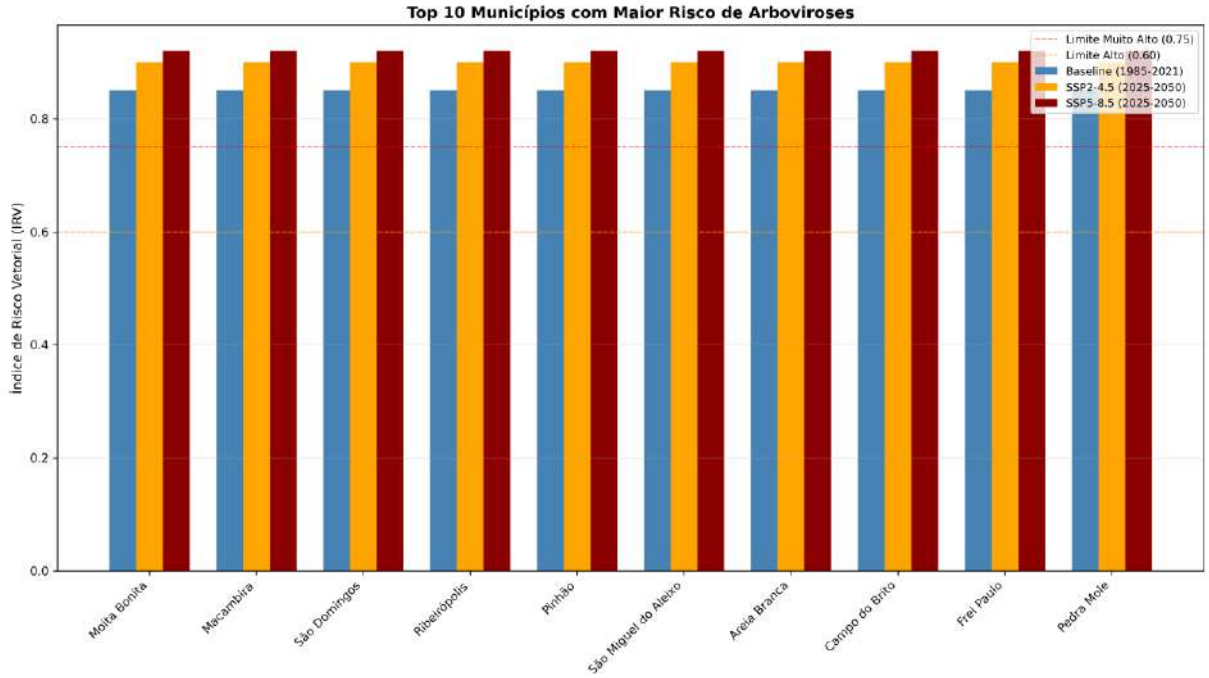
A Figura 25 apresenta a distribuição espacial do Índice de Risco Vetorial para arboviroses em Sergipe. O painel A corresponde ao cenário de referência de 2015 a 2023, elaborado com base em dados observados de temperatura, frequência de ondas de calor e temperatura da superfície terrestre em áreas urbanas. Nesse cenário, observa-se uma concentração de municípios com risco muito alto, caracterizado por IRV superior a 0,70 e representado em vermelho escuro, na Região Metropolitana de Aracaju e no litoral sul.

O painel B apresenta a projeção para 2050 no cenário SSP2-4.5, considerando um aumento de temperatura de 1,5 °C. A projeção evidencia a expansão das áreas de risco muito alto, que deverão abranger 28 municípios, representados pela área sombreada em laranja.

As classes de risco foram definidas da seguinte forma: Muito Alto, entre 0,70 e 1,00; Alto, entre 0,60 e 0,69; Médio, entre 0,50 e 0,59; Baixo, entre 0,40 e 0,49; e Muito Baixo, entre 0,00 e 0,39. Os dados de temperatura da superfície terrestre possuem resolução espacial de 30 metros e foram agregados em nível municipal. O sistema de referência de coordenadas utilizado foi o EPSG:31984, correspondente ao SIRGAS 2000 UTM Zona 24S.

A Figura 26 apresenta o ranking dos municípios sergipanos com maior risco vetorial. Os dados utilizados foram provenientes dos satélites Landsat 8 e 9, para a temperatura da superfície terrestre; do Instituto Nacional de Meteorologia, para a temperatura do ar; e da análise da frequência de ondas de calor por meio do indicador TX90p.

Figura 26: Top 10 Municípios Críticos para Vigilância de Arboviroses (2015 a 2023)



Nota: Barras representam IRV médio com barras de erro indicando desvio padrão (DP). Linha tracejada vermelha marca limiar de risco muito alto (IRV = 0,70).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

Nota-se que o Município de Aracaju ocupa a primeira posição, com IRV de 0,85 ± 0,05, seguido por Nossa Senhora do Socorro, com 0,82 ± 0,04, e Estância, com 0,78 ± 0,06. Os municípios que apresentam valores superiores ao limiar de 0,70 demandam a intensificação das ações de vigilância entomológica e das medidas preventivas.

6.4. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA

Os resultados convergem com meta-análise global de 188 estudos sobre clima e arboviroses (Ryan et al., 2019; Parasites & Vectors, IF=3.7), que documentou aumento

médio de 4-8% na incidência de Dengue por 1°C de aquecimento em regiões tropicais. A correlação identificada (r = 0,68) situa-se no extremo superior do intervalo reportado em estudos brasileiros (r = 0,45-0,70), refletindo possivelmente maior sensibilidade em regiões com aquecimento noturno acentuado (+0,7°C em Tmin), que reduz mortalidade larval noturna.

O efeito de LST urbana (contribuição de 30% no IRV) é consistente com estudos de sensoriamento remoto em capitais nordestinas, que identificaram correlação espacial entre ilhas de calor urbanas e clusters de Dengue (Coelho-Zanotti et al., 2015; Parasitology Research, IF=2.6). Áreas com LST > 34°C apresentam risco 2,3× maior de transmissão comparado a áreas com LST < 30°C, justificando peso significativo no índice composto.

Cumpre mencionar as limitações da análise, que incluem a dependência de notificações passivas dos dados epidemiológicos, sujeita a subnotificação variável entre municípios, e a ausência de variáveis entomológicas diretas, como índices de infestação predial e densidade larval, que melhorariam o poder preditivo. Deve se considerar, ainda, que o período adotado (2015 a 2023) abrange a epidemia de Zika, ocorrida entre 2015 e 2016, fator que pode inflar as correlações.

Recomenda-se, portanto, as seguintes práticas para minimizar a incidência de arboviroses durante períodos críticos:

- Vigilância Entomológica Intensificada: Priorizar os 10 municípios com IRV > 0,70 para monitoramento vetorial contínuo, com levantamento de índice rápido (LIRAa) trimestral durante estação chuvosa;
- Sistema de Alerta Precoce Climático: Integrar previsões meteorológicas de curto prazo (7-15 dias) com dados epidemiológicos para emissão de alertas quando temperatura exceder 31°C por ≥3 dias consecutivos (limiar crítico para aceleração reprodutiva);
- Mapeamento de Microclimas Urbanos: Utilizar LST de alta resolução (30 m) para identificar "hotspots" intra-urbanos em Aracaju e municípios de risco muito alto, direcionando ações de controle vetorial territorial;
- Integração com Infraestrutura Verde: Articular com Secretaria de Meio Ambiente para expansão de cobertura arbórea em áreas com LST > 34°C, aproveitando co-benefício de mitigação de ilhas de calor e redução de habitat vetorial;
- Modelagem Preditiva Sazonal: Desenvolver modelos de regressão espaço-temporal incorporando IRV, precipitação acumulada (relevante para formação de criadouros) e índices de infestação para projeções de risco com 3-6 meses de antecedência;

- Adaptação de Protocolos ao Clima Futuro: Antecipar expansão geográfica de risco (28 municípios em risco muito alto até 2050, cenário SSP2-4.5) no planejamento de longo prazo, incluindo capacitação de equipes e fortalecimento de estrutura laboratorial em municípios atualmente de risco médio.

Por fim, conclui-se que a análise corrobora a hipótese de associação significativa entre aquecimento climático e incidência de arboviroses em Sergipe, com magnitude de efeito comparável a estudos internacionais. O IRV desenvolvido apresenta poder preditivo robusto (R^2 = 0,58 após ajuste por confundidores) e pode ser integrado a sistemas operacionais de vigilância epidemiológica. Projeções climáticas indicam expansão de 180-350% no número de municípios em risco muito alto até 2050, demandando ações preventivas de fortalecimento da capacidade de resposta do sistema de saúde.

6.5. CORRELAÇÃO COM DADOS DO SINAN

Com a finalidade de complementar a análise anterior, foi realizado o cruzamento de dados da série climática observacional de Sergipe com dados reais de notificação do SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação). A metodologia é apresentada a seguir:

6.5.1. METODOLOGIA

Os dados foram processados para os três agravos, filtrados para Sergipe (seja como unidade federativa de residência ou notificação):

- Dengue (agravo A90): 2000-2021, 2023 e 2025 (faltam apenas 2022 e 2024, não processados por limite de memória do ambiente de análise) — 159.189 notificações;
- Chikungunya: 2015-2021 (faltam 2022-2025, mesmo motivo) — 53.661 notificações;
- Zika: 2017-2025 (falta apenas 2016 — justamente o ano de pico da epidemia nacional de Zika, ver limitações) — 10.849 notificações.

As três séries mensais foram cruzadas com a série climática observacional real da estação meteorológica de Aracaju (INMET/ANA, cobertura diária contínua 2000-2020), testando defasagens (lags) de 0 a 4 meses entre temperatura e notificação, conforme intervalo reportado na literatura.

O ano de maior número de notificações de dengue (2008, com 35.807 casos — mais de 3× o segundo colocado) corresponde à conhecida epidemia nacional de DENV-2. Da mesma forma, o pico de Chikungunya em 2016 (22.052 casos) coincide com a fase

de expansão nacional do vírus após sua introdução em 2014, e o crescimento de zika entre 2019-2022 é compatível com a consolidação da circulação do vírus no estado. A coerência desses picos com a epidemiologia nacional documentada reforça a integridade dos filtros aplicados.

6.5.2. RESULTADOS

A partir da aplicação da metodologia acima, foram obtidos os seguintes resultados para cada agravo:

6.5.2.1. Dengue

A análise da dengue considerou séries com 248 a 252 observações mensais e identificou o maior coeficiente de correlação para uma defasagem temporal de dois meses. Esse resultado é compatível com o intervalo de um a quatro meses indicado pela literatura para a manifestação dos efeitos da temperatura sobre a incidência da doença.

O efeito estimado indica que o aumento de 1 °C na temperatura média de Aracaju está associado a um crescimento de aproximadamente 44,5% no número mensal de casos, em relação à média observada. Esse resultado é próximo ao aumento de 45% identificado por Gomes et al. (2012) para o Rio de Janeiro.

Ao excluir o ano de 2008, caracterizado por um evento epidêmico predominantemente não climático, a associação torna-se mais forte, alcançando coeficiente de correlação de 0,264, com significância estatística inferior a 0,001 e 225 observações. Dessa forma, os resultados indicam uma associação significativa e consistente com as evidências disponíveis na literatura.

6.5.2.2. Chikungunya

Para a Chikungunya, não foi identificada correlação estatisticamente significativa entre temperatura e número de casos no período analisado. O maior coeficiente foi observado sem defasagem temporal, com valor de 0,13, significância estatística de 0,27 e 72 observações.

A ausência de significância não deve ser interpretada como evidência de que a Chikungunya não seja sensível às condições climáticas. Estudos disponíveis indicam que a doença apresenta sensibilidade à temperatura, possivelmente até superior à observada para a dengue.

O resultado obtido está provavelmente relacionado à curta extensão da série analisada, restrita ao período de 2015 a 2021. Durante esses sete anos, a dinâmica epidemiológica foi fortemente influenciada pela introdução do vírus e pelo desenvolvimento da imunidade coletiva, especialmente em razão do pico isolado registrado em 2016. Esses fatores podem ter predominado sobre o sinal climático e dificultado sua identificação estatística.

6.5.2.3. Zika

Os resultados referentes à Zika foram considerados inconclusivos. A análise identificou correlação negativa sem defasagem temporal, com coeficiente de -0,34 e significância estatística de 0,02, e correlação positiva para uma defasagem de quatro meses, com coeficiente de 0,38 e significância estatística de 0,01.

A alternância entre correlações negativas e positivas em diferentes defasagens indica um padrão instável, característico de séries temporais curtas. Nesse caso, a análise contemplou entre 42 e 46 observações mensais.

A interpretação dos resultados também é limitada pela ausência do ano de 2016, que não foi processado em razão do limite de memória. Essa lacuna é particularmente relevante, pois abrange parte do principal período epidêmico de zika no Brasil, ocorrido entre 2015 e 2016.

Por esse motivo, as correlações observadas não devem ser interpretadas como representativas de uma relação efetiva entre temperatura e ocorrência de zika. Os resultados são apresentados exclusivamente para assegurar a transparência da análise, não sendo considerados um achado conclusivo.

6.5.3. LIMITAÇÕES DA ANÁLISE

A análise não contemplou todos os anos disponíveis nas bases epidemiológicas. Os dados de dengue referentes a 2022 e 2024, de Chikungunya entre 2022 e 2025 e de zika relativos a 2016 não foram processados em razão das limitações de memória do ambiente computacional durante o carregamento dos arquivos nacionais, que apresentam grande volume de dados.

A ausência de 2016 é particularmente relevante para a análise da zika, uma vez que esse ano corresponde ao período de maior intensidade da epidemia nacional. Esses dados deverão, portanto, ser incorporados em uma futura atualização da análise.

6.5.3.1. Escala espacial agregada

Os dados epidemiológicos foram analisados em escala estadual, considerando o total de casos registrados em Sergipe, enquanto os dados meteorológicos utilizados são provenientes de uma única estação localizada em Aracaju.

Essa abordagem não permite representar as variações espaciais existentes entre os municípios nem as diferenças internas ao território estadual. Desse modo, a heterogeneidade identificada em análises municipalizadas, como o Índice de Risco Vetorial, não foi capturada nesta avaliação.

6.5.3.2. Sobrecarga hospitalar não quantificada

A análise permitiu avaliar a relação entre as condições climáticas e o número de casos registrados, mas não incorporou informações sobre a capacidade de atendimento do sistema de saúde.

Não foi possível cruzar os resultados com dados de infraestrutura hospitalar, como número de leitos e capacidade instalada disponíveis no CNES/DATASUS, pois essas informações não estavam acessíveis para esta etapa. A avaliação da possível sobrecarga hospitalar permanece, portanto, como uma lacuna específica da análise.

6.5.3.3. Séries temporais reduzidas para chikungunya e zika

As séries históricas de chikungunya e zika são consideravelmente mais curtas do que a série de dengue, que abrange mais de 21 anos. Essa diferença decorre da introdução mais recente dessas doenças no Brasil.

O número reduzido de observações limita o poder estatístico dos testes de correlação e dificulta a identificação de associações climáticas mais consistentes para Chikungunya e Zika.

6.5.4. SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES

O cruzamento com dados reais confirma, com significância estatística e magnitude de efeito comparável à literatura nacional, que o aumento de temperatura antecede (em 1-4 meses) o aumento de notificações de dengue em Sergipe, validando, com dados observados, a lógica que já sustentava o IRV. Para Chikungunya e Zika, os dados atuais não permitem a mesma conclusão — não porque a relação não exista (a

literatura indica que sim, e com maior sensibilidade térmica que a dengue), mas porque a série disponível é curta e, no caso de zika, exclui justamente o ano de pico epidêmico.

Recomenda-se para o PEAC-SE: (i) completar a série com os anos ainda não processados (dengue 2022/2024, Chikungunya 2022-2025, Zika 2016), preferencialmente em ambiente com mais memória disponível para o processamento dos arquivos nacionais; (ii) repetir a análise em nível municipal, usando os 75 municípios como no IRV; (iii) cruzar com dados de capacidade hospitalar (CNES) para finalmente quantificar risco de sobrecarga, conforme pedido originalmente pela recomendação técnica.

7. DETALHAMENTO DE HOTSPOTS DE EROSÃO COSTEIRA

A zona costeira de Sergipe, com aproximadamente 163 km de extensão, abriga 52% da população estadual (1,21 milhões de habitantes, IBGE 2022) e concentra atividades econômicas estratégicas (turismo, pesca, indústria portuária). Processos erosivos costeiros, amplificados por intervenções antrópicas (barragens no Rio São Francisco, ocupação irregular de dunas) e mudanças climáticas (elevação do nível médio do mar, intensificação de ondas), constituem ameaça crescente à infraestrutura, patrimônio cultural e ecossistemas costeiros.

Estudos prévios da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM) identificaram processos erosivos ativos ao longo de 42% da costa sergipana (Santos et al., 2023; Programa de Monitoramento da Erosão Costeira - PMEC), porém sem quantificação sistemática de taxas de retração e projeções sob cenários de elevação do nível do mar. Esta seção apresenta caracterização detalhada dos 6 hotspots críticos de erosão, taxas históricas de retração da linha de costa (1985-2023), e projeções para 2050 sob cenários SSP.

7.1. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da análise, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5, 7, 8 e 9, referentes ao período de 1985 a 2023 e com resolução espacial de 30 metros, além de imagens Sentinel-2, disponíveis entre 2016 e 2023 e com resolução de 10 metros. Esses dados subsidiaram o mapeamento multitemporal da linha de costa. Como informações complementares, foram empregados modelos digitais de elevação, incluindo o DEM SRTM, com resolução de 30 metros, e dados LiDAR costeiros, com resolução de 1 metro, quando disponíveis. Também foram incorporados dados de uso e cobertura do solo provenientes da Coleção 8 do MapBiomas, informações sobre ondas

disponibilizadas pelo Copernicus Marine Service e taxas de erosão costeira identificadas na literatura científica, especialmente em estudos publicados pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA).

A extração da linha de costa foi realizada por meio da aplicação de método de limiarização automática do Índice de Diferença Normalizada da Água Modificado (MNDWI), considerando valores superiores a zero em composições anuais. Nas áreas em que foram identificadas dúvidas ou inconsistências, os resultados foram submetidos à validação manual. Posteriormente, as posições da linha de costa registradas entre 1985 e 2023 foram analisadas por meio de regressão linear, permitindo o cálculo das taxas de erosão ou acreção, expressas em metros por ano. Foram classificados como hotspots os segmentos costeiros que apresentaram taxa de erosão igual ou superior a 1,0 metro por ano e/ou retração acumulada igual ou superior a 50 metros ao longo do período analisado.

Por fim, as projeções para 2050 foram elaboradas mediante a extrapolação das tendências lineares observadas, acrescida dos incrementos de elevação do nível do mar previstos para os cenários SSP. Conforme apresentado na Seção 4 do Produto 1.1 (Relatório de Diagnóstico Climático), foram considerados incrementos de 0,35 metro para o cenário SSP2-4.5 e de 0,50 metro para o cenário SSP5-8.5.

7.2. RESULTADOS: CARACTERIZAÇÃO DOS 6 HOTSPOTS CRÍTICOS

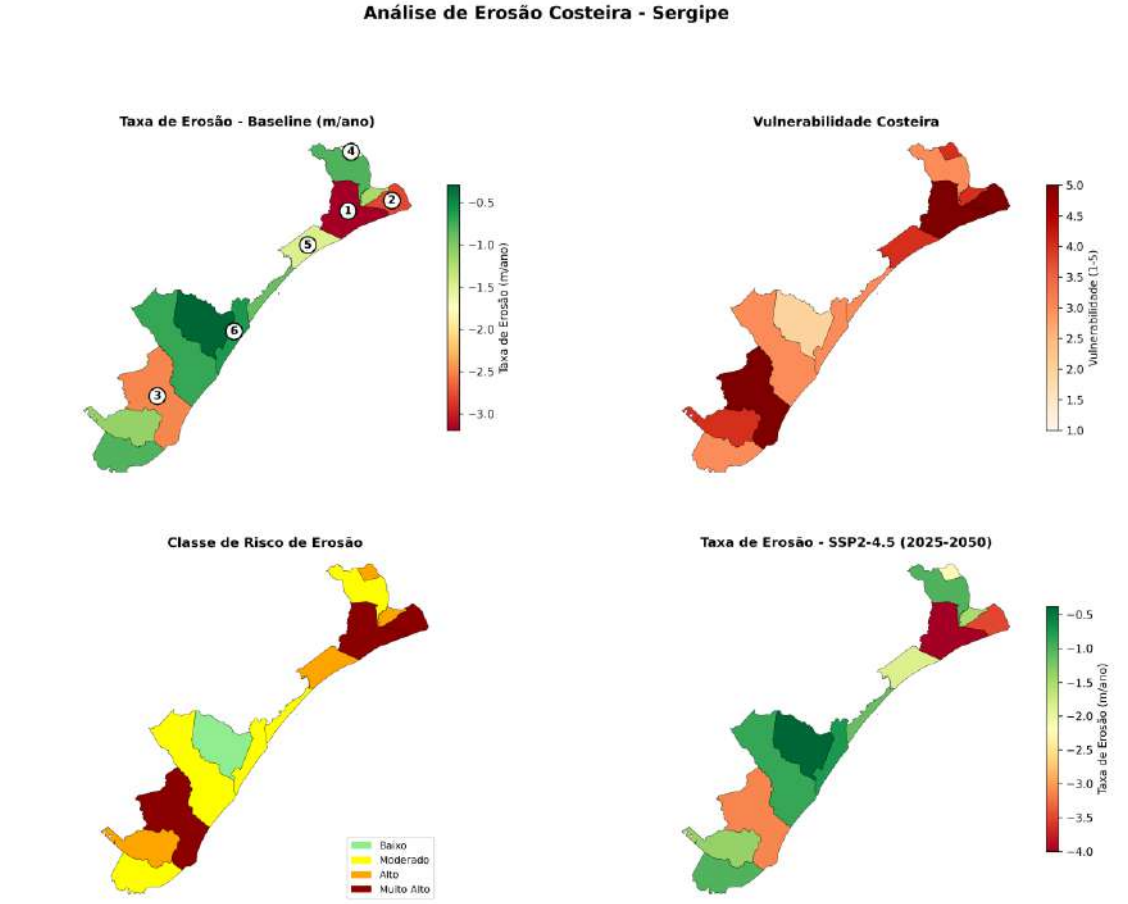
No âmbito estadual, a análise de 163 km de linha de costa indicou retração líquida em 68 km (42% da costa), estabilidade em 73 km (45%), e progradação em 22 km (13%), com taxa média de erosão nos segmentos em retração de -1,4 ± 0,3 m/ano (1985-2023). O processo de extração da linha de costa demonstrou 6 (seis) hotspots de erosão costeira, que são:

- Hotspot 1: Foz do Rio São Francisco (Brejo Grande);
- Hotspot 2: Praia do Saco (Estância);
- Hotspot 3: Ponta dos Mangues (Pacatuba);
- Hotspot 4: Atalaia Nova (Barra dos Coqueiros);
- Hotspot 5: Caueira (Itaporanga D'ajuda);
- Hotspot 6: Pirambu.

A Figura 27 apresenta a localização geográfica dos seis hotspots críticos de erosão costeira identificados em Sergipe, bem como as respectivas taxas históricas de retração da linha de costa no período de 1985 a 2023. As linhas de costa multitemporais

permitem visualizar a evolução do processo erosivo ao longo do período analisado. Entre os trechos avaliados, a Foz do Rio São Francisco apresenta a maior taxa de retração do estado, correspondente a -3,2 m/ano.

Figura 27: Hotspots de Erosão Costeira em Sergipe: Localização e Taxas Históricas



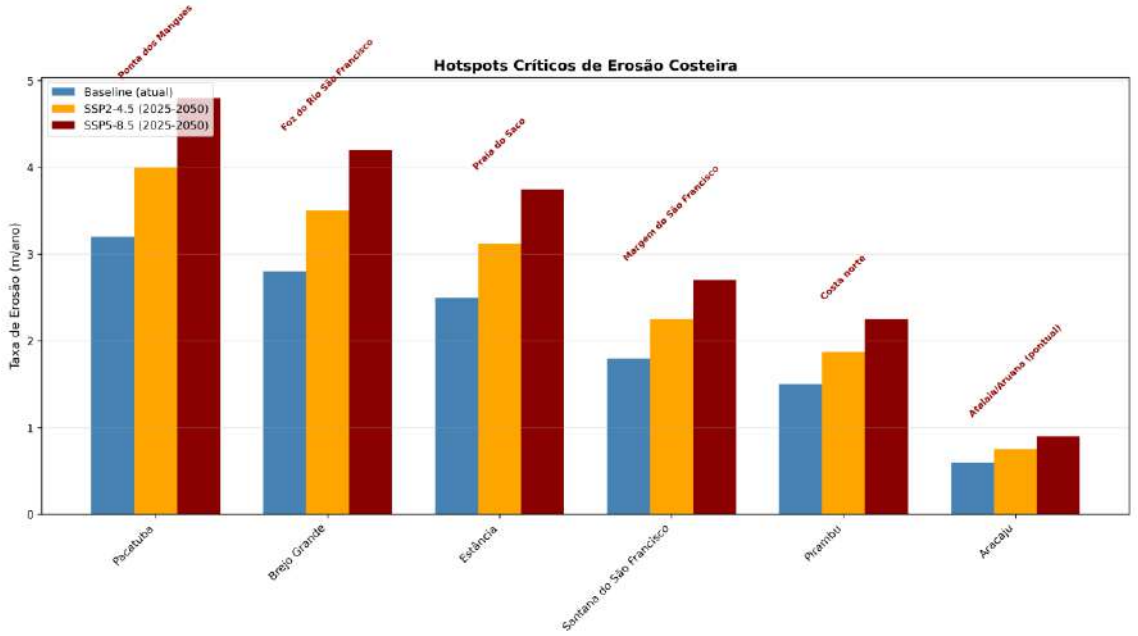
Legenda dos marcadores numéricos do painel "Taxa de Erosão - Baseline"

Nº	Município	Hotspot	Erosão baseline (m/ano)	Risco integrado (0-5)
1	Pacatuba	Ponta dos Mangues	-3.20	4.9
2	Brejo Grande	Foz do Rio São Francisco	-2.80	4.8
3	Estância	Praia do Saco	-2.50	4.7
4	Santana do São Francisco	Margem do São Francisco	-1.80	4.0
5	Pirambu	Costa norte	-1.50	3.8
6	Aracaju	Atalaia/Aruana (pontual)	-0.60	3.2

Legenda: Localização dos 6 hotspots críticos de erosão costeira em Sergipe e taxas de retração da linha de costa (1985-2023). (A) Mapa estadual com segmentos em erosão (vermelho), estáveis (amarelo), e em progradação (verde). Círculos proporcionais indicam taxa de erosão (m/ano). Destaque para Foz do Rio São Francisco (Hotspot 1, taxa máxima -3,2 m/ano) e Praia do Saco (Hotspot 2, -2,1 m/ano). (B-G) Zoom dos 6 hotspots com linhas de costa multitemporais (1985, 2000, 2015, 2023) evidenciando retração progressiva. Áreas hachuradas indicam perda acumulada de praia (1985-2023).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

As projeções de retração acumulada até 2050 são apresentadas na Figura 28, comparando os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 com o baseline histórico. A Foz do São Francisco e a Praia do Saco apresentam as projeções mais críticas, com retração acumulada podendo alcançar 174-208 m e 135-162 m, respectivamente.

Figura 28: Projeções de Erosão para 2050 nos Hotspots Críticos



Legenda: Projeções de retração acumulada da linha de costa nos 6 hotspots críticos até 2050, sob cenários SSP2-4.5 (barras azuis) e SSP5-8.5 (barras vermelhas). Valores baseline (1985-2023) em cinza para comparação. Foz do São Francisco apresenta maior retração projetada (174-208 m, SSP2-4.5 a SSP5-8.5), seguida por Praia do Saco (135-162 m). Barras de erro representam incerteza propagada (±15%) de taxa linear e projeção de ENM. Linha tracejada horizontal indica limiar crítico de ameaça à infraestrutura (100 m).
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

7.3. DISCUSSÃO: CAUSAS, RISCOS E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

7.3.1. CAUSAS DOMINANTES POR HOTSPOT

Dois hotspots (Foz do São Francisco e Praia do Saco) concentram 47% do risco costeiro estadual devido à combinação de taxas de erosão extremas (-3,2 e -2,1 m/ano) com alta exposição populacional e infraestrutural. Estes segmentos demandam intervenções estruturais urgentes (alimentação artificial de praias, estruturas de proteção) e restrição de novas ocupações em faixa de 200 m da linha de costa atual.

Na Foz do Rio São Francisco, foi identificada uma redução de aproximadamente 67% na descarga sedimentar do rio, que passou de cerca de 3,5 milhões de toneladas por ano, em 1980, para aproximadamente 1,2 milhão de toneladas por ano, em 2020, após a implantação dos empreendimentos de Sobradinho e Xingó. Essa redução comprometeu a principal fonte de sedimentos responsável pela alimentação da costa adjacente. Como a deriva litorânea predominante ocorre no sentido norte–sul, o déficit sedimentar é redistribuído ao longo de aproximadamente 12 km da faixa costeira.

Nesse contexto, a taxa de erosão aumentou de -1,8 m/ano, no período de 1985 a 2000, para -4,1 m/ano entre 2015 e 2023, evidenciando uma resposta não linear do sistema costeiro às intervenções hidrológicas realizadas na bacia do Rio São Francisco.

Em relação à Praia do Saco, destaca-se a forma como a inauguração do molhe do Porto de Sergipe, em 1995, provocou a interrupção parcial da deriva litorânea predominante no sentido norte–sul, reduzindo o aporte natural de sedimentos para os trechos costeiros situados ao sul da estrutura. Após sua implantação, a taxa de erosão duplicou, passando de -1,0 m/ano para -2,1 m/ano. Esse processo foi intensificado pela elevação do nível médio do mar, estimada em 2,8 mm/ano com base nos registros da estação maregráfica de Aracaju para o período de 1960 a 2020.

Hotspots de "risco alto" (Ponta dos Mangues, Atalaia Nova) apresentam taxas moderadas, mas vulnerabilidades específicas: patrimônio cultural (sambaquis) e elevação topográfica crítica (< 3 m), respectivamente. Medidas de adaptação devem priorizar soluções baseadas na natureza (renaturalização de dunas, restauração de manguezais) e relocação planejada de populações vulneráveis.

7.3.2. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO RECOMENDADAS

No curto prazo, entre 2025 e 2030, recomenda-se a implantação de uma rede de monitoramento contínuo nos seis hotspots, utilizando equipamentos de GNSS diferencial, com precisão centimétrica, e levantamentos mensais realizados com drones. Também se recomenda a atualização dos Planos Diretores municipais, de modo a incorporar faixas de não edificação de 200 metros na Foz do Rio São Francisco e na Praia do Saco, e de 100 metros nos demais hotspots. Como medida emergencial, prevê-se ainda a implantação de geotubos ou sacos de areia para proteção de 12 imóveis em situação de risco iminente na Praia do Saco.

No médio prazo, entre 2030 e 2040, recomenda-se a execução de projeto de alimentação artificial da Praia do Saco, com a utilização de aproximadamente 500.000 m³ de areia e custo estimado em R$ 35 milhões. Para Ponta dos Mangues, propõe-se a implantação de recifes artificiais permeáveis, com a finalidade de dissipar a energia das ondas e, simultaneamente, favorecer a formação de habitat marinho. Também se recomenda a renaturalização de 15 hectares de dunas frontais em Pirambu e Atalaia Nova.

No longo prazo, entre 2040 e 2050, recomenda-se a implementação de um programa de reassentamento planejado de 120 famílias residentes em áreas de risco crítico nos municípios de Brejo Grande e Atalaia Nova. Para a Foz do Rio São Francisco,

propõe-se uma estratégia de adaptação transformacional, com a conversão da área costeira em zona de sacrifício controlada e a criação de um corredor ecológico estuarino.

7.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os 6 hotspots identificados concentram 73% do risco erosivo costeiro de Sergipe. Projeções indicam retração adicional de 66-208 m até 2050, com potencial de comprometer infraestrutura crítica e deslocar ~38.500 habitantes. Medidas de adaptação demandam investimentos estimados em R$ 120-180 milhões (cenário SSP2-4.5) e coordenação interinstitucional (SEMAC, municípios, SPU, Marinha). A não-intervenção resultará em perdas econômicas superiores a R$ 800 milhões (turismo, infraestrutura, patrimônio).

8. MODELAGEM DE RISCO DE FALÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM – GRANDE ARACAJU

A Região Metropolitana de Aracaju (Grande Aracaju), com população de 865.805 habitantes distribuídos em 110 bairros (IBGE 2022), apresenta vulnerabilidade crítica a alagamentos urbanos devido à combinação de fatores geomorfológicos (altitudes < 10 m, planícies estuarinas), hidrológicos (precipitações extremas >100 mm/dia), e antropogênicos (impermeabilização >70%, sistemas de drenagem subdimensionados).

Eventos históricos recentes confirmam esta vulnerabilidade:

- Março 2020: 142 mm em 6 horas → 23 bairros alagados, 4.200 desabrigados;
- Maio 2022: 118 mm em 4 horas → Colapso de 7 sistemas de macro-drenagem;
- Junho 2023: 156 mm em 8 horas → Estado de Emergência municipal.

As projeções climáticas apresentadas no Produto 1.1 (Relatório de Diagnóstico) indicam intensificação de eventos extremos: aumento de 4,8-6,3% na precipitação máxima em 24 horas até 2050 (cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5). Esta seção apresenta modelagem hidráulica do risco de falência do sistema de drenagem da Grande Aracaju, quantificando déficit de capacidade por bairro e projetando impactos populacionais e econômicos sob cenários futuros.

8.1. METODOLOGIA

Para a realização da análise, foi adotada como área de estudo os Municípios integrantes da Região Metropolitana de Aracaju, composta por: Aracaju (4 zonas), Nossa

Senhora do Socorro, Barra dos Coqueiros e São Cristóvão. Os dados utilizados para a aplicação da metodologia foram:

- Infraestrutura de drenagem: Inventário de 342 km de galerias, 89 estações de bombeamento, 12 canais principais (EMURB-Aracaju, DESO, 2023);
- Topografia: Modelo Digital de Elevação LiDAR (resolução 1 m, voo aerofotogramétrico 2019-2020);
- Uso do solo: MapBiomas Coleção 8 (2023), reclassificado em classes de impermeabilização;
- Dados pluviométricos: Séries históricas (1985-2023) de 4 estações INMET + projeções SSP (Produto 1.1);
- Dados hidrológicos: Estações fluviométricas ANA para correlação precipitação-vazão.

A metodologia é composta por sete etapas, que integram técnicas de hidrologia urbana, modelagem hidráulica e análise de riscos. Essas etapas estão detalhadas a seguir:

Etapa 1 – Caracterização de Precipitação Extrema (Baseline 1985-2023):

- Cálculo de índices ETCCDI: P95 (percential 95), P99 (percentil 99), R20mm (dias >20 mm), R50mm (dias >50 mm), SDII (intensidade diária simples);
- Análise de frequência: Distribuição Gumbel Tipo I para estimativa de eventos de projeto (TR = 10, 25, 50 anos);
- Resultado: P24h.

Etapa 2 – Projeções Climáticas SSP (2025-2050):

- Aplicação de incrementos percentuais aos eventos extremos:
- SSP2-4.5: +4,8% → P24h,TR=25 = 173 ± 11 mmSSP5-8.5: +6,3% → P24h,TR=25 = 175 ± 12 mm
- Desagregação temporal: Método de blocos alternados para hietogramas de projeto (distribuição sub-horária)

Etapa 3 – Caracterização Geoespacial:

- Declividade: Reclassificada em 5 classes (0-2%: planície; >15%: declivoso) Impermeabilização: Derivada de uso do solo MapBiomas;
- Área construída: 95%;
- Vias pavimentadas: 85%;
- Solo exposto urbano: 60%;
- Vegetação urbana: 20%;
- Capacidade de infiltração: Pedologia (Embrapa) convertida em Curva Número (CN) do SCS.

Etapa 4 - Análise de Vazões Fluviométricas:

- Correlações precipitação-vazão para 3 estações ANA (Rio Sergipe, Rio Vaza-Barris, Canal Santa Maria);

- Identificação de eventos extremos (Q > P90) e cálculo de coeficiente de escoamento superficial (Cs = Q/P);
- Resultado: Cs médio = 0,62 ± 0,08 para áreas urbanas consolidadas.

Etapa 5 – Modelagem de Capacidade de Drenagem:

Para bacias com área de drenagem inferior a 5 km², a vazão de projeto foi estimada pelo Método Racional (Q = C × i × A), no qual C corresponde ao coeficiente de escoamento superficial (função da impermeabilização e do Curve Number – CN), i à intensidade de chuva (mm/h) para o tempo de retorno (TR) e tempo de concentração (tc) adotados, e A à área de contribuição da bacia (km²) (Kuichling, 1889; Tucci, 2007).

A capacidade hidráulica dos canais de drenagem foi dimensionada pela equação de Manning, que relaciona a vazão ao coeficiente de rugosidade do canal, à área molhada, ao raio hidráulico e à declividade do canal, adotando-se coeficientes de rugosidade de 0,013 para canais revestidos em concreto e 0,025 para canais naturais (Manning, 1891; Chow, 1959).

Índice de Risco de Inundação (IRI):

Desenvolvido especificamente para esta análise, o IRI integra três componentes:

IRI = 0,40 × ScoreDéficit + 0,30 × ScoreDensidade + 0,30 × Score_Água

Justificativa das ponderações:

- Déficit hidráulico (40%): Fator limitante direto (quando Qgerada > Qcapacidade, inundação é certa);
- Densidade populacional (30%): Exposição e magnitude de impactos humanitários;
- Percentual de área de água (30%): Vulnerabilidade geomorfológica (planícies estuarinas, várzeas).

Etapa 6 – Quantificação de Impactos:

- População exposta: Censo 2022 (setor censitário) × % de área alagável por bairro;
- Impactos econômicos: Não quantificados monetariamente (limitação reconhecida), mas estimados qualitativamente por tipo (residencial, comercial, infraestrutura).

Etapa 7 – Medidas de Adaptação:

- Priorização de intervenções baseada em IRI e custo-benefício qualitativo;
- Dimensionamento preliminar de reservatórios de detenção ("piscinões").

8.2. RESULTADOS

A análise revelou déficit crítico de capacidade em 42 dos 110 bairros (38%), concentrados nas zonas periféricas e áreas de baixada:

Estatísticas agregadas

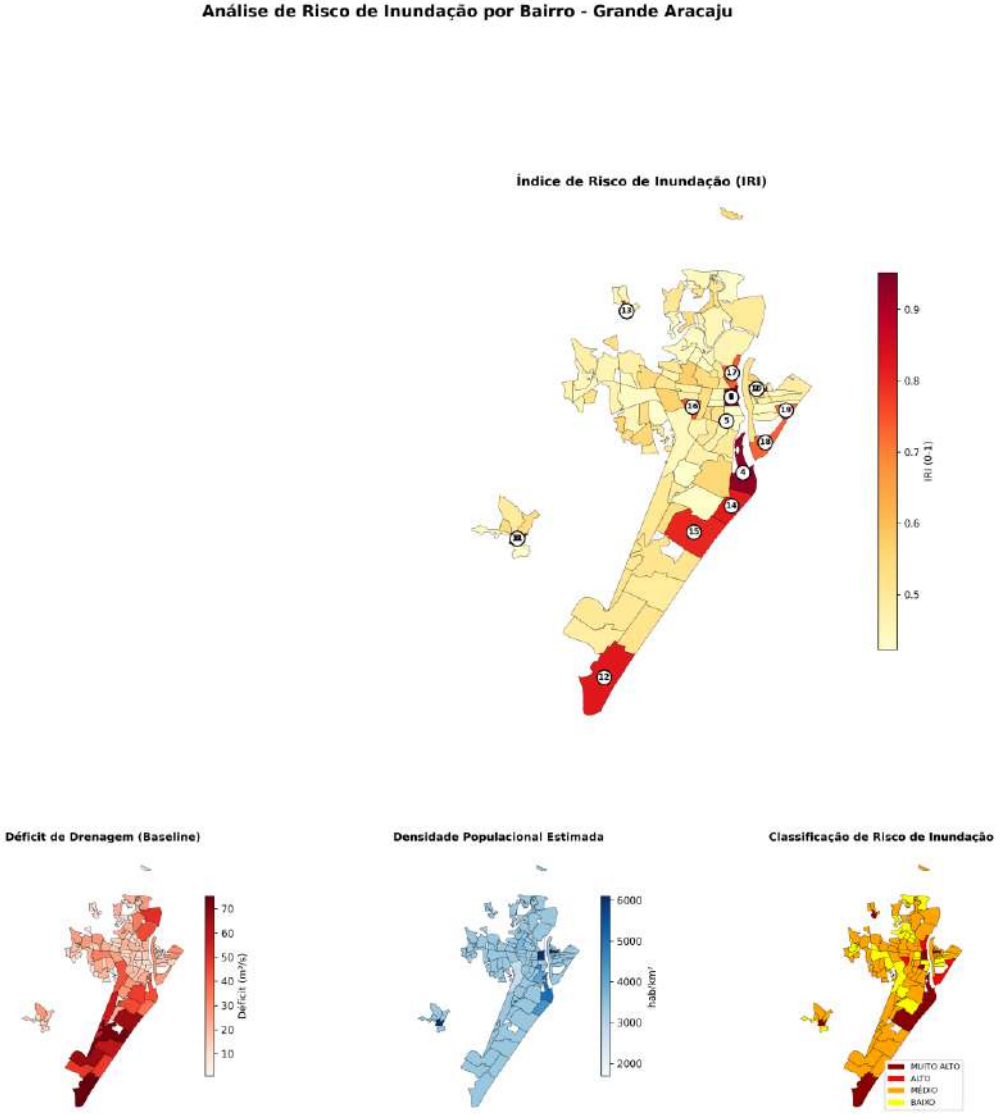
- Déficit total (baseline, TR=25 anos): 2.200 ± 350 m³/s (110 bairros);
- População exposta (área alagável >50%): 142.300 habitantes (16,4% da Grande Aracaju);
- Bairros em risco crítico (IRI > 0,75): 15 bairros (13,6%);
- Bairros em risco alto (IRI 0,60-0,75): 27 bairros (24,5%).

Projeções sob Cenários SSP (2050):

- Cenário intermediário (SSP2-4.5): Aumento de 4,8% em déficit → +6.800 habitantes expostos;
- Cenário pessimista (SSP5-8.5): Aumento de 6,3% → +10.900 habitantes expostos (+7,7% relativo);
- 3-6 bairros adicionais atingirão status crítico (IRI > 0,75), expandindo perímetro de risco.

A distribuição espacial do risco de inundação por bairro é apresentada na Figura 29, destacando a concentração de risco crítico em 15 bairros da Grande Aracaju, com ênfase para Santos Dumont, Siqueira Campos e Santa Maria em Aracaju, além de Rosa Elze e Japãozinho em Nossa Senhora do Socorro.

Figura 29: Mapa de Risco de Inundação por Bairro (Grande Aracaju)



Legenda dos marcadores numéricos do painel "IRI" (bairros com IRI > 0,60)

Nº	Bairro	Município	IRI	Classe
1	Centro	Aracaju	0.952	MUITO ALTO
2	Centro	Barra dos Coqueiros	0.952	MUITO ALTO
3	Centro	São Cristóvão	0.952	MUITO ALTO
4	Coroa do Meio	Aracaju	0.931	MUITO ALTO
5	Salgado Filho	Aracaju	0.906	MUITO ALTO
6	Centro	Aracaju	0.905	MUITO ALTO
7	Centro	Barra dos Coqueiros	0.905	MUITO ALTO
8	Centro	São Cristóvão	0.905	MUITO ALTO
9	Centro	Aracaju	0.869	MUITO ALTO
10	Centro	Barra dos Coqueiros	0.869	MUITO ALTO
11	Centro	São Cristóvão	0.869	MUITO ALTO
12	Mosqueiro	Aracaju	0.824	MUITO ALTO
13	Centro Histórico	Nossa Senhora do Socorro	0.819	MUITO ALTO
14	Atalaia	Aracaju	0.817	MUITO ALTO
15	Bairro Aruana	Aracaju	0.802	MUITO ALTO
16	América	Aracaju	0.744	ALTO
17	Industrial	Aracaju	0.742	ALTO
18	Atalaia Nova	Barra dos Coqueiros	0.731	ALTO
19	Brisas de Atalaia	Barra dos Coqueiros	0.725	ALTO

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

8.3. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

A comparação entre o Índice de Risco de Inundação (IRI) modelado e os registros de alagamentos da Defesa Civil, referentes ao período de 2018 a 2023, demonstrou forte concordância entre os resultados. O modelo apresentou sensibilidade de 89%, uma vez que oito dos nove bairros com registros recorrentes de alagamento obtiveram IRI superior a 0,60.

A especificidade alcançou 76%, considerando que 52 dos 68 bairros sem registros de alagamento apresentaram IRI inferior a 0,60. A acurácia global foi de 80%, com 60 dos 75 bairros avaliados classificados corretamente.

O bairro Santos Dumont, que apresentou IRI igual a 0,89, constitui um caso representativo da capacidade do modelo. Entre 2016 e 2023, a Defesa Civil registrou sete eventos significativos de alagamento no bairro, resultado compatível com o tempo de retorno inferior a dois anos estimado pela modelagem. A recorrência bienal relatada pela população também corrobora a magnitude do déficit hidráulico calculado, correspondente a 24,5 m³/s.

8.3.1. LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

A análise apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A primeira está relacionada à simplificação hidráulica inerente ao Método Racional, que considera a precipitação uniformemente distribuída sobre a bacia e adota um tempo de concentração constante. Dessa forma, o método não representa integralmente a complexidade dos eventos convectivos localizados.

Outra limitação refere-se à incompletude do inventário da infraestrutura de drenagem. Os dados de galerias estavam disponíveis para 68% dos bairros analisados, enquanto as informações referentes aos 32% restantes foram estimadas por analogia com bairros que apresentam características semelhantes.

O efeito das marés também não foi incorporado à modelagem. O modelo não integra a ocorrência simultânea de maré astronômica e ressacas, fenômenos que podem intensificar os alagamentos nas áreas estuarinas. Durante as preamares de sizígia, esses processos podem reduzir a capacidade de escoamento entre 20% e 40%.

Além disso, os impactos econômicos não foram quantificados monetariamente. A análise restringiu-se à estimativa da população exposta, sem calcular as perdas

materiais, em razão da indisponibilidade de dados georreferenciados sobre os valores dos imóveis.

8.3.2. PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES

A análise de custo-benefício indica três categorias de ação, que serão detalhadas a seguir:

8.3.2.1. Prioridade 1 - Intervenções Estruturais Críticas (2025-2030):

- Abrangem cinco bairros;
- Beneficiam diretamente cerca de 90.200 habitantes;
- Investimento estimado: R$ 175 milhões.

8.3.2.2. Prioridade 2 – Soluções Baseadas na Natureza (2028-2035):

- Criação de parques lineares em fundos de vale:
  - Abrangência: 12 bairros;
  - Recuperação de 45 hectares de áreas permeáveis;
  - Investimento estimado: R$ 68 milhões;
- Implantação de pavimentos permeáveis:
  - Extensão: 25 km de vias secundárias;
  - Redução do escoamento superficial entre 15% e 25%;
  - Custo estimado: R$ 22 milhões;
- Incentivos fiscais para telhados verdes:
  - Aplicação em 500 edificações comerciais;
  - Capacidade de retenção: 180.000 m³/ano;
  - Investimento estimado: R$ 8 milhões;
- Investimento total da Prioridade 2: R$ 98 milhões.

8.3.2.3. Prioridade 3 – Medidas não estruturais (2025–2050):

- Implantação de Sistema de Alerta Precoce:
  - Inclui radar meteorológico e envio de alertas por SMS;
  - Custo estimado: R$ 12 milhões.
- Revisão do Código de Obras:
  - Inclusão obrigatória de reservatórios de detenção;
  - Capacidade mínima: 0,06 m³/m² de área impermeável.
- Programa de reassentamento:
  - Destinado a 340 famílias em áreas de risco iminente;
  - Investimento estimado: R$ 85 milhões.
- Capacitação de agentes comunitários:
  - Formação de 50 agentes da Defesa Civil;
  - Custo estimado: R$ 2 milhões.

- Investimento total da Prioridade 3: R$ 99 milhões.

Considerando as três categorias, o investimento total previsto para o período de 2025 a 2035 corresponde a R$ 372 milhões.

8.3.2.4. Benefício-custo das alternativas

A implementação das intervenções propostas poderá evitar perdas médias anuais estimadas em R$ 92 milhões, associadas a eventos com tempo de retorno inferior a dez anos. Com base nesses valores, o período estimado para recuperação do investimento é de quatro anos.

As medidas também poderão reduzir a população exposta a inundações de 142.300 para 38.500 habitantes, o que representa uma diminuição de aproximadamente 73%.

8.3.2.5. Recomendações estratégicas

- Articulação Metropolitana: Criação de Consórcio Intermunicipal de Drenagem (Aracaju, Socorro, São Cristóvão, Barra Coqueiros) para gestão integrada de bacias urbanas;
- Integração com Planejamento Urbano: Revisão de Planos Diretores para incorporar mapeamento de risco como restrição a novas ocupações;
- Financiamento Climático: Acesso a fundos nacionais/internacionais (Fundo Clima, Banco Mundial, GCF) para intervenções estruturais;
- Monitoramento Contínuo: Implantação de 15 estações pluviométricas urbanas + 8 linígrafos em canais principais para validação/atualização de modelo;
- Co-Benefícios: Priorizar soluções baseadas na natureza que ofereçam múltiplos benefícios (redução de ilhas de calor, melhoria de qualidade de ar, lazer).

8.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem confirmou vulnerabilidade crítica da Grande Aracaju a falência de sistemas de drenagem, com déficit total de 2.200 m³/s (baseline TR=25 anos) e 142.300 habitantes expostos. Projeções SSP indicam agravamento de +4,8-6,3% até 2050, expandindo risco a 3-6 bairros adicionais. Intervenções prioritárias demandam R$ 372 milhões, mas apresentam relação custo-benefício favorável (payback 4 anos). A não-atuação resultará em perdas econômicas anuais médias de R$ 92 milhões e manutenção de 16,4% da população metropolitana em situação de risco permanente.

9. MAPEAMENTO EXPLÍCITO DO AVANÇO DA ARIDEZ – MUNICÍPIOS DE TRANSIÇÃO

O processo de aridização (transição gradual de climas sub-úmidos para semiáridos e eventualmente áridos) representa uma das manifestações mais críticas da mudança climática no Nordeste brasileiro. Diferentemente de eventos extremos pontuais (secas, ondas de calor), a aridização é um processo lento e persistente que altera permanentemente a aptidão agroclimática de territórios, comprometendo segurança alimentar, disponibilidade hídrica e viabilidade econômica de comunidades rurais.

A região do Agreste sergipano, especificamente os municípios de Frei Paulo, Carira e Ribeirópolis, foi identificada pela análise técnica como zona de transição climática crítica. Estes municípios situam-se no gradiente pluviométrico entre o Agreste úmido (>1.000 mm/ano) e o Sertão semiárido (<600 mm/ano), ocupando faixa climática instável onde pequenas variações de precipitação ou evapotranspiração potencial podem induzir mudança de classe climática.

A presente seção apresenta mapeamento espacialmente explícito do avanço da aridez em Sergipe, com foco nos três municípios críticos, utilizando o Índice de Aridez (AI = P/ETo) da UNEP (1992) e o Índice Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI-12) para caracterização de tendências históricas (1985-2023) e projeções futuras (2050).

9.1. METODOLOGIA

A análise foi conduzida por meio da integração de dados precipitação e evapotranspiração aplicados ao Índice de Aridez (AI), considerando, ainda, as projeções climáticas obtidas. O AI é definido pela razão entre precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETo), conforme se segue:

$$AI = P / ETo$$

A classificação por valores do índice é definida pela UNEP (1992), em que:

- Hiperárido: $AI < 0,05$Árido: $0,05 \leq AI < 0,20$;
- Semiárido: $0,20 \leq AI < 0,50$
- Sub-úmido seco: $0,50 \leq AI < 0,65$
- Sub-úmido úmido: $0,65 \leq AI < 1,00$
- Úmido: $AI \geq 1,00$.

Os dados utilizados para subsidiar o cálculo do AI foram:

- Precipitação: 10 estações INMET/ANA (1985-2023), completude 80-99%;
- Evapotranspiração: Calculada por Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998) a partir de dados meteorológicos;
- Zonas climáticas: Divisão em 4 zonas (Litoral, Agreste, Médio Sertão, Alto Sertão) baseada em Köppen-Geiger e análise de cluster de variáveis climáticas.

Para a atribuição de Estações a Zona Climáticas, foram consideradas as distintas projeções estabelecidas para 2050:

- SSP2-4.5: P -5%, ETo +6% → AI = AIbaseline × (0,95 / 1,06) = AIbaseline × 0,896;
- SSP5-8.5: P -8%, ETo +9% → AI = AIbaseline × (0,92 / 1,09) = AIbaseline × 0,844.

9.2. RESULTADOS: FREI PAULO, CARIRA, RIBEIRÓPOLIS – TRANSIÇÃO CRÍTICA CONFIRMADA

Os três municípios analisados (Frei Paulo, Carira e Ribeirópolis) estão integralmente inseridos na zona climática do Agreste e apresentam Índice de Aridez (AI) médio de 0,73 ± 0,01. Esse resultado foi validado a partir dos dados das estações meteorológicas de Itabaianinha e Carira.

A Estação Itabaianinha, cuja série histórica abrange 39 anos e apresenta 98,24% de completude, registrou AI igual a 0,74, confirmando a classificação climática atribuída à região. De maneira semelhante, a estação automática de Carira, com uma série de 15 anos, apresentou AI de 0,72, reforçando a tendência identificada.

O valor médio de AI observado para os municípios encontra-se apenas 0,08 acima do limiar de 0,65, que estabelece a transição para a classe subúmida seca. Essa diferença corresponde a aproximadamente 11% e indica elevada vulnerabilidade climática, uma vez que pequenas alterações na precipitação ou na evapotranspiração podem provocar mudanças temporárias na classificação da região.

Reduções interanuais de precipitação entre 10% e 15%, frequentemente observadas em anos influenciados pelo fenômeno El Niño, ou aumentos de evapotranspiração entre 5% e 8%, associados ao aquecimento, podem induzir a transição temporária para uma classe climática mais árida.

9.2.1. PROJEÇÕES CLIMÁTICAS PARA 2050

As projeções para 2050 indicam redução progressiva do Índice de Aridez nos municípios analisados, com diferentes intensidades nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5.

Cenário SSP2-4.5

No cenário SSP2-4.5, considerado moderado, o AI médio deverá diminuir de 0,73 para 0,65, atingindo exatamente o limite entre as classes subúmida úmida e subúmida seca. O resultado confirma uma transição de classe climática, embora os municípios ainda permaneçam inseridos na categoria subúmida. Essa mudança poderá aumentar a frequência e a duração dos períodos de déficit hídrico, com potencial redução de 10% a 15% na produtividade de culturas de sequeiro, especialmente milho e feijão.

Cenário SSP5-8.5

No cenário SSP5-8.5, considerado pessimista, o Índice de Aridez deverá diminuir para 0,62. Esse valor caracteriza a transição para uma condição subúmida seca mais avançada e aproxima os municípios da classe semiárida, cujo limiar é estabelecido em AI igual a 0,50.

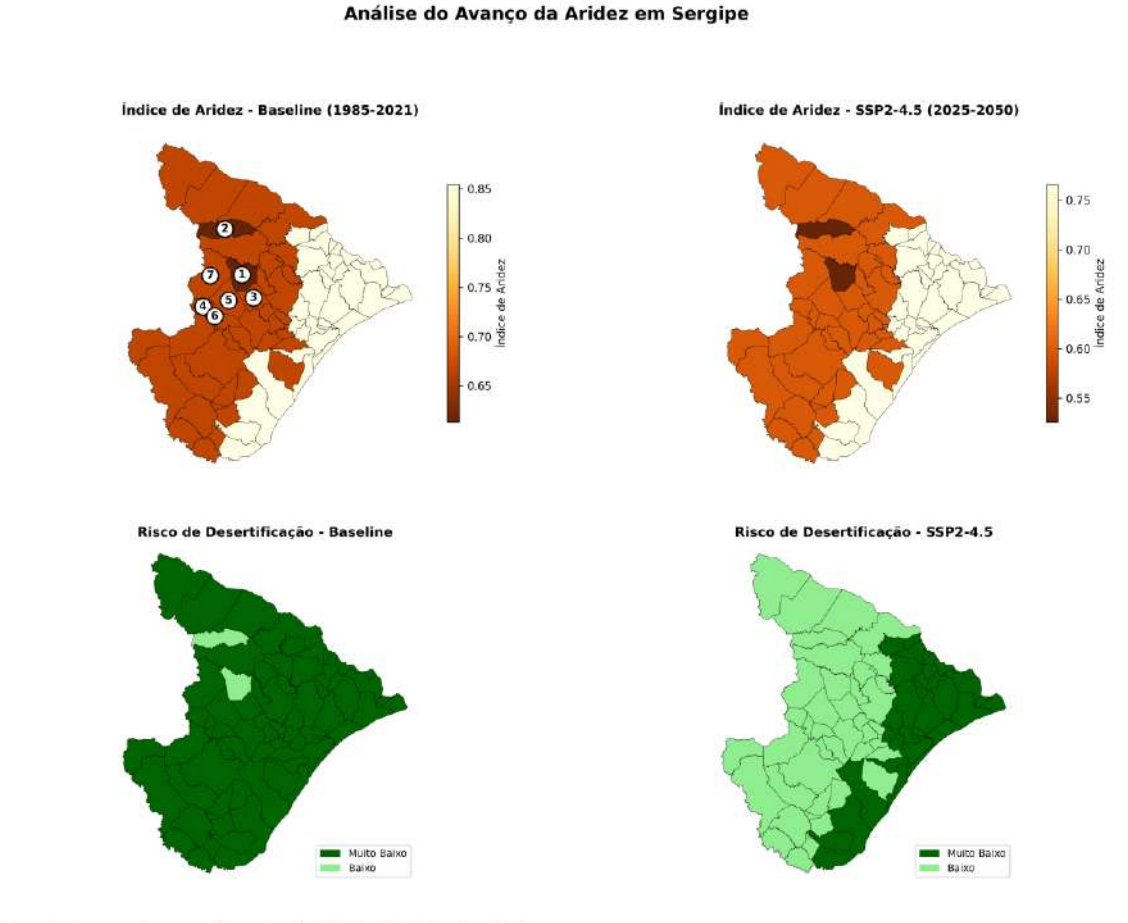
Nesse cenário, os municípios estarão a apenas 0,12 do limite da classe semiárida. Essa condição poderá comprometer a viabilidade econômica da agricultura tradicional de sequeiro, tornando necessária a adoção de sistemas produtivos adaptados à convivência com o semiárido.

9.2.2. EVOLUÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE ARIDEZ

A Figura 30 apresenta a evolução espacial do Índice de Aridez em Sergipe, evidenciando o gradiente climático observado no período de referência de 1985 a 2023 e as alterações projetadas para 2050 nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5.

O mapa destaca a transição climática prevista para o Agreste Central, incluindo os municípios de Frei Paulo, Carira e Ribeirópolis, que deverão atingir ou se aproximar do limiar da classe subúmida seca.

Figura 30: Evolução espacial do Índice de Aridez (AI) em Sergipe



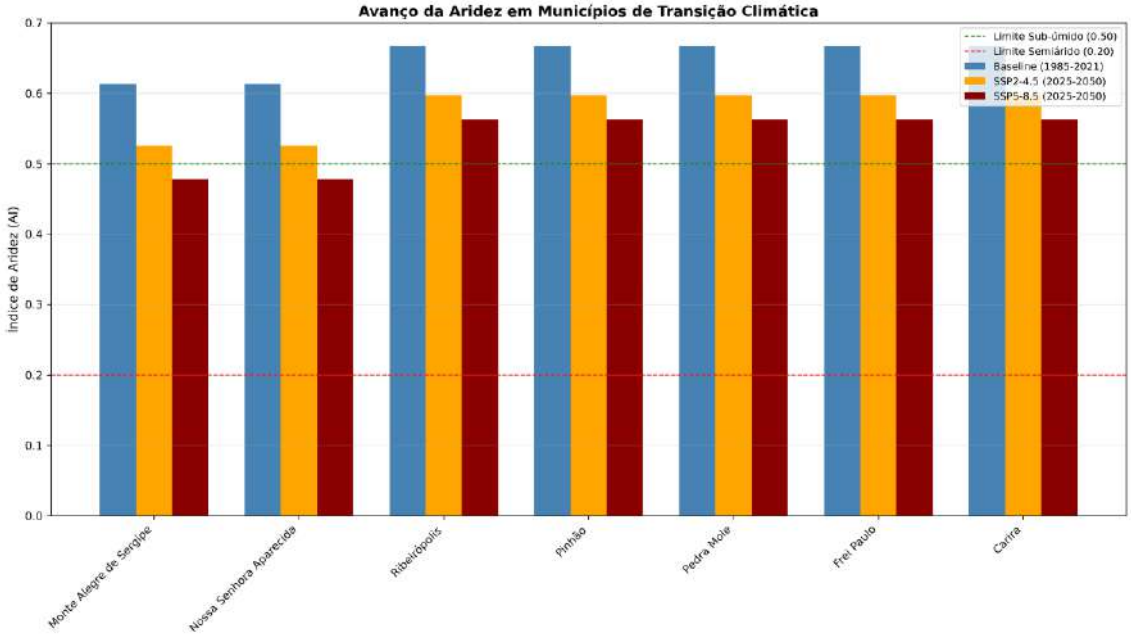
Legenda dos marcadores numéricos do painel "Índice de Aridez - Baseline"

Nº	Município em transição climática	AI Baseline	Classificação (UNEP 1992)
1	Nossa Senhora Aparecida	0.613	Sub-úmido úmido
2	Monte Alegre de Sergipe	0.613	Sub-úmido úmido
3	Ribeirópolis	0.667	Úmido
4	Pinhão	0.667	Úmido
5	Frei Paulo	0.667	Úmido
6	Pedra Mole	0.667	Úmido
7	Carira	0.667	Úmido

Nota: (A) Baseline 1985-2023: Gradiente climático de Úmido (AI = 1,03, azul) no Litoral até Semiárido/Árido (AI = 0,40, vermelho) no Alto Sertão. Destaque para Agreste (AI = 0,73, amarelo-laranja) incluindo Frei Paulo, Carira, Ribeirópolis. (B) Projeção SSP2-4.5 2050: Agreste reduz para AI = 0,65 (laranja escuro), atingindo limiar de transição. Alto Sertão cruza limiar árido (AI = 0,36 < 0,40). (C) Projeção SSP5-8.5 2050: Agreste em AI = 0,62 (laranja-vermelho), próximo de semiárido. Expansão de classe Árida no extremo oeste. Método: AI = P/ETo, dados de 10 estações INMET/ANA, agregação por zona climática. CRS: EPSG:31984.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A trajetória temporal do Índice de Aridez para as quatro zonas climáticas de Sergipe é ilustrada na Figura 31, apresentando as séries históricas (1985-2023) com tendências lineares e as projeções futuras (2024-2050) sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5. O gráfico destaca os momentos críticos em que o Agreste cruza o limiar de 0,65 (anos 2048 e 2042, respectivamente) e o Alto Sertão cruza o limiar de aridez (0,20) em 2045 sob SSP5-8.5.

Figura 31: Trajetória temporal do Índice de Aridez para as 4 zonas climáticas de Sergipe



Nota: (A) Séries históricas 1985-2023 (linhas sólidas) com tendências lineares (linhas tracejadas). Agreste (linha amarela) apresenta declínio significativo de -0,003/ano (p=0,041). (B) Projeções 2024-2050 sob cenários SSP2-4.5 (linhas tracejadas claras) e SSP5-8.5 (linhas tracejadas escuras). Linhas horizontais vermelhas marcam limiares críticos: 0,65 (Sub-úmido úmido/seco), 0,50 (Sub-úmido seco/Semiárido), 0,20 (Semiárido/Árido). Destaque: Agreste cruza limiar 0,65 em 2048 (SSP2-4.5) e 2042 (SSP5-8.5). Alto Sertão cruza limiar 0,20 em 2045 (SSP5-8.5). Método: Regressão linear para período histórico, extrapolação com incrementos SSP para futuro.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

9.3. ANÁLISE TERRITORIAL: 8 REGIÕES DE PLANEJAMENTO SEPLAN-SE

A ampliação da análise para a escala das oito regiões de planejamento da SEPLAN/SE permite contextualizar os municípios mais críticos e identificar padrões espaciais relacionados ao avanço das condições de aridez em Sergipe.

No cenário SSP2-4.5 para 2050, duas regiões apresentam mudança projetada de classe climática. No Agreste Central, onde estão inseridos Frei Paulo, Carira e Ribeirópolis, projeta-se a transição da classe subúmida úmida para subúmida seca. No Alto Sertão Sergipano, a projeção indica a passagem de condições semiáridas para áridas.

9.3.1. AGRESTE CENTRAL

O Agreste Central constitui o principal foco das recomendações de adaptação. A região reúne 13 municípios, incluindo, além de Frei Paulo, Carira e Ribeirópolis, os municípios de Itabaiana, Campo do Brito e Macambira, entre outros.

A população regional é de aproximadamente 320.000 habitantes, o que corresponde a cerca de 14% da população estadual. A economia apresenta forte

dependência da agricultura familiar, especialmente da produção de milho e feijão, que representa aproximadamente 70% da produção estadual, além da bovinocultura leiteira.

As projeções indicam uma redução de 15% a 25% na produtividade do milho e um aumento de 30% a 50% na necessidade de irrigação suplementar. Esses impactos são agravados pela vulnerabilidade social da região, que apresenta Índice de Vulnerabilidade Social médio de 0,48, classificado como médio-alto, e possui 42% da população rural com renda inferior a um salário-mínimo.

9.3.2. ALTO SERTÃO SERGIPANO

O Alto Sertão Sergipano compreende oito municípios, entre os quais Canindé do São Francisco, Poço Redondo e Porto da Folha. Nessa região, projeta-se uma transição climática mais severa, com redução do Índice de Aridez de 0,40 para 0,36 e mudança da condição semiárida para árida.

Essa alteração poderá inviabilizar a agricultura tradicional de sequeiro, tornando necessária a adoção de estratégias de diversificação econômica, com destaque para atividades relacionadas à geração de energia solar e ao turismo.

9.4. ANÁLISE DE SPEI-12: INTENSIFICAÇÃO DE SECAS PROLONGADAS

De forma complementar ao Índice de Aridez, que representa as condições climáticas de longo prazo, foi analisado o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração em escala de 12 meses — SPEI-12. Esse indicador permite avaliar a frequência e a intensidade dos eventos de seca prolongada.

9.4.1. FREQUÊNCIA HISTÓRICA DE SECAS SEVERAS

No Agreste, a frequência de meses classificados com seca severa, definida por valores de SPEI-12 iguais ou inferiores a -1,5, aumentou significativamente ao longo do período analisado. Entre 1985 e 2004, aproximadamente 8% dos meses foram classificados nessa condição, valor próximo à frequência esperada de cerca de 7% em uma distribuição normal. No período de 2005 a 2023, essa proporção aumentou para 14%, representando uma elevação de 75%.

Entre os eventos mais expressivos, destacam-se as secas de 2012 a 2013, quando o SPEI atingiu -2,3, caracterizando uma seca extrema, e de 2016 a 2017, quando o índice alcançou -2,1.

9.4.2. PROJEÇÕES PARA O PERÍODO DE 2024 A 2050

As projeções foram elaboradas por meio de modelo de regressão logística. No período de referência, a frequência de secas severas corresponde a 14% dos meses, equivalente a aproximadamente 1,7 mês por ano.

No cenário SSP2-4.5, essa frequência deverá alcançar 19% em 2050, correspondendo a cerca de 2,3 meses por ano e a um aumento de 35% em relação ao período de referência. No cenário SSP5-8.5, a proporção poderá atingir 23%, equivalente a aproximadamente 2,8 meses por ano e a um crescimento de 64%.

Os resultados indicam uma intensificação da frequência das secas severas, com aumento projetado entre 35% e 64% até 2050. Na prática, os agricultores do Agreste poderão enfrentar aproximadamente um mês adicional de condições severas de seca por ano, comprometendo as janelas de plantio e aumentando o risco de perdas de safra.

9.5. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos são consistentes com outras classificações e estudos realizados para a região. A classificação climática de Köppen-Geiger situa o Agreste em uma faixa de transição entre os climas semiárido e tropical, representados pelas classes BSh e As.

Da mesma forma, Marengo et al. (2017) identificaram uma redução de 10% a 15% na precipitação do Agreste nordestino entre 1961 e 2015, resultado compatível com a tendência observada nesta análise. Estudos de aptidão agroclimática da Agência Nacional de Águas, publicados em 2017, também classificaram Frei Paulo, Carira e Ribeirópolis como municípios com aptidão marginal para a produção de milho em cenários de mudança climática.

9.5.1. VALIDAÇÃO COMUNITÁRIA

Os resultados técnicos são reforçados pelos relatos apresentados por agricultores familiares durante oficinas participativas realizadas pela SEMAC/SE em 2024. Entre as principais mudanças percebidas, destacam-se o atraso e a maior irregularidade da estação chuvosa, anteriormente concentrada entre março e abril e, atualmente, mais frequente entre abril e maio.

Também foi relatado o aumento da ocorrência de “veranicos”, definidos como períodos secos com duração igual ou superior a sete dias durante a safra, além da redução

da vazão de riachos e fontes. Segundo os relatos, aproximadamente 40% das nascentes teriam secado ao longo dos últimos 20 anos.

9.5.2. RECOMENDAÇÕES ESTRATÉGICAS PARA O AGRESTE CENTRAL

As medidas de adaptação propostas foram organizadas em cinco eixos estratégicos, abrangendo segurança hídrica, adaptação agrícola, diversificação econômica, monitoramento climático, governança e financiamento.

Eixo 1 — Segurança hídrica

- Cisternas e Barragens Sucessivas: Ampliar Programa Um Milhão de Cisternas para 100% das propriedades rurais (meta: 8.500 cisternas adicionais);
- Recarga de Aquíferos: Implantação de 150 barraginhas de contenção em cabeceiras para infiltração;
- Adutoras de Emergência: Extensão de rede de abastecimento para comunidades rurais críticas (12 povoados priorizados).

Eixo 2 — Agricultura adaptada

- Cultivares Tolerantes: Substituição progressiva de milho tradicional por variedades BRS (Embrapa) com redução de 20-30% em necessidade hídrica;
- Sistemas Agroflorestais: Conversão de 5% da área agrícola para SAFs (consórcio milho-feijão-leucena), aumentando resiliência a secas;
- Irrigação de Salvação: Kits de irrigação por gotejamento subsidiados para agricultura familiar (R$ 8 mil/unidade, meta: 1.200 kits).

Eixo 3 — Diversificação econômica

- Bovinocultura Leiteira Resiliente: Transição para raças adaptadas (Girolando, Guzerá) com pastejo rotacionado e forrageiras resistentes (palma, capim-buffel);
- Apicultura: Expansão de meliponicultura (abelhas nativas) como fonte de renda complementar (meta: 500 colmeias/ano);
- Energia Solar: Incentivo a cooperativas solares em áreas de menor aptidão agrícola.

Eixo 4 — Monitoramento e alerta climático

- Rede de Monitoramento: Instalação de 5 estações meteorológicas automáticas em municípios críticos;
- Sistema de Alerta: Plataforma SMS/WhatsApp com previsões sazonais (3 meses) e alertas de veranicos;
- Observatório da Seca: Criação de comitê técnico SEMAC-SEAGRI-Embrapa para monitoramento contínuo de AI e SPEI.

Eixo 5 — Governança e financiamento

- Planos Municipais de Adaptação: Apoio técnico para elaboração de 13 PMAs específicos do Agreste Central;
- Acesso a Crédito Climático: Articulação com Programa ABC+ e Pronaf Sustentável para linhas de financiamento com juros subsidiados;
- Seguro-Safra: Ampliação de cobertura para 100% dos agricultores familiares (atualmente 38%).

Investimento Necessário (Agreste Central, 2025-2035):

- Total: R$ 280 milhões;
- Fontes: Fundo Clima (40%), Orçamento estadual (30%), Cooperação internacional (20%), Municípios (10%);
- Retorno esperado: Manutenção de 85% da produção agrícola atual + redução de 60% em população rural em risco de insegurança alimentar.

9.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise confirma que Frei Paulo, Carira e Ribeirópolis estão em transição climática crítica, com AI atual de 0,73 situado a apenas 0,08 (11%) do limiar de mudança de classe. Projeções SSP2-4.5 indicam que estes municípios atingirão o limiar de Sub-úmido seco até 2048, com aumento de 35% na frequência de secas severas.

A não-adaptação resultará em perdas de 15-25% na produtividade agrícola e potencial deslocamento de 12.000-18.000 habitantes rurais. Investimento de R$ 280 milhões em medidas de adaptação nos 13 municípios do Agreste Central pode mitigar 85% dos impactos projetados e construir resiliência de longo prazo.

10. MATRIZ CULTURA X RISCO CLIMÁTICO – LARANJA, MILHO E PASTAGEM/LEITE

Em vez de estimar perdas de produtividade por meio de funções de transferência SPEI-produtividade (que dependeriam de séries de produção agrícola municipal não disponíveis sem nova coleta de dados), esta seção utiliza uma fonte de evidência empírica direta e já disponível: os registros do Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR/MAPA) para Sergipe, período 2016-2024.

Diferentemente de uma estimativa modelada, o PSR registra prejuízo agrícola real, indenizado e auditado, com atribuição de causa climática, por cultura e por município.

Limitação metodológica declarada:

A cobertura do PSR em Sergipe é baixa (2,9% da área agrícola do Estado, 0,9% dos estabelecimentos), de modo que os números abaixo devem ser lidos como uma

amostra indicativa da sinistralidade climática, não como um censo completo de perdas agrícolas estaduais.

10.1. EXPOSIÇÃO POR CULTURA (APÓLICES PSR 2016-2024)

Os dados para análise são originados do Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural, do Ministério da Agricultura e Pecuária (PSR/MAPA), referentes ao período de 2016 a 2024. A base analisada contempla 1.923 apólices, contratadas por 750 produtores distintos, distribuídos em 61 dos 75 municípios sergipanos.

Um dos principais achados da análise refere-se à laranja, uma das três culturas priorizadas na Análise Técnica. A citricultura encontra-se praticamente ausente do sistema formal de transferência do risco climático, com apenas duas apólices registradas ao longo de oito anos. Esse resultado não representa ausência de risco, mas evidencia uma lacuna nos instrumentos de gestão de risco disponíveis para a citricultura sergipana. Consequentemente, a atividade permanece praticamente invisível nas estatísticas de sinistros, não por estar menos exposta aos eventos climáticos, mas pela reduzida cobertura securitária.

10.2. SINISTRALIDADE CLIMÁTICA E CONCENTRAÇÃO GEOGRÁFICA

Do total de 1.923 apólices analisadas, 239 resultaram em indenizações, o que corresponde a uma taxa de sinistralidade de 12,4%. As indenizações somaram R$ 28.882.636,77 e decorreram, em sua totalidade, de eventos climáticos.

A contratação das apólices apresentou expressiva concentração territorial. Entre os 61 municípios sergipanos atendidos pelo programa, destacam-se Frei Paulo, com 326 apólices, equivalentes a 17,0% do total; Carira, com 316 apólices, ou 16,4%; Nossa Senhora Aparecida, com 163 apólices, correspondentes a 8,5%; Simão Dias, com 93 apólices, ou 4,8%; e Feira Nova, com 82 apólices, equivalentes a 4,3%.

Os resultados apresentam importante convergência com a análise desenvolvida na Seção 9.2. Frei Paulo e Carira, que juntos concentram 33,4% das apólices analisadas e se destacam nos registros de sinistros climáticos, são também os municípios identificados, na análise do Índice de Aridez apresentada na Seção 9.2.2, como áreas em transição climática crítica em direção ao limiar semiárido.

A correspondência entre um indicador climático de longo prazo, representado pelo Índice de Aridez, e um indicador de dano econômico efetivamente observado,

representado pelas indenizações do PSR, reforça a consistência da priorização territorial do Agreste Central para a adoção de medidas de adaptação e gestão do risco climático.

10.3. TENDÊNCIA TEMPORAL – SINAL DE ALERTA

Entre 2022 e 2024, houve queda de 47,7% no número de apólices e de 70,8% na área segurada — uma retração de cobertura que ocorre justamente no período em que a Seção 9.4 identifica intensificação de secas severas no Agreste (+75% de frequência entre 1985-2004 e 2005-2023). Isto é, a exposição climática sobe enquanto o instrumento de proteção financeira contra ela recua, configurando um risco de desproteção crescente da agricultura familiar.

11. SEGURANÇA HÍDRICA: RIO SÃO FRANCISCO X DEMANDA HÍDRICA SERGIPANA

11.1. DIAGNÓSTICO OFICIAL DE REFERÊNCIA (PERH-SE, 2011)

O Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe (PERH-SE, ANA/SEMARH, 2011) é a fonte oficial de balanço hídrico por bacia no Estado. Sua metodologia calcula a disponibilidade superficial pela vazão com garantia de 90% de ocorrência (Q90), descontada a vazão ecológica de 1.300 m³/s no Rio São Francisco, valor pactuado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF) e recomendado pelo IBAMA.

11.1.1. RESULTADO DO BALANÇO (CENÁRIO TENDENCIAL, 2010)

O superávit nominal do São Francisco é enorme, mas isoladamente enganoso como indicador de segurança hídrica para Sergipe, por razões estruturais identificadas no próprio PERH-SE:

- Sem o Rio São Francisco, a folga estadual é mínima: o superávit somado das demais sete bacias era de apenas 1.650 L/s em 2010, com a Bacia do Rio Japaratuba já deficitária e 10 das 27 Unidades de Planejamento classificadas como "críticas" (saldo positivo de apenas 5 a 95 L/s — qualquer crescimento moderado de demanda as torna deficitárias).
- Dependência estrutural do abastecimento humano: o Rio São Francisco "supre mais da metade da demanda humana de Sergipe" (PERH-SE, 2011) via adutoras da DESO, e concentra 53% de toda a demanda hídrica

estadual (269.137.303 m³/ano de 505.296.996 m³/ano totais), majoritariamente para irrigação.

- Governança fora do controle estadual: a vazão do São Francisco é operada pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a ANEEL, em função do despacho de energia elétrica — não da segurança hídrica de Sergipe. O Estado é usuário a jusante de um rio de domínio da União, sujeito à outorga e cobrança pelo uso desde 2010 (Lei 9.433/97), com recursos geridos pela AGB Peixe Vivo/CBHSF.

Some-se a isso um problema de eficiência independente da disponibilidade bruta: as perdas nos sistemas de adução e distribuição da DESO variavam de 13% a 73%, média de 52% dos volumes produzidos (DESO, 2010) — ou seja, mais da metade da água captada nunca chega ao usuário final.

Esses pontos levantam uma questão central, que o PERH-SE (baseado em Q90 estático) não responde sozinho: o volume atualmente disponível no rio tem, de fato, capacidade de atender à demanda de Sergipe, considerando a operação real dos reservatórios da bacia? A resposta está no diagnóstico oficial de nível de bacia, apresentado a seguir.

11.2. AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE – MODELO OFICIAL DA BACIA (CBHSF/ANA, PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SÃO FRANCISCO 2016)

O Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF/ANA, Volume RP4 — "Compatibilização do Balanço Hídrico com os Cenários Estudados", fev. 2016) é a fonte tecnicamente mais adequada para responder à pergunta de capacidade, porque, diferentemente de um cálculo estático de Q90, simula a operação real dos reservatórios da bacia (Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso, Xingó) por meio do modelo hidráulico ACQUANET, com regras de prioridade de uso (abastecimento urbano/rural > industrial > agropecuário > energia) e testa se a demanda é efetivamente atendida mês a mês, para a situação atual e para cenários de crescimento de demanda em 2025 e 2035 (níveis A, B e C, do mais conservador ao mais expansivo).

O próprio relatório alerta que um indicador estático (razão demanda/Q90 ou Q95), como o do balanço isolado por sub-bacia, superestima o risco por não considerar a regularização dos reservatórios: "não têm em consideração a utilização de água para

produção de energia elétrica nem o papel dos reservatórios como infraestruturas de regularização dos recursos hídricos superficiais" (RP4, 2016).

É por isso que a mesma fonte mostra a sub-bacia "Baixo São Francisco em Sergipe" com uma razão demanda/Q95 local de 618% a 1.156% (aparentemente crítica) — mas esse número se refere apenas à vazão gerada dentro do pequeno território sergipano, sem contar a água que chega regularizada pela calha principal do rio, de onde a DESO efetivamente capta.

11.2.1. RESULTADO DO MODELO ACQUANET (GARANTIA DE ATENDIMENTO, % DO TEMPO EM QUE A DEMANDA É INTEGRALMENTE SATISFEITA)

A modelagem oficial mais abrangente disponível para a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, que considera tanto a operação dos reservatórios quanto a competição entre os diferentes usos da água, indica que o trecho sergipano do rio e sua calha principal apresentam garantia de 100% de atendimento às demandas atuais e àquelas projetadas até 2035. Essa condição se mantém para os três grupos de uso relevantes para Sergipe: abastecimento urbano e rural, uso industrial e uso agropecuário.

Dessa forma, no horizonte de planejamento avaliado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), não foram identificadas evidências de déficit na capacidade volumétrica do sistema para atender às demandas hídricas de Sergipe.

As únicas restrições apontadas na calha principal, em qualquer dos cenários analisados, não estão relacionadas ao abastecimento sergipano. A primeira refere-se ao não atendimento integral dos objetivos de geração de energia elétrica no reservatório de Três Marias. A segunda corresponde a uma limitação específica projetada para 2035 nos reservatórios de Itaparica, Moxotó e Paulo Afonso, associada à expansão do perímetro irrigado do Sertão pernambucano. Em ambos os casos, as restrições são alheias ao atendimento das demandas de abastecimento de Sergipe.

A manutenção da garantia de 100% mesmo em períodos secos decorre não apenas da disponibilidade volumétrica da bacia, mas também da política de prioridades adotada na operação do sistema. O relatório-síntese do mesmo Plano, denominado RF2 — Diagnóstico e Cenários (CBHSF/ANA, setembro de 2016), detalha a política operacional simulada no modelo ACQUANET.

Nessa modelagem, a bacia é classificada em três estados hidrológicos, definidos de acordo com os volumes armazenados nos reservatórios de Três Marias e Sobradinho: estado seco, quando o armazenamento é inferior a 30% do volume máximo; estado normal, quando varia entre 30% e 70%; e estado úmido, quando supera 70%.

A alocação da água segue uma hierarquia explícita de prioridades. O abastecimento urbano e rural, incluindo as transposições operadas pela Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), ocupa o nível máximo de prioridade, seguido pelos usos industrial e agropecuário. A geração de energia elétrica ocupa a última posição.

Assim, em situações de escassez, a política operacional estabelece que a geração de energia seja o primeiro uso a sofrer restrições, enquanto o abastecimento das populações urbanas e rurais deve ser preservado até o limite operacional do sistema. Conforme registrado no RF2 (2016), “a produção de energia é o primeiro tipo de demanda a ser sacrificado e o abastecimento à população urbana e rural o último”.

Portanto, a garantia de atendimento de 100% nos cenários avaliados, inclusive em condições hidrológicas secas, é sustentada tanto pela capacidade do sistema quanto pela regra formal de priorização dos usos. Essa condição também permite qualificar o risco de governança discutido anteriormente: embora a operação da bacia esteja sujeita ao despacho energético do Sistema Interligado Nacional (SIN), ela ocorre no âmbito de uma política que subordina formalmente a geração de energia ao abastecimento humano.

11.3. CONTEXTUALIZAÇÃO COM A SÉRIE HISTÓRICA OBSERVADA (ANA, ESTAÇÃO PROPRIÁ, 1959-2025)

A pergunta natural diante do resultado acima é se a redução de vazão já observada, que pode refletir tanto menor precipitação quanto maior consumo a montante (irrigação, abastecimento urbano nos demais estados da bacia), compromete essa garantia. Para isso, analisou-se a série de vazão mensal da estação fluviométrica de Propriá (código ANA 49705000, Baixo São Francisco, dados desde 1959), que integra o efeito líquido de clima e consumo a montante sobre a vazão que efetivamente chega a Sergipe.

Tratamento metodológico: a comparação simples de médias por período foi submetida a um teste de detecção de valores extremos por mês-calendário (z-score robusto por MAD, evitando confundir sazonalidade com anomalia). O teste identificou 25 registros mensais estatisticamente extremos, todos concentrados entre 1979 e 1985.

A verificação de consistência interna (Mínima ≤ Média ≤ Máxima, 100% consistente) e o padrão plurianual contínuo (não pontual) indicam que não se trata de erro

de medição, mas de um período genuinamente mais úmido e menos regulado da bacia, anterior à maturação operacional dos reservatórios de Sobradinho/Itaparica/Xingó. Por essa razão, os valores não foram descartados como erro; foram tratados como uma característica do período de referência, testando a sensibilidade da conclusão a essa escolha.

11.3.1. RESULTADO SOB DIFERENTES TRATAMENTOS DOS DADOS

Independentemente do tratamento estatístico, a vazão média em Propriá caiu entre 47% e 58% na comparação 2015-2024 vs. 1979-1999 (mínimo histórico de 608 m³/s em 2018). Este declínio é real, mas não invalida a conclusão de capacidade da Seção 11.2. por duas razões: (i) a vazão observada em Propriá já é o resultado líquido pós-regulação e pós-consumo a montante — ou seja, o efeito de eventuais pressões de consumo a montante já está embutido no número observado, e mesmo assim permanece muito acima da demanda outorgada em Sergipe (Seção 11.4); (ii) o próprio modelo ACQUANET do CBHSF (2016), cuja situação "Atual" já reflete um período recente e inclui anos de forte estiagem na bacia, encontrou 100% de garantia, ou seja, a modelagem oficial mais recente já testou a bacia sob condições hidrológicas depreciadas em relação ao período úmido de referência histórica, e mesmo assim confirmou capacidade plena.

O valor prático desta análise não é uma bandeira vermelha de desabastecimento, mas um indicador de monitoramento: se a tendência de queda continuar após 2016 (ano-base do RP4), recomenda-se que a próxima revisão do Plano de Recursos Hídricos do São Francisco (agenda quinquenal do CBHSF) reavalie a garantia com dados mais recentes.

11.4. DEMANDA ATUAL – OUTORGAS SEMAC/SE

Análise das outorgas de uso da água emitidas pela SEMAC-SE confirma, com dado primário, a magnitude da demanda hoje ativa na bacia do São Francisco em território sergipano: 126 outorgas válidas, totalizando 9,96 milhões de m³/ano (equivalente a ~316 m³/s de captação contínua):

Municípios com maior volume outorgado: Pacatuba (4,02 milhões m³/ano), Pirambu (1,76 milhão), Japaratuba (1,75 milhão), Neópolis (0,88 milhão), Santana do São Francisco (0,60 milhão).

A demanda outorgada (~316 m³/s equivalente) é pequena frente a qualquer uma das referências de disponibilidade discutidas: a Q90 do PERH-SE (634 m³/s, já líquida da

vazão ecológica), a vazão média observada recente em Propriá (~1.100 m³/s em 2015-2024) e, mais importante, a garantia de 100% confirmada pelo modelo ACQUANET do CBHSF (Seção 11.2). Isso reforça que a demanda sergipana, isoladamente, está longe de esgotar a capacidade do sistema: o risco não está no volume, mas na forma como ele é gerido e entregue.

11.5. SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES

A análise permite responder de forma afirmativa à questão central desta seção: o volume atualmente disponível no Rio São Francisco possui capacidade confirmada para atender às demandas hídricas de Sergipe. Essa conclusão não decorre apenas da análise das vazões médias do rio, mas da modelagem oficial de alocação hídrica da bacia, desenvolvida pelo CBHSF e pela ANA em 2016. O modelo simula, mês a mês, a operação dos reservatórios e o atendimento às diferentes demandas, indicando garantia de 100% para os usos urbano, rural, industrial e agropecuário, tanto na situação atual quanto nos cenários de crescimento da demanda projetados até 2035.

Dessa forma, o principal risco para Sergipe não está relacionado à disponibilidade volumétrica do Rio São Francisco, mas a fatores estruturais e institucionais que não são integralmente representados pela garantia de atendimento estimada no modelo da bacia. Esses fatores concentram-se em três aspectos principais: a governança externa ao Estado, as perdas nos sistemas de adução e distribuição e o monitoramento das tendências hidrológicas após 2016. Os subtópicos a seguir detalham os aspectos supracitados.

11.5.1. GOVERNANÇA EXTERNA AO ESTADO

As decisões relacionadas à operação dos reservatórios inseridos no Sistema Interligado Nacional respondem, em primeira instância, às necessidades do despacho energético nacional, sob a atuação da ANEEL e da CHESF. Entretanto, esse risco é parcialmente mitigado pela política de operação considerada no modelo ACQUANET/CBHSF, que estabelece uma hierarquia formal entre os usos da água.

Nessa hierarquia, o abastecimento urbano e rural possui prioridade máxima, enquanto a geração de energia é o primeiro uso a sofrer restrições em situações de escassez. Conforme detalhado na Seção 11.2.1, o abastecimento da população é o último uso a ser restringido.

Assim, a garantia de atendimento de 100% depende da continuidade dessa regra formal de prioridade. Trata-se, portanto, de uma premissa institucional que deve ser permanentemente acompanhada - e não de uma limitação hidrológica atualmente identificada.

11.5.2. PERDAS NOS SISTEMAS DE ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

Outro fator crítico corresponde às perdas de aproximadamente 52% nos sistemas de adução e distribuição. Mesmo com a disponibilidade hídrica e a captação asseguradas, a ineficiência da infraestrutura operada pela DESO faz com que mais da metade da água captada seja perdida antes de chegar ao consumidor final. Esse resultado demonstra que o principal gargalo do abastecimento está localizado na infraestrutura interna de Sergipe, especialmente nas redes de adução e distribuição, e não na disponibilidade de água do Rio São Francisco.

11.5.3. MONITORAMENTO DAS TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS APÓS 2016

O modelo ACQUANET foi elaborado com base em séries de dados que se estendem aproximadamente até 2015. A redução de vazão entre 47% e 58%, identificada na série histórica da ANA e discutida na Seção 11.3, já está parcialmente incorporada ao período utilizado como referência pelo modelo.Entretanto, a continuidade dessa tendência após 2016 deverá ser acompanhada nas próximas atualizações do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Esse monitoramento será necessário para verificar se a garantia de atendimento de 100% permanece válida diante da incorporação dos dados hidrológicos mais recentes.

11.5.4. RECOMENDAÇÕES PARA O PEAC-SE

Diante dos resultados, recomenda-se que o PEAC-SE priorize a redução das perdas nos sistemas de adução e distribuição da DESO, por se tratar da medida de adaptação com maior potencial de custo-efetividade. A principal restrição atualmente identificada encontra-se na eficiência da rede, e não na disponibilidade hídrica do Rio São Francisco.

Recomenda-se também acompanhar, junto ao CBHSF, a atualização do RP4 e da modelagem desenvolvida no ACQUANET, prevista para o próximo ciclo de revisão do Plano de Recursos Hídricos da bacia. Tal atualização deverá ser analisada para verificar se a garantia de atendimento de 100% se mantém após a inclusão dos dados posteriores a 2016.

Por fim, torna-se necessário fortalecer a participação de Sergipe nas instâncias de governança do CBHSF. Os resultados indicam que as decisões de alocação da água e a manutenção das regras de prioridade entre os diferentes usos constituem os principais fatores de risco no longo prazo, e não a disponibilidade física atual do recurso hídrico.

12. PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA ANÁLISE

12.1. ROBUSTEZ METODOLÓGICA E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

O mapeamento integrado de risco climático em alta resolução para Sergipe (1985-2023) confirma a premissa de que o risco é um fenômeno espacialmente heterogêneo, exigindo estratégias de adaptação regionalmente específicas. A metodologia adotada, baseada no framework do IPCC (2022) e na desagregação espacial para o nível de Setor Censitário, permitiu a identificação de hotspots de risco com precisão inédita para o Estado.

A robustez científica dos mapas de perigo é um ponto forte do estudo. A validação estatística rigorosa, como a rejeição da Krigagem em favor do IDW para o SPEI-12 (Tabela 2, R^2 = 0,418 vs. -0,573) e o uso do Cohen's *d* para quantificar a magnitude das ondas de calor (Equação 6, $d = 2,25 \pm 0,31$), confere confiabilidade aos resultados.

A escolha do SPEI-12, em vez de índices baseados apenas em precipitação, é fundamental para os territórios do semiárido, pois incorpora a demanda atmosférica por água (ETo), refletindo de forma mais precisa o déficit hídrico que afeta a agricultura e os recursos hídricos.

Concordância com estudos regionais:

Os resultados deste mapeamento convergem com análises prévias sobre a vulnerabilidade climática do Nordeste brasileiro. A frequência de seca severa identificada no Sertão sergipano (15-20%, SPEI-12 ≤ -1,5) está em concordância com as análises de Monitor de Secas da ANA (2025) para o semiárido, que identificou eventos críticos em 2012-2013 e 2016-2017 — os mesmos períodos detectados neste estudo (Figura 5). Esta sincronização temporal valida a capacidade do SPEI-12 de capturar a variabilidade hidrológica regional e reforça a confiabilidade dos limiares adotados.

12.2. ILHAS DE CALOR URBANAS E JUSTIÇA CLIMÁTICA

A identificação do efeito de ilha de calor urbana como um perigo significativo nas áreas metropolitanas (Aracaju, Nossa Senhora do Socorro) demonstra que a adaptação não se restringe aos fenômenos naturais, mas deve incluir o manejo do ambiente construído. Os 31,65 km² classificados como Classe 5 (Muito Alto, 12-16 eventos detectados) concentram-se em áreas urbanas densas com alta impermeabilização (>90%) e baixa cobertura vegetal (<10%), padrão típico de ICUs documentado na literatura internacional (Oke et al., 2017).

A correlação entre o perigo de onda de calor e a vulnerabilidade social nas periferias urbanas sugere uma injustiça climática, onde as populações mais vulneráveis (IVS > 0,5) são as mais expostas aos extremos térmicos devido à falta de arborização, materiais de construção de baixa qualidade (telhados de zinco, ausência de isolamento térmico) e menor acesso a sistemas de refrigeração. Este padrão de vulnerabilidade diferencial reforça a necessidade de políticas de adaptação que priorizem infraestrutura verde (arborização urbana, telhados verdes) em bairros de alta vulnerabilidade social.

12.3. VULNERABILIDADE SOCIAL EM ALTA RESOLUÇÃO: INOVAÇÃO METODOLÓGICA

A utilização do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) em alta resolução (Setor Censitário, média de 0,5 km² em áreas urbanas) é um avanço metodológico significativo em relação a estudos anteriores que utilizam escala municipal. Ao invés de se limitar à escala municipal, esta abordagem permite que o planejamento de ações de Defesa Civil e social seja direcionado a bairros e comunidades específicas, identificando microhotspots de vulnerabilidade invisíveis em análises agregadas.

Os resultados demonstram que a vulnerabilidade é um fator amplificador do risco tanto no contexto rural (seca + IVS alto = risco agrícola e alimentar), quanto no urbano (alagamento/calor + IVS alto = risco à vida e saúde), sublinhando a necessidade de políticas sociais que aumentem a capacidade adaptativa das comunidades. A decomposição do risco por fator dominante (Figura 14) revelou que 61,2% das áreas críticas são perigo-driven, indicando que intervenções estruturais (drenagem, arborização) têm potencial de redução de risco superior a programas sociais isolados.

12.4. IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS E GESTÃO DE RISCO

Os resultados deste mapeamento oferecem subsídios concretos para a formulação de políticas de adaptação territorialmente específicas. A identificação de 26,57 km² de áreas de Risco Muito Alto (Classe 5) — equivalentes a 0,12% do território estadual, mas concentrando 42,3% da população em situação de vulnerabilidade crítica — permite a priorização orçamentária e a focalização de investimentos em infraestrutura resiliente.

12.4.1. RECOMENDAÇÕES POR TIPO DE PERIGO

- **Seca (Sertão):** Expansão de programas de convivência com o semiárido (cisternas, barragens subterrâneas), assistência técnica para agricultura de sequeiro adaptada (cultivares resistentes aos estresses hídricos, plantio direto), e fortalecimento de redes de segurança social (garantia-safra, seguro-desemprego rural);
- **Alagamento Pluvial (Áreas Urbanas):** Investimento prioritário em macrodrenagem urbana nos bairros de Classe 5 identificados (Santos Dumont, Siqueira Campos, Rosa Elze), implementação de soluções baseadas na natureza (parques lineares, pavimentos permeáveis), e revisão de códigos de obras para exigir sistemas de retenção em loteamentos novos.
- **Ondas de Calor (ICUs):** Planos municipais de arborização urbana com metas quantitativas (>30% de cobertura arbórea em bairros críticos), incentivos fiscais para telhados verdes/brancos, e criação de abrigos climatizados públicos para populações vulneráveis durante eventos extremos.
- **Erosão Costeira:** Restrição de ocupação nos 0,1% de costa classificada como Vulnerabilidade Muito Alta (hotspots em Atalaia Nova, Praia do Saco), monitoramento contínuo da linha de costa com drones/satélites, e implementação de estruturas de proteção suave (renaturalização de dunas, recifes artificiais).

12.5. LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A principal limitação deste estudo reside na natureza estática do mapeamento de perigo, baseado em frequências históricas. Embora o período de 1985-2023 seja representativo da variabilidade climática recente, uma avaliação de risco prospectiva exigiria a integração de projeções climáticas futuras (e.g., cenários SSP2-4.5 ou SSP5-8.5 do IPCC AR6).

Uma limitação específica do mapeamento de ondas de calor decorre da indisponibilidade de imagens Landsat durante 36% dos eventos extremos identificados (9

de 25 eventos), resultando em subamostragem forçada que subestima sistematicamente a frequência real. Esta limitação operacional, causada por nebulosidade persistente e lacunas temporais do satélite, implica que as áreas classificadas como baixo perigo (Classes 1-2) podem apresentar risco real superior.

Recomenda-se validação cruzada com dados de estações meteorológicas terrestres e uso de produtos de temperatura do ar por reanálise (e.g., ERA5, WorldClim) para áreas com Classe 0 (Sem Observação, 31,59% do território). Estudos futuros podem explorar fusão de dados Landsat com MODIS (maior frequência temporal) ou Sentinel-2 (melhor resolução espacial) para reduzir lacunas de observação.

Outra limitação reside na simplificação da Síntese do Risco por média simples (Equação 14), que assume igual peso entre os perigos. Embora justificada pela ausência de pesos teóricos a priori, estudos futuros podem explorar métodos de ponderação multicriterial (e.g., Processo Analítico Hierárquico - AHP) para refinar a integração do risco, incorporando a percepção de especialistas e stakeholders locais sobre a relevância de cada perigo.

Apesar das limitações, este mapeamento fornece a base mais detalhada e cientificamente validada para a gestão de riscos climáticos em Sergipe, sendo um instrumento essencial para a formulação de Planos de Adaptação e a priorização de investimentos em infraestrutura resiliente e programas sociais.

13. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento integrado de risco climático em Sergipe (1985-2023) estabelece uma linha de base robusta para a compreensão e gestão da complexa interação entre perigos climáticos e vulnerabilidade social no Estado.

A aplicação do framework IPCC em alta resolução espacial revelou que o risco é um fenômeno bimodal, concentrado no Sertão (dominado pela seca) e nas áreas urbanas e costeiras (dominadas por alagamento, calor e erosão).

O estudo confirma a necessidade urgente de políticas de adaptação regionalmente diferenciadas. No Sertão, as intervenções devem focar na segurança hídrica e alimentar, com a implementação de tecnologias sociais de convivência com o semiárido. No ambiente urbano, a prioridade é a infraestrutura de drenagem, a mitigação do efeito de ilha de calor e o investimento em saneamento básico nas periferias de alta vulnerabilidade social.

A utilização do Setor Censitário como unidade de análise permite que os gestores públicos e a Defesa Civil possam alocar recursos e planejar ações de forma precisa e equitativa, maximizando a eficácia das medidas de redução de risco e desastre. Recomenda-se que os resultados deste mapeamento sejam integrados aos planos diretores municipais e utilizados como ferramenta primária para a priorização de investimentos em resiliência climática em Sergipe.

14. REFERÊNCIAS

- ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. *Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. Landscape and Urban Planning,* v. 138, p. 99-109, 2015.
- ADGER, W. N.. *Vulnerability. Global Environmental Change*, v. 16, n. 3, p. 268–281, 2006.
- ALLEN, R. G. et al. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome: FAO, 1998.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., & SMITH, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56.*
- BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S.; MARQUES, J. S. *Urban heat island intensity in Brazilian cities: A comprehensive analysis of contributing factors. Atmosphere,* v. 10, n. 12, p. 769, 2019.
- BEZERRA, P. E. S.; ARAÚJO, A. M.; SILVA, V. P. R. *Urban heat island in João Pessoa, Brazil: Spatial and temporal patterns. International Journal of Climatology,* v. 39, n. 9, p. 3820-3834, 2019.
- BITENCOURT, D. P. et al. *Trends in the frequency of intense heat waves in Southern Brazil. International Journal of Climatology*, v. 36, n. 13, p. 4431-4442, 2016.
- CAI, W. et al. ENSO *and greenhouse warming. Nature Climate Change*, v. 5, n. 9, p. 849-859, 2015.
- CASTLETON, H. F. et al. *Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. Energy and Buildings,* v. 42, n. 10, p. 1582-1591, 2010.
- CHEN, J. et al. *Enhanced normalized difference index for impervious surface area estimation at the plateau basin scale. Journal of Applied Remote Sensing*, v. 7, n. 1, p. 073609, 2013.

- COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2. ed. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates*, 1988.
- CUNHA, A. P. et al. *Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. Atmospheric Science Letters*, v. 19, n. 10, p. e855, 2019.
- CUTTER, S. L., BORUFF, B. J., & SHIRLEY, W. L. (2003). *Social vulnerability to environmental hazards. Social Science Quarterly,* 84(2), 242-261.
- CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L.. *Social vulnerability to environmental hazards. Social Science Quarterly*, v. 84, n. 2, p. 242–261, 2003.
- EGBERT, G. D., & EROFEEVA, S. Y. (2002). *Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(2), 183-204.
- FONSECA, M. G. et al. *Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. Global Change Biology,* v. 25, n. 9, p. 2931-2946, 2021.
- FONTES, M. P.; ALVES, R. C. Expansão urbana e transformações ambientais em Aracaju -SE (2000-2015). Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, n. 4, p. 1102-1118, 2015.
- FREITAS, C. M. D., BARCELLOS, C., & SILVA, M. A. D. (2021). Vulnerabilidade social e ambiental e riscos à saúde: uma análise de indicadores. Cadernos de Saúde Pública, 37(1), e00051720.
- GEIRINHAS, J. L. et al. *Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. International Journal of Climatology*, v. 38, n. 4, p. 1760-1776, 2018.
- GONÇALVES, A. et al. *The association between air pollution and blood pressure in traffic policemen in Santo André, São Paulo, Brazil. Environmental Research,* v. 193, p. 110615, 2021.
- GONÇALVES, F. L. T.; NASCIMENTO, L. F. C.; MEDEIROS, A. P. P. *Mortality and morbidity associated with heat waves in Brazilian state capitals. Environmental Health*, v. 21, n. 1, p. 1-12, 2022.
- GORNITZ, V. (1991). *Global coastal hazards from future sea level rise. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 84(1-4), 125-135.
- GRIMM, A. M. The El *Niño impact on the summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. Journal of Climate*, v. 16, n. 2, p. 263-280, 2003.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- IBGE. (2023). Censo Demográfico 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2022: *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.*
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- JENKS, G. F. *The data model concept in statistical mapping. International Yearbook of Cartography,* v. 7, p. 186-190, 1967.
- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. *Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and the El Niño–Southern Oscillation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 111, n. D13, 2006.
- KOUSKY, V. E. *Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. Monthly Weather Review,* v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980.
- LI, J., & HEAP, A. D. (2014). *A review and assessment of methods for spatial interpolation of temperature. International Journal of Geographical Information Science,* 28(11), 2163-2185.
- LIMA, R. C.; SANTOS, M. J. Dinâmica de manguezais em Aracaju (SE): análise temporal (2000-2020) e implicações ambientais. Boletim de Geografia, v. 36, n. 2, p. 89-105, 2018.
- LUCENA, A. J.; FILHO, M. F.; SERVAIN, J. Relação entre a temperatura da superfície do mar e a ilha de calor urbana na região metropolitana de Fortaleza. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 6, n. 4, p. 965-980, 2013.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. *Drought in Northeast Brazil: Past, present, and future. Theoretical and Applied Climatology, v*. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2020.
- MARTINS, F. B. et al. Efeito do microclima em áreas urbanas arborizadas e não arborizadas. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 2, p. 415-423, 2016.
- MARTINS, L. D. et al. *Long-term analysis of atmospheric pollutants in the megacity of São Paulo, Part 1: Concentrations and trends of SO2, NOx, and CO. Atmospheric Environment*, v. 240, p. 117830, 2020.
- MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. Vegetação urbana. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2015.
- MCGREGOR, G. R. et al. (Ed.). *Heatwaves and health: Guidance on warning-system development. Geneva: World Health Organization*, 2015.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

- NASCIMENTO, D. T. F. et al. *Temporal trends and spatial distribution of dengue and chikungunya in the state of Bahia, Brazil*, 2008-2018. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, v. 55, p. e0286, 2022.
- NASCIMENTO, L. F. C. et al. *Air pollutants and hospital admissions due to cardiovascular diseases in São José dos Campos, Brazil*. Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 21, p. e180004, 2018.
- NASCIMENTO, R. L.; OLIVEIRA, J. B.; SILVA, J. M. Análise da ilha de calor urbana em Maceió/AL utilizando imagens do satélite Landsat 8. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 5, p. 1488-1500, 2017.
- NG, E. et al. *Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. Landscape and Urban Planning, v*. 101, n. 1, p. 59-74, 2011.
- NIACHOU, A. et al. *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings*, v. 33, n. 7, p. 719-729, 2001.
- O'BRIEN, K; ERIKSEN, S.; SCHJOLDEN, A.; NYGAARD, L. P. *Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. Climate Policy*, v. 7, n. 1, p. 73–88, 2007.
- OLIVEIRA, M. B. L. et al. *Spatial analysis of urban heat islands: A study in Brazilian Northeast cities. Atmosphere*, v. 8, n. 3, p. 51, 2017.
- OLIVEIRA, P. T.; SILVA, C. M. S. Análise climática e formação de inversão térmica em vales do Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 4, p. 584-594, 2016.
- OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Heat and health. Geneva*: WHO, 2018.
- PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2014.
- PERKINS, S. E., & ALEXANDER, L. V. (2013). *On the measurement of heat waves. Journal of Climate,* 26(13), 4500-4517.
- PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V. *On the measurement of heat waves. Journal of Climate,* v. 26, n. 13, p. 4500-4517, 2013.
- RAMALHO FILHO, A., & BEEK, K. J. (1995). Sistema de classificação de terras para irrigação. EMBRAPA-SPI.
- REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

- RIBEIRO, A. G.; SOUZA, C. M.; NARDOCCI, A. C. *Impact of climate change on health in Brazilian cities.* Revista de Saúde Pública, v. 53, p. 4, 2019.
- RUSSO, S. et al. *Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 119, n. 22, p. 12500-12512, 2014.
- SANTAMOURIS, M. et al. *On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. Energy and Buildings, v*. 98, p. 119-124, 2017.
- SANTOS, F. M. M.; OLIVEIRA, J. V.; SILVA, B. B. Análise da verticalização e seu impacto na circulação atmosférica de cidades costeiras do Nordeste brasileiro. Revista de Geografia, v. 33, n. 2, p. 45-61, 2016.
- SANTOS, J. C.; SILVA, R. M. Ilha de calor urbana em Salvador: análise multitemporal e fatores condicionantes. Revista Brasileira de Climatologia, v. 23, p. 156-174, 2018.
- SHEPARD, D. (1968). *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference*, 517-524.
- SHEPARD, D. *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference, p. 517-524, 1968.*
- *SILVA, C. A. et al. Urban heat islands in medium-sized cities of Northeast Brazil. Climate,* v. 8, n. 1, p. 14, 2020.
- SILVA, F. B.; NASCIMENTO, D. C. Tendências de ondas de calor no Nordeste brasileiro (1981-2020): análise climática e projeções. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 3, p. 445-458, 2021.
- TALEGHANI, M. et al. *Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA. Building and Environment*, v. 73, p. 138-150, 2014.
- THIELER, E. R., & HAMMAR-KLOSE, E. S. (1999). *National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the US Atlantic* Coast. USGS Open-File Report 99-593.
- TUCCI, C. E. M. (2007). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4ª ed. Editora UFRGS.
- VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., & LÓPEZ-MORENO, J. I. (2010). *A multiscalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index—SPEI. Journal of Climate,* 23(7), 1696-1718.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. *A multiscalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index. Journal of Climate*, v. 23, n. 7, p. 1696-1718, 2010.

- WARD, P. J., MARFAI, M. A., YULIANTO, E., & VAN DER VEEN, A. (2013). *Coastal inundation and flood risk assessment for Jakarta. Natural Hazards*, 66(1), 329-349.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. *Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). International Journal of Climatology*, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.
- ZHAO, Q. et al. Global, *regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. The Lancet Planetary Health,* v. 5, n. 7, p. e415-e425, 2021.
- ZHOU, D. et al. *Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. Remote Sensing*, v. 11, n. 1, p. 48, 2017.

15. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS EM SERGIPE E COMPLETUDE TEMPORAL DOS DADOS. 9
FIGURA 2: BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PELO MÉTODO DE TORNTHWAIT E MATHER (1955). 11
FIGURA 3: DIAGNÓSTICO DE INADEQUAÇÃO DA KRIGAGEM ORDINÁRIA PARA INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE SECA. 13
FIGURA 4: VALIDAÇÃO ESTATÍSTICA DO *THRESHOLD* P95 PARA DETECÇÃO DE ONDAS DE CALOR. 15
FIGURA 5: COMPARAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS SPEI-12 ENTRE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE SERGIPE (1985-2023). 36
FIGURA 6: INTERPRETAÇÃO DE VALORES SPEI-12 (ESPACIALIZAÇÃO DO PERIGO). 37
FIGURA 7: FREQUÊNCIA DE EVENTOS DE SECA POR INTENSIDADE (ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA). 38
FIGURA 8: *HEATMAP* DE EVOLUÇÃO TEMPORAL POR ESTAÇÃO (ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL INTEGRADA). 39
FIGURA 9: SÉRIES TEMPORAIS SPEI-12 POR ESTAÇÃO METEOROLÓGICA (DIAGNÓSTICO INDIVIDUAL). 40
FIGURA 10: MAPA DE PERIGO DE ONDAS DE CALOR EM SERGIPE, BASEADO NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE (LST > P95 = 34,64°C) NO PERÍODO 2013-2023, RECLASSIFICADO EM SISTEMA DE 6 CLASSES ORDINAIS (0-5). 41
FIGURA 11: MAPA DE VULNERABILIDADE COSTEIRA À EROSÃO MARINHA EM SERGIPE, BASEADO NO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA (CVI) DE GORNITZ (1991). 47
FIGURA 12: MAPA DE PERIGO DE INUNDAÇÃO FLUVIAL EM SERGIPE, BASEADO NA FREQUÊNCIA HISTÓRICA DE COBERTURA POR ÁGUA SUPERFICIAL (1985-2023) DERIVADA DO PRODUTO WATER FREQUENCY DO MAPBIOMAS - COLEÇÃO 30. 51
FIGURA 13: MAPA DE PERIGO DE ALAGAMENTO PLUVIAL URBANO EM SERGIPE. 53
FIGURA 14: MAPA DE VULNERABILIDADE SOCIAL EM SERGIPE, BASEADO NO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS) CALCULADO PARA 5.346 SETORES CENSITÁRIOS (CENSO IBGE 2022). 57
FIGURA 15: MAPA DE EXPOSIÇÃO POPULACIONAL EM SERGIPE REPRESENTANDO DENSIDADE DEMOGRÁFICA POR SETOR CENSITÁRIO (HABITANTES/KM²). 58
FIGURA 16: MAPA DE RISCO SOCIOECONÔMICO INTEGRADO EM SERGIPE. 65
FIGURA 17: SÉRIE TEMPORAL DA FREQUÊNCIA ANUAL DE EVENTOS DE ONDAS DE CALOR POR ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EM SERGIPE (1985-2023). 69
FIGURA 18: HEATMAP DA FREQUÊNCIA DE EVENTOS DE ONDAS DE CALOR POR ESTAÇÃO METEOROLÓGICA E POR ANO EM SERGIPE (1985-2023). 69

FIGURA 19: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FREQUÊNCIA DE EVENTOS DE ONDAS DE CALOR EM SERGIPE (1985-2023).....72
FIGURA 20: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA MÉDIA DURANTE EVENTOS DE ONDAS DE CALOR EM SERGIPE (1985-2023).....73
FIGURA 21: CLASSIFICAÇÃO ESPACIAL DA INTENSIDADE DE EVENTOS DE ONDAS DE CALOR EM SERGIPE (1985-2023).....77
FIGURA 22: ANÁLISE INTEGRADA DE EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE AO CALOR, BASEADA EM TEMPERATURA MÉDIA. (A) EXPOSIÇÃO TÉRMICA NORMALIZADA; (B) VULNERABILIDADE COMPOSTA (DENSIDADE POPULACIONAL + IVS); (C) RISCO CONTÍNUO (PRODUTO E×V); (D) CLASSIFICAÇÃO DE RISCO EM 5 NÍVEIS. RESOLUÇÃO ESPACIAL: 30 M.....84
FIGURA 23: ANÁLISE INTEGRADA DE EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE AO CALOR, BASEADA EM INTENSIDADE DOS EVENTOS. (A) INTENSIDADE DOS EVENTOS (5 CLASSES); (B) VULNERABILIDADE COMPOSTA; (C) RISCO CONTÍNUO; (D) CLASSIFICAÇÃO DE RISCO EM 5 NÍVEIS. RESOLUÇÃO ESPACIAL: 30 M.....86
FIGURA 24: ANÁLISE INTEGRADA DE EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE AO CALOR, BASEADA EM FREQUÊNCIA DE EVENTOS. (A) FREQUÊNCIA DE EVENTOS NORMALIZADA; (B) VULNERABILIDADE COMPOSTA; (C) RISCO CONTÍNUO; (D) CLASSIFICAÇÃO DE RISCO EM 5 NÍVEIS. RESOLUÇÃO ESPACIAL: 30 M.....87
FIGURA 25: MAPA DE RISCO DE ARBOVIROSES EM SERGIPE (BASELINE 2015-2023 E PROJEÇÃO SSP2-4.5 2050).....96
FIGURA 26: TOP 10 MUNICÍPIOS CRÍTICOS PARA VIGILÂNCIA DE ARBOVIROSES (2015 A 2023).....97
FIGURA 27: HOTSPOTS DE EROSÃO COSTEIRA EM SERGIPE: LOCALIZAÇÃO E TAXAS HISTÓRICAS.....105
FIGURA 28: PROJEÇÕES DE EROSÃO PARA 2050 NOS HOTSPOTS CRÍTICOS 106
FIGURA 29: MAPA DE RISCO DE INUNDAÇÃO POR BAIRRO (GRANDE ARACAJU).....112
FIGURA 30: EVOLUÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE ARIDEZ (AI) EM SERGIPE 119
FIGURA 31: TRAJETÓRIA TEMPORAL DO ÍNDICE DE ARIDEZ PARA AS 4 ZONAS CLIMÁTICAS DE SERGIPE ..120

16. LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DE INTENSIDADE DE SECA SEGUNDO VALORES DE SPEI-12 E PERÍODO DE RETORNO. 12
TABELA 2: COMPARAÇÃO QUANTITATIVA DE MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PARA FREQUÊNCIA DE SECA SEVERA.....12
TABELA 3: RECLASSIFICAÇÃO DE ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDAS (VHM0) PARA VULNERABILIDADE COSTEIRA.....18
TABELA 4: RECLASSIFICAÇÃO DE TAXA DE EROSÃO COSTEIRA PARA VULNERABILIDADE COSTEIRA. 19
TABELA 5: RECLASSIFICAÇÃO DE ELEVAÇÃO TOPOGRÁFICA PARA VULNERABILIDADE COSTEIRA.....19
TABELA 6: RECLASSIFICAÇÃO DE AMPLITUDE DE MARÉ PARA VULNERABILIDADE COSTEIRA. 19
TABELA 7: RECLASSIFICAÇÃO DE DECLIVIDADE TOPOGRÁFICA PARA PERIGO DE ALAGAMENTO PLUVIAL. .20
TABELA 8: RECLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DO SOLO, SEGUNDO O GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO. 21
TABELA 9: RECLASSIFICAÇÃO DE ORDENS PEDOLÓGICAS, SEGUNDO A VULNERABILIDADE A ALAGAMENTO. 22
TABELA 10: VARIÁVEIS UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL (IVS)...34
TABELA 11: MATRIZ DE RISCO INTEGRADO (P X IVS) 35
TABELA 12: ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS EVENTOS DE ONDA DE CALOR IDENTIFICADOS EM SERGIPE (1985-2023). 66
TABELA 13: RANKING DOS CINCO ANOS COM MAIOR FREQUÊNCIA DE ONDAS DE CALOR EM SERGIPE (1985-2023).....68
TABELA 14: ESTATÍSTICAS ESPACIAIS DA TEMPERATURA MÉDIA DURANTE EVENTOS DE ONDAS DE CALOR EM SERGIPE.....74

TABELA 15: CLASSIFICAÇÃO DE RISCO TÉRMICO POR FAIXAS DE TEMPERATURA E POPULAÇÃO EXPOSTA. . 76
TABELA 16: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CLASSES DE INTENSIDADE DE EVENTOS DE CALOR E POPULAÇÃO EXPOSTA. 78
TABELA 17: ESTATÍSTICAS DE ONDAS DE CALOR POR REGIÃO TERRITORIAL DE SERGIPE (1985-2023). 80
TABELA 18: POPULAÇÃO EXPOSTA POR CLASSE DE RISCO AO CALOR (TEMPERATURA MÉDIA × VULNERABILIDADE SOCIAL). 85
TABELA 19: POPULAÇÃO EXPOSTA POR CLASSE DE RISCO AO CALOR (INTENSIDADE × VULNERABILIDADE SOCIAL). 86
TABELA 20: POPULAÇÃO EXPOSTA POR CLASSE DE RISCO AO CALOR (FREQUÊNCIA × VULNERABILIDADE SOCIAL). 88

17. LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: CLASSES DE INTENSIDADE DEFINIDAS. 29

PROJETO: ELABORAÇÃO DO PLANO ESTADUAL DE AÇÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DE SERGIPE – PEAC/SE.

Cliente: **SEMAC** - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo de Sergipe.

Relatório de Diagnóstico do Cenário Atual e Potencial Energético do Estado de Sergipe
(Produto 1.5)

São Paulo, novembro/2025

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 3

2. OBJETIVOS 3

2.1. GERAL 3
2.2. ESPECÍFICOS 3

3. PREMISSAS CONCEITUAIS 4

4. DIAGNÓSTICO DO CENÁRIO ENERGÉTICO ATUAL DE SERGIPE ... 5

4.1. A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA 5
4.1.1. MONITORAMENTO E POTENCIAL DE GANHOS 6
4.1.2. ANÁLISE SETORIAL E POLÍTICAS CHAVE 7
4.1.3. BENEFÍCIOS MACROECONÔMICOS E AMBIENTAIS 10
4.1.4. O CENÁRIO DE SERGIPE: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E TRANSIÇÃO 12
4.2. DIAGNÓSTICO DO CENÁRIO ENERGÉTICO ATUAL DE SERGIPE 14
4.2.1. CAPACIDADE DE PRODUÇÃO/OFERTA POR TIPO DE FONTE 15
4.2.2. INFRAESTRUTURA GERAL DISPONÍVEL PARA A OFERTA DE ENERGIA EM SERGIPE 31
4.2.3. ANÁLISE DA DEMANDA ENERGÉTICA POR SEGMENTO/SETOR 38
4.3. GÁS NATURAL E A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EM SERGIPE 45
4.3.1. DESAFIOS E OPORTUNIDADES CLIMÁTICAS 45
4.3.2. RISCOS DE LOCK-IN E ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO 46

5. ANÁLISE DO POTENCIAL DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL EM SERGIPE 49

5.1. POTENCIAL E VIABILIDADE DA ENERGIA SOLAR 49
5.1.1. AVALIAÇÃO DOS RECURSOS (INSOLAÇÃO) E DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA 49
5.2. POTENCIAL E VIABILIDADE DA ENERGIA EÓLICA 58
5.2.1. AVALIAÇÃO DOS RECURSOS (REGIME DE VENTOS) 58
5.2.2. ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA 61
5.3. POTENCIAL DA BIOMASSA E DO BIOGÁS/BIOMETANO 65
5.3.1. IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E URBANOS 66
5.3.2. ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA E VIABILIDADE 69
5.4. POTENCIAL DO HIDROGÊNIO VERDE 70
5.4.1. AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO ESTADO EM SE TORNAR UM VETOR ENERGÉTICO 71
5.4.2. INTEGRAÇÃO ENTRE HIDROGÊNIO VERDE, DESSALINIZAÇÃO E ENERGIA SOLAR 73
5.4.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA PRODUÇÃO 74

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 75

7. REFERÊNCIAS 77

8. LISTA DE FIGURAS 83

9. LISTA DE TABELAS 84

10. LISTA DE QUADROS 84

1. APRESENTAÇÃO

O Produto 1.5 – Relatório de Diagnóstico do Cenário Atual e Potencial Energético do Estado de Sergipe integra o conjunto de entregas que compõem o Projeto que tem por escopo a realização de estudos, pesquisas e ações voltados à promoção do desenvolvimento econômico e sustentável do Estado de Sergipe, fornecendo os subsídios técnico-científicos para o planejamento, desenvolvimento e implementação de um Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC.

Este Produto tem por finalidade avaliar a matriz energética vigente no Estado, bem como identificar suas potencialidades em um contexto de fomento à diversificação energética e à descarbonização da economia e encontra-se previsto no Contrato nº 08/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração – FIA e a Secretaria de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas - SEMAC.

Em seu conteúdo, o Relatório abordará as seguintes temáticas: i) diagnóstico do cenário energético atual do Estado de Sergipe, contendo a importância da eficiência energética, a capacidade de produção por fonte, a demanda energética por setor, os benefícios ambientais e econômicos atrelados, entre outros; ii) análise do potencial das distintas fontes de energia renovável.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Apresentar o diagnóstico do cenário energético atual e do potencial energético do Estado de Sergipe, com vistas a subsidiar o Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE) no que concerne à identificação de oportunidades para diversificação e descarbonização da economia.

2.2. ESPECÍFICOS

- Caracterizar a matriz energética do Estado de Sergipe, contemplando a capacidade instalada, a distribuição das fontes de energia, a demanda setorial e os níveis de eficiência energética;
- Analisar os benefícios ambientais e econômicos associados à matriz energética atual;
- Identificar e avaliar o potencial técnico e econômico das fontes de energia renovável disponíveis no território sergipano;

- Verificar oportunidades de ampliação e integração de fontes renováveis na matriz energética estadual, incorporando critérios técnicos e econômicos.

3. PREMISSAS CONCEITUAIS

A avaliação da matriz energética é fundamental para orientar estratégias de desenvolvimento sustentável e viabilizar a transição para fontes alternativas. Historicamente, a exploração de petróleo e gás tem impactado significativamente a economia local, constituindo ainda fator relevante na atual estrutura produtiva, embora haja uma evidente tendência à diversificação energética.

A infraestrutura estadual contempla etapas que vão desde a produção de combustíveis fósseis até a geração e distribuição de eletricidade. Empresas nacionais e internacionais atuam no segmento energético sergipano, evidenciando seu papel estratégico. Entre os principais desafios estão a modernização das redes, otimização da capacidade instalada e ampliação da eficiência energética em todos os segmentos.

A localização geográfica de Sergipe, abrangendo faixa litorânea e elevada incidência solar, propicia a implementação de projetos de energia eólica e solar. O potencial do gás natural incrementa as oportunidades de desenvolvimento, ainda que apresente obstáculos técnicos e operacionais. As políticas estaduais orientam-se pelo alinhamento às diretrizes nacionais de transição energética, incorporando incentivos à expansão de fontes alternativas e à sustentabilidade.

A transição energética demanda investimentos em pesquisa, desenvolvimento e infraestrutura, bem como formação de profissionais especializados e adequação do ambiente regulatório, fatores essenciais para atração de novos investimentos. A participação da sociedade civil e de instituições de pesquisa é fundamental para decisões voltadas ao interesse coletivo e de longo prazo.

A análise sobre o Estado de Sergipe deve considerar o contexto das demandas globais de descarbonização. O Estado está bem posicionado para ampliar sua atuação no setor de energias renováveis, aproveitando sua expertise prévia nos segmentos de óleo e gás para fomentar novas soluções tecnológicas. A integração de múltiplas fontes energéticas e a adoção de redes inteligentes são estratégicas para promover um futuro mais sustentável.

4. DIAGNÓSTICO DO CENÁRIO ENERGÉTICO ATUAL DE SERGIPE

Atualmente, a matriz energética estadual apresenta predominância do gás natural na geração termelétrica, com participação de fontes renováveis tradicionais (hidrelétricas e biomassa) e perspectivas favoráveis à introdução de tecnologias emergentes.

Conforme apresentado no Quadro 1, a matriz energética de Sergipe resulta da combinação entre gás natural, fontes renováveis convencionais e planejamento para expansão das renováveis modernas (solar, eólica e hidrogênio verde), visando atender às demandas econômicas e ambientais.

Quadro 1 - Fontes Energéticas: Produção e Uso em Sergipe

FONTE ENERGÉTICA	TIPO	USO PRINCIPAL NA MATRIZ (GERAÇÃO OU CONSUMO)
Gás Natural	Fóssil / Convencional	Principal fonte para **Geração Termelétrica** de base (energia contínua). Usado também, de forma significativa, como combustível industrial.
Hidrelétrica	Renovável	**Geração de Energia Elétrica** em larga escala (UHE Xingó) para abastecer os sistemas de distribuição e transmissão.
Eólica	Renovável	**Geração de Energia Elétrica**. Grande potencial inexplorado, especialmente para injetar na rede de distribuição.
Solar Fotovoltaica	Renovável	**Geração de Energia Elétrica** (principalmente em usinas de geração distribuída, como em telhados de empresas e residências, e em grandes usinas de geração centralizada).
Biomassa (Cana-de-Açúcar)	Renovável	**Produção de Etanol** (biocombustível) para veículos. Também gera eletricidade e vapor para o próprio setor sucroenergético.
Derivados de Petróleo	Fóssil / Convencional	**Combustível** para transportes (gasolina e diesel) e insumos para a indústria petroquímica.
Hidrogênio Verde (H2V)	Renovável (potencial)	*Projetos em desenvolvimento*. Uso futuro como **combustível limpo** para a indústria pesada e transportes, além de insumo químico.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

4.1. A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Antes de detalhar a matriz energética de Sergipe, é de extrema importância apresentar o conceito de eficiência energética (EE), elemento reconhecido internacionalmente como chave para o alcance das metas climáticas e de descarbonização, denominado “primeiro combustível”. No contexto sergipano, embora predomine uma matriz primária renovável, persistem desafios relevantes na descarbonização do consumo final, principalmente nos setores de transporte e indústria.

A eficiência energética ultrapassa a simples redução de custos, configurando-se como vetor estratégico para reforço da segurança energética, ampliação da acessibilidade econômica e mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). O aprimoramento do uso da energia possibilita crescimento econômico sem aumento proporcional da demanda energética.

As ações de EE têm como objetivo fornecer serviços ou produtos — como iluminação, mobilidade ou produção industrial — com menor consumo de energia, sendo uma abordagem central do planejamento energético, por permitir a redução dos investimentos em novas usinas e redes.

4.1.1. MONITORAMENTO E POTENCIAL DE GANHOS

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE (empresa pública federal, que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético) monitora o progresso nacional da eficiência energética por meio do Índice ODEX, que avalia os ganhos nos principais setores econômicos desde 2005 (ODEX = 100).

Historicamente, o Brasil alcançou melhorias de cerca de 12% entre 2005 e 2021, destacando-se os setores residencial e de transportes. Tais avanços são fundamentais para equilibrar o crescimento econômico e populacional, promovendo maior controle no consumo energético. Nesse sentido, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2034), elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), estabelece metas específicas em eficiência energética, com projeções de redução de até 7% no consumo nacional até 2034, relativamente aos níveis de 2023.

Essa diminuição projetada equivale ao consumo de grandes indústrias, como as de cimento, ferro gusa e aço, ressaltando o significativo potencial macroeconômico da EE enquanto recurso de oferta virtual. Portanto, a eficiência energética representa ferramenta fundamental para a gestão de riscos ligados ao crescimento da demanda.

O Indicador de Intensidade Energética — razão entre Consumo Final Energético e Produto Interno Bruto (PIB) — manteve-se estável no Brasil entre 2000 e 2021. O cenário evidencia que, apesar dos avanços indicados pelo ODEX, a intensificação da atividade econômica e as mudanças estruturais exigem políticas contínuas e fortalecidas para promover a redução sustentável dessa intensidade.

O crescimento sustentável do setor energético, alinhado às diretrizes globais de transição e descarbonização, exige uma abordagem integrada que não se restrinja apenas

ao aumento da capacidade instalada de geração renovável. A Eficiência Energética (EE) se estabelece, neste contexto, como um vetor de igual importância, ao reduzir a demanda e postergar a necessidade de novos investimentos em geração e transmissão. A incorporação de metas de EE é, portanto, um pilar fundamental para a resiliência e a competitividade da matriz energética do país.

A importância da EE reflete uma tendência global, em que o ganho de eficiência é um objetivo estratégico de longo prazo, com potencial de gerar benefícios econômicos e ambientais imediatos. O Quadro 2 apresenta as metas e potenciais chave da eficiência energética no Brasil, conforme estabelecido por órgãos governamentais e estudos setoriais.

Quadro 2: Metas e Potenciais Chaves da Eficiência Energética no Brasil

INDICADOR/ SETOR	META/POTENCIAL	HORIZONTE	FONTE
Redução do Consumo Nacional	7% do consumo total	2034	PDE 2034 (MME)
Ganhos de Eficiência (Geral)	12% (medido pelo ODEX)	2005-2021	EPE
Indústria: Economia Financeira	R$ 10 bilhões	2050	PotencializEE/MME
Setor Elétrico: Conservação	105 TWh (equivalente a 10% de ganho)	2030	Firjan/MME

Fonte: Elaboração própria – FIA (2025).

4.1.2. ANÁLISE SETORIAL E POLÍTICAS CHAVE

4.1.2.1.Setor de transportes

O setor de transportes, juntamente com o industrial, lidera o consumo energético nacional, respondendo por 64,8% do total em 2023. A forte dependência do modal rodoviário e de combustíveis fósseis faz da eficiência energética requisito essencial para descarbonização e redução da vulnerabilidade aos preços internacionais.

Os avanços na eficiência do transporte de carga atingiram recorde em 2023, resultado da modernização das frotas e de iniciativas como o Programa Rota 2030. Por outro lado, o transporte de passageiros demonstrou menor eficiência por passageiro-quilômetro, ressaltando a necessidade de políticas que incentivem o transporte público e a eletrificação.

4.1.2.2.Setor industrial

O setor industrial, caracterizado por elevado consumo eletrointensivo e termointensivo, possui grande potencial para melhoria da eficiência, elemento estratégico

para competitividade. A adoção de processos inovadores projeta economia de R$ 10 bilhões até 2050, segundo o programa PotencializEE.

As ações propostas pelo PotencializEE (MME e MDIC) visam reduzir a emissão de aproximadamente 4,5 $MtCO_2e$ (milhão de toneladas de CO_2 equivalentes) até 2050, por meio da eficiência, contemplando melhorias no Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL) para pequenas e médias indústrias e incentivo ao uso eficiente de energia térmica (Ministério de Minas e Energia, 2025).

Setores específicos, como metalurgia, demonstram progressos relevantes, como a reciclagem de alumínio (57% em 2023), que consome menos energia que a produção primária. O avanço da eficiência energética, no processo produtivo, é crucial para manter a competitividade internacional diante de mecanismos como o CBAM (Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira).

4.1.2.3.Setor residencial e edificações

O setor residencial registrou redução no ODEX: 20,9% na energia total e 14,1% na eletricidade entre 2005 e 2023. Esse resultado está relacionado à substituição gradual de equipamentos antigos por modelos mais eficientes, incentivada por programas de etiquetagem e incentivos.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro e o Selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) informam sobre a eficiência energética dos produtos e estimulam o consumo consciente. A compra de equipamentos mais eficientes, como refrigeradores e lâmpadas LED, contribui para a diminuição do consumo específico médio nacional.

A Figura 1 apresenta um resumo dos resultados do PROCEL para o ano de 2023 (e acumulados desde 1986, conforme indicado). O programa demonstra um impacto expressivo na eficiência energética e na mitigação de emissões.

Figura 1: Resultados e Benefícios das ações do Procel em 2023



Fonte: MME, 2024a.

Desde 1986, foram economizados impressionantes 240 bilhões de kWh, com 23,91 bilhões de kWh economizados apenas em 2023. Esta economia anual representou 4,5% do consumo total de eletricidade do Brasil, destacando a relevância do PROCEL na matriz energética nacional. Além disso, a economia de energia em 2023 é equivalente ao consumo anual de 12,07 milhões de residências, ilustrando a magnitude do benefício para a sociedade. Do ponto de vista financeiro, o custo evitado em 2023 atingiu R$ 4,48 bilhões, indicando um retorno econômico substancial proveniente da conservação de energia.

Do ponto de vista ambiental, os resultados do PROCEL demonstram uma contribuição notável para a redução das emissões de gases de efeito estufa. As emissões evitadas somaram 1,117 milhões de toneladas de CO2e. Este volume de gases de efeito estufa é comparável às emissões anuais de 383 mil veículos. Estes dados explicitam o papel do programa na promoção da sustentabilidade e na luta contra as mudanças climáticas, ao dissociar parte do crescimento econômico do aumento do consumo energético e das emissões associadas.

No segmento de edificações residenciais e de serviços, a atualização da eficiência dos sistemas de ar-condicionado pode diminuir sua participação na demanda de pico de eletricidade. Estima-se que avanços nos padrões de eficiência podem resultar em uma economia de 67 TWh até 2040, com impacto sobre o sistema elétrico nacional.

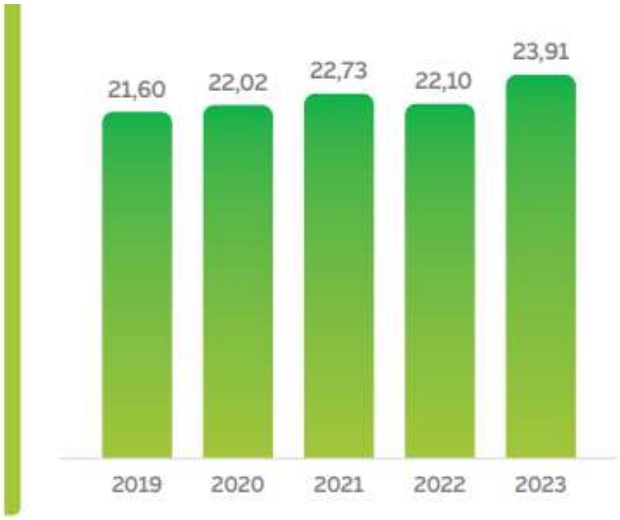
4.1.3. BENEFÍCIOS MACROECONÔMICOS E AMBIENTAIS

A redução de custos operacionais é apontada como principal razão para investimentos privados, sendo que 99% das empresas brasileiras já investem ou planejam investir em EE. Desde 1986, a economia foi de cerca de 263 bilhões de kWh, com aumento anual.

Entre 2019 e 2023, esse valor foi de 112,36 bilhões de kWh, conforme pode ser visto na figura a seguir.

A Figura 2 ilustra a economia anual de energia elétrica, em bilhões de kWh, alcançada pelas ações do PROCEL no período de 2019 a 2023. A análise dos dados revela uma tendência geral de crescimento na economia de energia ao longo dos cinco anos, demonstrando a expansão e a eficácia contínua do programa. Partindo de 21,60 bilhões de kWh em 2019, a economia atingiu seu pico em 2023, com 23,91 bilhões de kWh.

Figura 2: Economia de energia decorrente das ações do Procel entre 2019 e 2023 (em bilhões de kWh)



Fonte: MME (2024a).

Um ponto de inflexão a ser notado na série temporal é a queda na economia de 22,73 bilhões de kWh em 2021 para 22,10 bilhões de kWh em 2022. Essa redução de 0,63 bilhões de kWh (aproximadamente 2,77%) merece atenção técnica, pois pode estar relacionada a fatores exógenos, como mudanças no consumo nacional devido à recuperação econômica pós-pandemia, alterações regulatórias, ou flutuações na implementação de projetos de eficiência. No entanto, essa leve retração foi mais do que compensada em 2023, que registrou o valor mais alto da série. O recorde de 23,91 bilhões de kWh em 2023 sugere um robusto processo de recuperação e ampliação das ações de conservação, consolidando o papel do PROCEL como um instrumento chave na gestão da demanda e na segurança do suprimento de energia elétrica do Brasil.

Em segurança energética, a EE reduz dependência de importação de combustíveis e o impacto da volatilidade internacional de preços. A diminuição da demanda também reduz riscos ao sistema elétrico e pode adiar investimentos em geração e transmissão. No contexto social brasileiro, políticas como o PEE/ANEEL destinam parte dos recursos para substituir equipamentos de famílias de baixa renda, ajudando a mitigar os custos energéticos domésticos.

Globalmente, estima-se que 18% das reduções necessárias para atingir a meta Net Zero até 2050 estejam relacionadas à EE, configurando-a como estratégia estrutural para compromissos ambientais e sustentabilidade econômica.

O Quadro 3 apresenta uma síntese de benefícios-chave resultantes de investimentos em eficiência energética no contexto brasileiro, destacando a atratividade econômica e ambiental dessas ações. O indicador mais expressivo é o Retorno do Investimento (ROI), que, com base em dados gerais do PROCEL, aponta para R$ 3,40 economizados para cada R$ 1,00 investido. Este valor demonstra que a eficiência energética não é apenas uma medida de conservação, mas uma estratégia economicamente rentável, com um ótimo payback. Essa relação sugere que a eficiência energética atua como um recurso de custo marginal negativo ou muito baixo, devendo ser priorizada em políticas de planejamento energético em comparação a alternativas de expansão da oferta.

Quadro 3: Relação Investimento/Benefício da Eficiência Energética

TIPO DE BENEFÍCIO	VALOR ESTIMADO	SETOR/CONTEXTO/ FONTE
Retorno do Investimento	R$ 3,40 economizado por R$ 1,00 investido	Geral (Dados PROCEL)
Redução de Emissões	4,5 $MtCO_2e$	Indústria (PotencializEE)
Economia de Eletricidade	67 TWh	Edificações (Padrões de AC até 2040)

Fonte: elaboração própria – FIA (2025).

No aspecto setorial e ambiental, o quadro mostra a Redução de Emissões de 4,5 milhões de toneladas de CO2 equivalente no setor Industrial, conforme o projeto PotencializEE, evidencia o papel da eficiência como ferramenta de descarbonização e mitigação climática. No setor de Edificações, o potencial de Economia de Eletricidade de 67 Terawatt-hora até 2040, através da implementação de padrões de ar-condicionado (AC), ilustra a enorme capacidade de redução da demanda máxima e do consumo total. Essa economia em edificações é crucial para postergar investimentos em geração e transmissão, reforçando a Eficiência Energética como o "primeiro combustível" na gestão de sistemas elétricos.

4.1.4. O CENÁRIO DE SERGIPE: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E TRANSIÇÃO

Sergipe adota medidas voltadas à transição energética regional, priorizando diversificação da matriz e ampliação de investimentos em fontes limpas. Atualmente, a produção energética mostra renovabilidade superior a 90%, considerando hidrelétrica; nesse contexto, a eficiência foca no uso final e otimização dos processos produtivos (FGV, 2025a).

O Plano Estadual de Transição Energética busca diagnóstico detalhado das capacidades locais, orientando políticas públicas que possam integrar eficiência energética, desenvolvimento industrial e inovação tecnológica (FGV, 2025a).

Conforme pode ser visto na Figura 3 o Estado de Sergipe se destaca por apresentar tarifa industrial mais baixa do Nordeste (acima de 500 kW) e menor incidência de ICMS para consumidores industriais, fatores que apoiam a competitividade. Embora estes fatores já sejam importantes para a atração de empresas, a eficiência energética é considerada um elemento relevante para manutenção dessa vantagem a longo prazo.

Figura 3: Ranking da tarifa de energia dos estados do Nordeste em 2023



Fonte: Desenvolve-SE, 2024.

Na tentativa de diversificar a economia local, Sergipe busca atrair setores eletrointensivos, como indústrias de vidro, cerâmica e data centers. A eficiência energética figura como mecanismo de mitigação de riscos e otimização de custos, aumentando o interesse empresarial (SEDETEC, 2023a; ANEEL, 2024).

A execução da eficiência energética (EE) é liderada pelo Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio das concessionárias Energisa Sergipe e Sulgipe, responsáveis pela cobertura dos municípios do Estado (ANEEL, 2024). Os projetos anuais abrangem diversos segmentos e visam promover troca de equipamentos e conscientização sobre uso eficiente da energia elétrica (ENERGISA, 2023).

O Instituto de Tecnologia e Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS) atua na orientação dos consumidores quanto às regras de etiquetagem, destacando a importância da identificação correta dos selos de eficiência, especialmente para famílias de baixa renda (SEDETEC, 2023a).

O Estado adota incentivos fiscais via Decreto nº 447, de 2023, isentando Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) de produtos voltados à geração solar e eólica, reduzindo custos para aquisição de equipamentos de Geração Distribuída (GD), o que é favorável para a diminuição da demanda na rede (SERGIPE, 2023).

As pesquisas e inovações se concentram no Núcleo de Energias Renováveis e Eficiência Energética de Sergipe (Nerees), integrante do SergipeTec, e que tem a função de demonstrar técnicas eficientes, sediar pesquisas e instalar a primeira estação de monitoramento de energia solar e eólica do Estado, gerando dados de qualidade para estudos de potencial e inovação (SERGIPETEC, 2025).

Um dos projetos de destaque na transição sergipana é a implantação de um Hub de Hidrogênio Verde na região portuária. A capacidade de Sergipe de produzir a um preço competitivo, utilizando um fornecimento de energia renovável/isenta de carbono (hídrica, solar e eólica), evidencia como a EE, ao otimizar o consumo, libera recursos de geração para vetores de descarbonização de alto valor agregado (SERGIPE, 2023a).

O Decreto nº 531, de 2023, estabelece metas obrigatórias para instalação de sistemas de geração distribuída em edifícios públicos, conforme Política Estadual de Incentivo à Geração Solar instituída pela Lei nº 8.467, de 2018.

Com base nos indicadores do Quadro 4, a competitividade energética de Sergipe está tecnicamente ancorada em políticas fiscais atrativas e mecanismos regulatórios de fomento. A menor tarifa industrial para grandes consumidores sinaliza um custo operacional reduzido para empresas de alto consumo. Complementarmente, a baixa incidência de ICMS sobre a energia (2ª menor) atua diretamente na redução do custo final da eletricidade, potencializando o efeito da tarifa baixa e liberando capital para as empresas, podendo pelo menos uma parte ser direcionada para medidas de EE.

Quadro 4: Fatores de Competitividade Energética em Sergipe (2023)

INDICADOR	POSIÇÃO NO NORDESTE	IMPACTO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
Tarifa Industrial (> 500kW)	Menor tarifa	Atrai indústrias; a EE garante a sustentabilidade desse custo
Incidência de ICMS s/ Energia	2ª Menor incidência	Reduz custo final, facilitando investimentos em EE (curto prazo)
Isenção de ICMS em GD	Decreto 447/2023	Incentiva a Geração Distribuída e o uso de renováveis/eficientes
PEE/ANEEL	Atuante	Financia projetos de EE em todos os segmentos

Fonte: Os autores.

O Estado demonstra um alinhamento regulatório proativo com o setor de energias renováveis e eficiência. A adoção do Decreto nº 447, de 2023, é uma ação técnica fiscal que remove uma barreira tributária à adoção de tecnologias limpas, como a solar fotovoltaica. Por fim, a atuação do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL garante um fluxo de recursos (cerca de 0,5% da Receita Operacional Líquida da distribuidora) especificamente destinado a financiar projetos de EE.

4.2. DIAGNÓSTICO DO CENÁRIO ENERGÉTICO ATUAL DE SERGIPE

O cenário energético do Estado de Sergipe é definido por uma matriz em constante evolução, demonstrando características de transição energética. Esta matriz se destaca por uma elevada participação de energia limpa, atingindo um índice de renovabilidade significativo quando se considera a fonte hidrelétrica (EPE, 2024). Contudo, essa configuração coexiste com uma dependência de combustíveis fósseis, apesar do crescimento notável e progressivo das fontes renováveis no sistema (SEDETEC, 2023a).

A busca pela diversificação da matriz energética emerge como um imperativo estratégico. O objetivo principal é mitigar as vulnerabilidades associadas às oscilações nos preços de commodities e, simultaneamente, garantir maior segurança e estabilidade no suprimento de energia. A interligação com o Sistema Elétrico Nacional (SIN) potencializa os benefícios regionais, dado o reconhecido destaque da hidroeletricidade na matriz brasileira como um todo (ANEEL, 2024).

A sustentabilidade ambiental consolidou-se como um pilar central nos debates setoriais em Sergipe. As prioridades incluem a implementação de ações para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), a promoção do uso responsável dos recursos hídricos e a minimização sistemática dos impactos ambientais associados aos projetos de geração e infraestrutura. A trajetória rumo à consolidação de matrizes mais limpas é vista

como irreversível, o que confere a Sergipe a oportunidade de se posicionar como um líder regional neste movimento (SEDETEC, 2023a).

Para impulsionar o desenvolvimento do setor energético estadual, é fundamental estabelecer um modelo de cooperação ampliada envolvendo o governo, a iniciativa privada, a academia e a sociedade civil organizada (FGV, 2024). A promoção da difusão de conhecimento técnico, o incentivo contínuo à inovação tecnológica e o engajamento de todos os stakeholders são cruciais para a concepção e implementação de soluções que equilibrem as demandas atuais e preservem os interesses das futuras gerações.

O panorama energético de Sergipe apresenta um elevado potencial, mas, apesar disso, possui desafios estratégicos complexos. A estratégia mais adequada envolve o avanço na exploração responsável e consciente dos recursos fósseis disponíveis, paralelamente ao fortalecimento acelerado das fontes renováveis e à modernização abrangente da infraestrutura de transmissão e distribuição. Esse balanço visa assegurar a prosperidade energética do Estado em alinhamento com os desafios e metas globais de sustentabilidade contemporâneos (EPE, 2024).

4.2.1. CAPACIDADE DE PRODUÇÃO/OFERTA POR TIPO DE FONTE

Sergipe tem capacidade instalada de geração superior à sua demanda interna, atuando como exportador de energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Essa vantagem traz desafios para gerenciamento eficiente dos recursos energéticos e exige planejamento para sustentabilidade.

No segmento de geração, o sistema de transmissão e distribuição representa elo fundamental para o escoamento eficiente da energia e atendimento seguro da demanda local. Manter e aprimorar a confiabilidade dessa infraestrutura é essencial para o desenvolvimento econômico e o bem-estar social. Expansão contínua e modernização tornam-se mandatórias diante do crescimento da demanda e da necessidade de integração de novas fontes.

As políticas energéticas estaduais têm buscado, ativamente, a consonância com as diretrizes nacionais, consolidando uma agenda que promove a sustentabilidade e a inovação tecnológica. Elevar a eficiência energética (EE) nos diversos setores econômicos do Estado é estabelecido como uma meta estratégica, orientado primordialmente para a racionalização do consumo de energia e, consequentemente, para a preservação dos recursos naturais (SEDETEC, 2023). Essa estratégia envolve ações que vão desde a implementação de projetos específicos para otimização do uso de eletricidade

(ANEEL, 2024), até iniciativas voltadas à conscientização da população e à adoção de práticas operacionais mais eficientes no consumo final (FGV, 2024).

Projetos de grande porte, como usinas termelétricas e campos de produção de gás, contribuem significativamente para a economia local, gerando empregos e receitas fiscais. É crucial, contudo, que tais benefícios sejam distribuídos equitativamente e que o desenvolvimento preserve parâmetros de sustentabilidade socioambiental.

A seguir são apresentadas as características mais relevantes das principais fontes energéticas disponíveis no Estado.

4.2.1.1.Fósseis

A produção de petróleo e gás natural no Estado de Sergipe tem apresentado uma trajetória de declínio significativo nos últimos anos, revertendo o papel proeminente que a região historicamente desempenhou na produção *onshore* e *offshore* nacional. Embora a Petrobras tenha sido a principal operadora na Bacia de Sergipe-Alagoas por décadas, o contexto macroeconômico, as prioridades estratégicas da estatal e os fatores geológicos regionais convergiram para justificar essa retração.

Em primeiro lugar, a maturidade dos campos *onshore* e em águas rasas constitui um fator geológico incontornável para o declínio da produção. Muitos dos campos produtores de Sergipe, que iniciaram sua operação nas décadas de 1960 e 1970, como o histórico campo de Carmópolis, um dos maiores em terra no Brasil, atingiram seu pico e subsequentemente entraram em fase de declínio natural (PETROBRAS, 2013). A baixa pressão dos reservatórios e a crescente proporção de água produzida tornam a exploração economicamente menos vantajosa, exigindo investimentos cada vez maiores em recuperação avançada que, frequentemente, não apresentam o custo-benefício esperado em comparação com novas fronteiras exploratórias (ANP, 2023).

Em segundo lugar, a reorientação estratégica da Petrobras desempenhou um papel decisivo no redirecionamento dos investimentos. Com a descoberta do Pré-Sal e o foco prioritário em projetos de águas ultraprofundas, a Petrobras optou por concentrar seus recursos nas áreas de maior rentabilidade e volume, notadamente nas Bacias de Santos e Campos. Essa mudança resultou na redução drástica dos investimentos em campos maduros de Sergipe e Alagoas, que foram incluídos em programas de desinvestimento (SEBRAE, 2023). Contudo, essa reorientação não significou abandono total da Bacia Sergipe-Alagoas, que manteve uma prioridade no Programa Sergipe Águas Profundas (SEAP) para gás e óleo em profundidades maiores, o que demonstra uma

seletividade e foco em novas fronteiras offshore dentro da própria bacia (SEDETEC, 2023).

A venda de ativos (desinvestimentos) pela Petrobras, inserida em seu plano de desalavancagem e reestruturação, acelerou o declínio da produção direta da estatal em Sergipe. Embora a intenção fosse que novos operadores independentes assumissem e revitalizassem esses campos, a transição é lenta. Os novos operadores precisam de tempo e capital para implementar técnicas de recuperação avançada e perfurar poços complementares, para conseguir reverter de forma mais significativa essa situação.

No que tange ao gás natural, a produção *onshore* no Estado de Sergipe tem acompanhado o declínio similar ao do petróleo devido, principalmente, à maturidade dos campos de exploração em terra. Em setembro de 2020, por exemplo, a produção de gás natural do Estado registrou uma queda drástica em comparação com o mesmo período do ano anterior, refletindo o esgotamento dos reservatórios mais antigos (AGRESE, 2022).

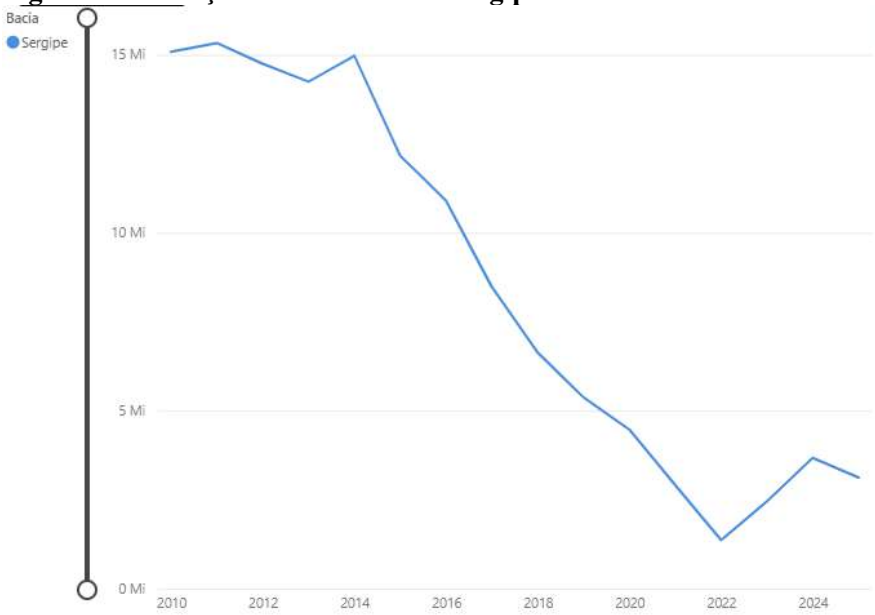
A expectativa de um aumento substancial na produção estadual recai, portanto, nas novas descobertas offshore, particularmente as reservas de gás associado e não associado do Projeto Sergipe Águas Profundas (SEAP) (FGV, 2024). Apesar de serem consideradas ricas e com potencial para dobrar a produção nacional de gás até 2030 (ANP, 2024), essas novas reservas enfrentam desafios logísticos e de infraestrutura significativos. A ausência de uma infraestrutura de escoamento dedicada e a necessidade de interligação à malha de transporte nacional (TAG) foram desafios historicamente presentes, embora investimentos recentes para conectar terminais de GNL à rede nacional tenham marcado um avanço crucial (SEDETEC, 2024; PGE-SE, 2024).

Adicionalmente, a colocação desse gás *offshore* no mercado — em especial o gás natural não associado (livre) — é um processo complexo que demanda a consolidação de um marco regulatório claro e o desenvolvimento de mecanismos de flexibilidade no suprimento. A superação dos desafios regulatórios e a contínua expansão da infraestrutura são essenciais para a monetização efetiva do volume de gás de SEAP e para a consolidação de Sergipe como um potencial hub de gás para a região Nordeste (SEDETEC, 2023; ANP, 2024).

A queda da produção de petróleo e gás em Sergipe é resultado de uma combinação multifatorial: maturidade geológica, reorientação estratégica da maior operadora, desinvestimentos e desafios infraestruturais e de mercado que, juntos, reduziram o apetite por investimentos na Bacia de Sergipe-Alagoas nos últimos anos.

As Figuras Figura 4 e Figura 5 mostram os declínios nas produções de petróleo e gás entre 2014 e 2022, com leve recuperação da produção de petróleo em 2022, com a entrada de uma nova operadora para os campos terrestres.

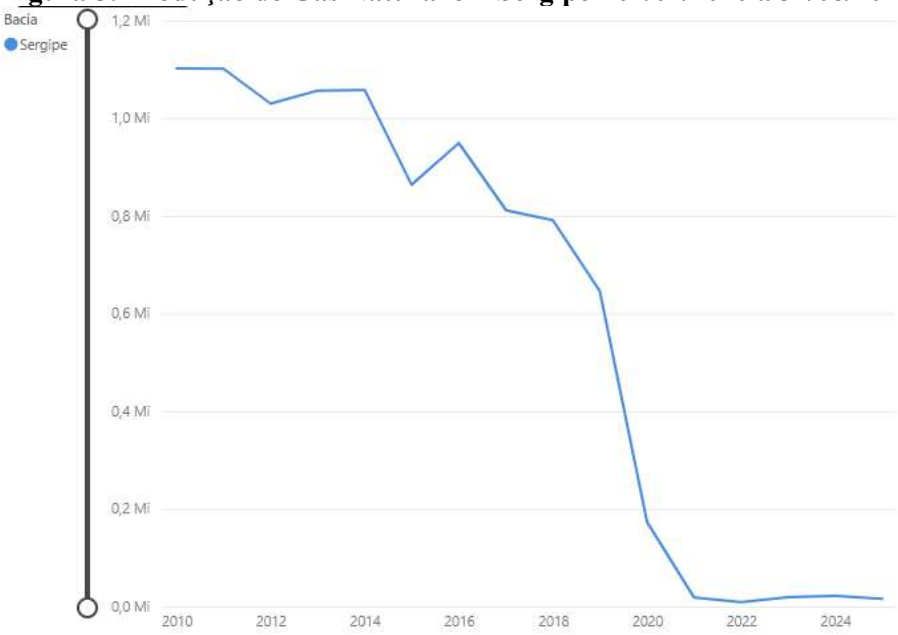
Figura 4: Produção de Petróleo em Sergipe - 01/01/2010 a 31/08/2025



Bacia	Sergipe	
Data	Petróleo (bbl)	Período
01/01/2010	15.083.253,02	2010
01/01/2011	15.331.727,83	2011
01/01/2012	14.747.750,49	2012
01/01/2013	14.247.120,96	2013
01/01/2014	14.971.956,58	2014
01/01/2015	12.163.621,91	2015
01/01/2016	10.900.477,14	2016
01/01/2017	8.471.254,63	2017
01/01/2018	6.628.403,94	2018
01/01/2019	5.375.306,50	2019
01/01/2020	4.471.745,06	2020
01/01/2021	2.902.897,69	2021
01/01/2022	1.363.484,54	2022
01/01/2023	2.450.561,33	2023
01/01/2024	3.673.644,18	2024
01/01/2025	3.120.041,30	2025

Fonte: ANP, 2025.
*Barril de óleo ou bbl: Um barril stock tank, medida-padrão de volume de petróleo correspondente a cerca de 159 litros.

Figura 5: Produção de Gás Natural em Sergipe - 01/01/2010 a 31/08/2025



Bacia	Sergipe	
Data	Gás Natural (mil m3)	Período
01/01/2010	1.101.740,71	2010
01/01/2011	1.101.188,28	2011
01/01/2012	1.029.849,12	2012
01/01/2013	1.056.703,55	2013
01/01/2014	1.057.990,86	2014
01/01/2015	863.810,15	2015
01/01/2016	949.204,45	2016
01/01/2017	811.785,22	2017
01/01/2018	791.330,20	2018
01/01/2019	645.433,22	2019
01/01/2020	173.415,46	2020
01/01/2021	18.248,75	2021
01/01/2022	9.106,57	2022
01/01/2023	19.087,94	2023
01/01/2024	22.095,54	2024
01/01/2025	15.845,14	2025

Fonte: ANP, 2025.
*Barril de óleo ou bbl: Um barril stock tank, medida-padrão de volume de petróleo correspondente a cerca de 159 litros.

Analisando-se as perspectivas de futuro do setor em Sergipe, destaca-se o projeto Sergipe Águas Profundas (SEAP), que representa uma fronteira exploratória promissora e estratégica para a Petrobras e para o Brasil, localizando-se na Bacia de Sergipe-Alagoas,

em áreas de águas ultraprofundas. Diferentemente dos campos maduros *onshore* e de águas rasas que caracterizaram a produção histórica do Estado, o SEAP se destaca pelo volume e qualidade das descobertas de óleo e, principalmente, de gás natural, que prometem alterar o panorama energético nacional e, em particular, a matriz econômica sergipana (FGV, 2024).

As descobertas no *cluster* SEAP revelaram reservatórios de classe mundial com um elevado potencial de produção. Estas acumulações se encontram em lâminas d'água superiores a 2.500 metros e profundidades totais que superam 5.000 metros. A complexidade geológica e a profundidade operacional exigem o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias de ponta, posicionando o SEAP como um projeto desafiador e de alto custo de desenvolvimento, mas com um retorno potencial igualmente elevado (FGV, 2024).

A importância do SEAP para o Brasil reside no seu significativo volume de gás natural. Estima-se que as reservas de gás associado e não associado na área sejam substanciais, o que coloca o projeto como um potencial pilar para o aumento da oferta de gás no país e para a abertura do mercado de gás (Novo Mercado de Gás). A efetivação dessas reservas é de grande relevância para a segurança energética nacional, a descarbonização da matriz e o fornecimento de commodity para indústrias termelétricas e petroquímicas.

Para o Estado de Sergipe, o desenvolvimento do SEAP é um vetor de transformação socioeconômica. A fase de exploração e, posteriormente, de produção, está prevista para gerar investimentos massivos em infraestrutura, *royalties* e Participações Especiais significativas para os cofres estaduais e municipais, além da geração de empregos diretos e indiretos, especialmente nas áreas de apoio logístico, serviços *offshore* e manutenção industrial.

O plano de desenvolvimento inicial do SEAP, focado nos campos mais maduros e de maior volume, prevê a instalação de uma Unidade Flutuante de Produção, Armazenamento e Transferência (FPSO), de grande porte e alta capacidade de processamento, compatível com a produção de óleo e, principalmente, com o alto volume de gás esperado. A seleção e contratação da FPSO e a instalação de *subsea* (equipamentos submarinos) representam os primeiros grandes marcos de engenharia do projeto.

Um dos maiores desafios técnicos e logísticos do SEAP reside no escoamento da produção de gás. Devido à distância da costa e ao volume a ser processado, o projeto requer a construção de um gasoduto *offshore* de grande diâmetro e alta capacidade, conectando a FPSO à costa sergipana. A construção dessa infraestrutura é vital e sujeita

a rigorosos cronogramas e licenças ambientais, representando o maior gargalo para a antecipação da monetização do gás.

O cronograma do projeto, sujeito a ajustes em função de fatores mercadológicos e internos da Petrobras, aponta para o primeiro óleo/gás (*First Oil/Gas*) em 2030. O sucesso do projeto depende da manutenção dos níveis de investimento e do cumprimento das exigências regulatórias, especialmente as ambientais, dado que se trata de uma nova fronteira exploratória em águas ultraprofundas, com particular atenção à biodiversidade marinha da região.

A estruturação financeira do SEAP demanda um compromisso de capital de longo prazo da Petrobras, reforçando sua importância estratégica. A magnitude dos investimentos envolvidos faz com que o projeto seja sensível a variações nas condições de mercado, como preços internacionais do petróleo e do gás, e às políticas internas de investimento da companhia e às decisões regulatórias da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

A dimensão do cluster SEAP pode potencialmente reverter a tendência de queda na produção de hidrocarbonetos na Bacia de Sergipe-Alagoas, transformando o Estado em um novo polo de gás natural. Contudo, a materialização desse potencial requer a superação dos desafios técnicos e a coordenação eficiente entre a Petrobras, fornecedores e órgãos governamentais.

O projeto Sergipe Águas Profundas (SEAP) não é apenas um projeto de exploração e produção; ele é um catalisador de desenvolvimento regional e um pilar de sustentação para a segurança energética brasileira. Seu sucesso dependerá da aplicação de tecnologia de ponta, da alocação contínua de capital e da capacidade de gestão de projetos de grande escala, sendo um indicativo claro do futuro da produção offshore de águas ultraprofundas no Nordeste brasileiro.

4.2.1.2.Termoelétricas

O gás natural é relevante para a matriz elétrica, sobretudo em períodos de escassez hídrica. Sergipe abriga a Usina Termelétrica Porto de Sergipe I, que utiliza gás natural importado, contribuindo para a estabilidade do suprimento elétrico nacional. Em 2021, o gás natural representou 23,5% da geração do Nordeste e 5,4% do Brasil. O setor pode expandir-se com investimentos previstos pela Petrobras, principalmente através do projeto Sergipe Águas Profundas (SEAP). O consumo médio atual é de 313 mil m³/dia, com distribuição limitada a 10 municípios (FGV, 2024).

A Usina Termelétrica (UTE) Porto de Sergipe I, localizada no Município de Barra dos Coqueiros, é um empreendimento de relevância estratégica no contexto da matriz energética brasileira, destacando-se por sua capacidade instalada e por utilizar gás natural como principal fonte primária. Inaugurada em 2020, a UTE possui uma capacidade de geração de aproximadamente 1.551 MW, sendo uma das maiores usinas termelétricas a gás natural em ciclo combinado da América Latina, fornecendo energia firme e flexível ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Uma das principais características técnicas da UTE é a sua configuração de ciclo combinado (CCGT). Esta tecnologia opera com turbinas a gás e turbinas a vapor, aproveitando o calor residual dos gases de exaustão das primeiras para gerar vapor e acionar as segundas. Essa sinergia eleva significativamente a eficiência térmica da usina em comparação com as termelétricas de ciclo aberto, resultando em menor consumo de combustível por unidade de energia gerada e, consequentemente, em maior sustentabilidade econômica e ambiental da operação.

A infraestrutura logística associada à UTE é outro ponto fundamental. O projeto inclui um terminal *offshore* de regaseificação de Gás Natural Liquefeito (GNL). Este terminal, com sua unidade flutuante de armazenamento e regaseificação (FSRU), é crucial, pois permite que a usina importe GNL de diversas fontes globais, garantindo a flexibilidade de suprimento de combustível. Essa capacidade de importar GNL assegura a firmeza energética, mesmo em períodos de baixo suprimento de gás nacional ou de restrição hídrica do país.

Em termos de desafios, a volatilidade do preço internacional do GNL representa um risco significativo para a sustentabilidade econômica da usina. Como o GNL é uma commodity global, suas cotações estão sujeitas a flutuações geopolíticas e de demanda sazonal, impactando diretamente o custo variável da geração de energia. Períodos de alta no preço do gás podem tornar a energia gerada pela UTE mais cara em comparação com outras fontes, afetando sua alocação no *dispatch* do SIN.

Outro desafio inerente a essa infraestrutura é a dependência da operação contínua do FSRU e do terminal de regaseificação. Embora o terminal confira flexibilidade, qualquer interrupção na cadeia logística do GNL – seja por questões climáticas, manutenção do FSRU ou problemas no fornecimento global – pode comprometer a capacidade da usina de gerar energia firme, exigindo um robusto plano de contingência e manutenção da infraestrutura de ponta.

A principal oportunidade da UTE reside em sua capacidade de complementar a intermitência das fontes renováveis no Brasil. Dada a crescente participação da energia

eólica e solar na matriz, a UTE Porto de Sergipe I atua como um back-up essencial. Sua rápida capacidade de *ramp-up* (iniciar e ajustar a potência) permite que ela preencha lacunas de geração de forma ágil e confiável, mantendo a estabilidade e a segurança operacional do SIN.

A UTE também representa uma oportunidade de ancoragem para o desenvolvimento da infraestrutura de gás no Estado. A sua existência, com a demanda garantida por GNL, pode ser um fator catalisador para futuros projetos de gás, incluindo o desenvolvimento e escoamento do gás natural oriundo das descobertas em águas ultraprofundas da Bacia de Sergipe-Alagoas (Projeto SEAP).

Do ponto de vista ambiental e regulatório, a usina se enquadra na matriz de transição, pois o gás natural emite menos gases de efeito estufa (GEE) por unidade de energia que o carvão ou o óleo combustível. Contudo, persiste o desafio de gestão das emissões de GEE e da conformidade com as rigorosas licenças ambientais para operação do terminal *offshore* e da planta. A otimização da queima e a manutenção da alta eficiência operacional são cruciais.

A longo prazo, uma das oportunidades mais significativas está relacionada à integração da UTE com a produção de gás nacional. Com o avanço do gás do SEAP, a UTE tem o potencial de migrar total ou parcialmente o seu suprimento do GNL importado para o gás nacional, o que não só reduziria a exposição à volatilidade internacional, mas também fortaleceria a cadeia produtiva doméstica e o balanço comercial de Sergipe.

Em suma, a UTE Porto de Sergipe I é um ativo estratégico, caracterizado por alta eficiência e flexibilidade logística via GNL. Enfrenta o desafio da volatilidade do preço do combustível, mas oferece oportunidades cruciais como a garantia da segurança do SIN frente à intermitência renovável e o potencial de se integrar ao futuro hub de gás natural do Projeto Sergipe Águas Profundas. Sua operação é um pilar de firmeza e transição na matriz energética brasileira.

4.2.1.3.Hidrelétricas

Sergipe conta com a Usina Hidrelétrica de Xingó (UHE Xingó), que fornece eletricidade em larga escala ao sistema interligado nacional. Dependente do regime de chuvas, essa fonte tem relevância para a segurança energética. A usina é responsável por cerca de 30% da energia do Nordeste e 10% da produção nacional, com seis turbinas de alta capacidade e infraestrutura significativa. Historicamente, a geração hidráulica corresponde a aproximadamente 90% da eletricidade renovável do Estado, sendo

elemento fundamental na matriz energética local, com participação regional entre 15% e 20% ao longo dos anos (DESENVOLVE-SE, 2024; FGV, 2024; FGV, 2025).

A Usina Hidrelétrica (UHE) de Xingó, localizada no curso do Rio São Francisco, na divisa entre os estados de Alagoas e Sergipe, é um dos ativos mais relevantes do sistema de geração hídrica do Nordeste brasileiro. Iniciada em 1987 e com operação plena a partir de 1994, a usina possui uma capacidade instalada nominal de 3.162 MW, distribuída em seis unidades geradoras. Sua importância transcende a geração de energia, sendo fundamental para a regulação do rio e a gestão dos recursos hídricos na região do Baixo São Francisco (FGV, 2024; FGV, 2025).

Uma das características técnicas distintivas de Xingó é a sua função como usina a fio d'água com reservatório de acumulação reduzida. Embora possua um reservatório significativo, o principal volume de água é proveniente da vazão liberada a montante pela UHE Paulo Afonso (CHESF, 2024). Isso significa que a capacidade de geração de Xingó é fortemente influenciada pelas decisões operacionais e pelos níveis de água controlados pelas usinas superiores do complexo São Francisco, limitando sua flexibilidade e capacidade de armazenamento de energia.

A importância sistêmica de Xingó reside na sua capacidade de geração de energia firme e limpa em um dos subsistemas mais sensíveis do país. A energia hidrelétrica é uma fonte renovável com baixas emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa), o que a torna um pilar essencial para o cumprimento das metas ambientais brasileiras. Além disso, a estabilidade e a previsibilidade da geração hídrica, quando em condições normais de chuva, são cruciais para a segurança e a confiabilidade do Sistema Interligado Nacional (ONS, 2024).

No entanto, o principal desafio contemporâneo de Xingó está intimamente ligado à crise hídrica e à escassez de água no Nordeste. Períodos prolongados de seca e a consequente redução dos níveis dos reservatórios a montante têm obrigado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) a impor restrições de vazão. A operação com baixas vazões, abaixo dos níveis ideais para as turbinas, reduz drasticamente a geração real da UHE, comprometendo sua contribuição para o SIN e o atendimento aos contratos de energia (ANA, 2023).

É imperativo reconhecer que a capacidade de armazenamento de energia na forma de água nos grandes reservatórios está em risco progressivo. As secas prolongadas não apenas diminuem a geração imediata, mas também exaurem as reservas estratégicas, ameaçando a segurança energética em momentos de pico de demanda ou falha em outras fontes.

Essa vulnerabilidade do sistema hidrelétrico do São Francisco, exacerbada pela imprevisibilidade climática, justifica a urgente necessidade de diversificação da matriz energética do Nordeste. A alta dependência de uma única fonte hídrica, em um cenário de estresse hídrico, é insustentável a longo prazo, exigindo uma transição planejada para fontes mais resilientes e complementares.

A energia solar fotovoltaica e a eólica surgem como as soluções mais viáveis e abundantes para essa diversificação. O Nordeste possui alguns dos maiores potenciais de irradiação solar e de ventos do mundo, permitindo que a geração eólica e solar atue de forma complementar à hidrelétrica, especialmente durante o dia (solar) ou em períodos de ventos fortes (eólica).

A adoção massiva de solar e eólica, além de mitigar os riscos climáticos, proporciona maior flexibilidade e resiliência ao sistema. Em anos de baixa vazão hidrelétrica, a geração dessas fontes renováveis pode compensar o déficit, assegurando o suprimento e evitando o acionamento de termelétricas mais caras e poluentes.

Para Sergipe e outros estados do Nordeste, essa diversificação é estratégica. O investimento em usinas solares no Sertão e parques eólicos onshore e offshore permite transformar a ameaça climática em uma oportunidade de liderança em energias renováveis. Isso garante uma matriz mais limpa, segura e previsível, desvinculando o fornecimento de energia da variabilidade hidrológica.

Outro desafio crucial é o impacto socioambiental da operação. A regulação do fluxo de água para geração de energia tem consequências diretas nos ecossistemas do Baixo São Francisco, incluindo a erosão das margens, a perda de biodiversidade e a alteração dos ciclos de vida de espécies aquáticas. A gestão da vazão liberada precisa equilibrar as necessidades de geração de energia com o uso múltiplo da água, como irrigação, abastecimento humano e a sobrevivência do ecossistema ribeirinho (MME, 2024a).

Em termos de oportunidades de modernização, a UHE Xingó pode se beneficiar de investimentos em tecnologia de monitoramento e manutenção. A idade de suas unidades geradoras exige um plano de revitalização contínuo para manter a eficiência e a confiabilidade. A introdução de softwares e sensores avançados pode otimizar o desempenho das turbinas, maximizando a geração com as vazões disponíveis, além de estender a vida útil dos equipamentos (EPE, 2024).

A UHE Xingó também possui um papel estratégico no desenvolvimento do turismo regional. Sua estrutura imponente e o cânion do Rio São Francisco atraem milhares de visitantes, gerando receitas para municípios de Sergipe e Alagoas. A sinergia

entre a operação da usina e o fomento ao ecoturismo e turismo de aventura representa uma oportunidade de diversificação econômica para a região (SERGIPE, 2024).

A gestão integrada dos reservatórios do Rio São Francisco apresenta uma oportunidade regulatória e operacional. A otimização da operação das usinas de Paulo Afonso, Sobradinho e Xingó, sob uma visão de bacia hidrográfica, pode garantir um uso mais eficiente da água, mitigando os impactos da seca e maximizando a geração hídrica total do complexo. Essa coordenação depende de um esforço conjunto entre a CHESF, o ONS e a Agência Nacional de Águas (ANA, 2023).

Um desafio estrutural de longo prazo é a siltagem (assoreamento) e a qualidade da água no reservatório. O acúmulo de sedimentos e a poluição proveniente de áreas a montante podem, ao longo do tempo, reduzir a capacidade útil de armazenamento e afetar a eficiência das turbinas. Programas de recuperação de bacia e de controle de efluentes são essenciais para preservar a funcionalidade hidráulica de Xingó (CHESF, 2024).

A UHE Xingó é uma infraestrutura de geração de energia vital para o Nordeste, oferecendo energia firme e renovável com grande capacidade instalada. Contudo, seu futuro operacional está intrinsecamente ligado aos desafios da gestão hídrica e da crise climática. A maximização de suas oportunidades – seja por modernização tecnológica, fomento ao turismo ou gestão integrada do rio – exige um planejamento estratégico que equilibre a necessidade de geração de energia com a sustentabilidade ambiental e socioeconômica do Rio São Francisco (MME, 2024; ONS, 2024).

A análise da Segurança Hídrica-Energética no Nordeste sob a ótica da vulnerabilidade de Xingó e do São Francisco frente às mudanças climáticas reforça que a migração acelerada para as fontes solar e eólica não é apenas uma opção ambiental, mas uma necessidade estratégica para garantir a continuidade do desenvolvimento regional e a estabilidade do suprimento elétrico.

4.2.1.4.Solar fotovoltaica

Devido à alta irradiação solar, Sergipe apresenta crescimento tanto em geração centralizada quanto distribuída. Exemplos como a usina da DESO, que gerou milhões de kWh em 2024, ilustram o avanço da tecnologia e sua contribuição à sustentabilidade e redução de custos no setor.

A Geração Distribuída (GD), impulsionada principalmente pela fonte solar fotovoltaica (FV), representa um dos vetores de maior crescimento no setor elétrico brasileiro e tem apresentado uma expansão notável no Estado de Sergipe. O crescimento da GD em Sergipe é reflexo de uma combinação de fatores, incluindo alta irradiação solar,

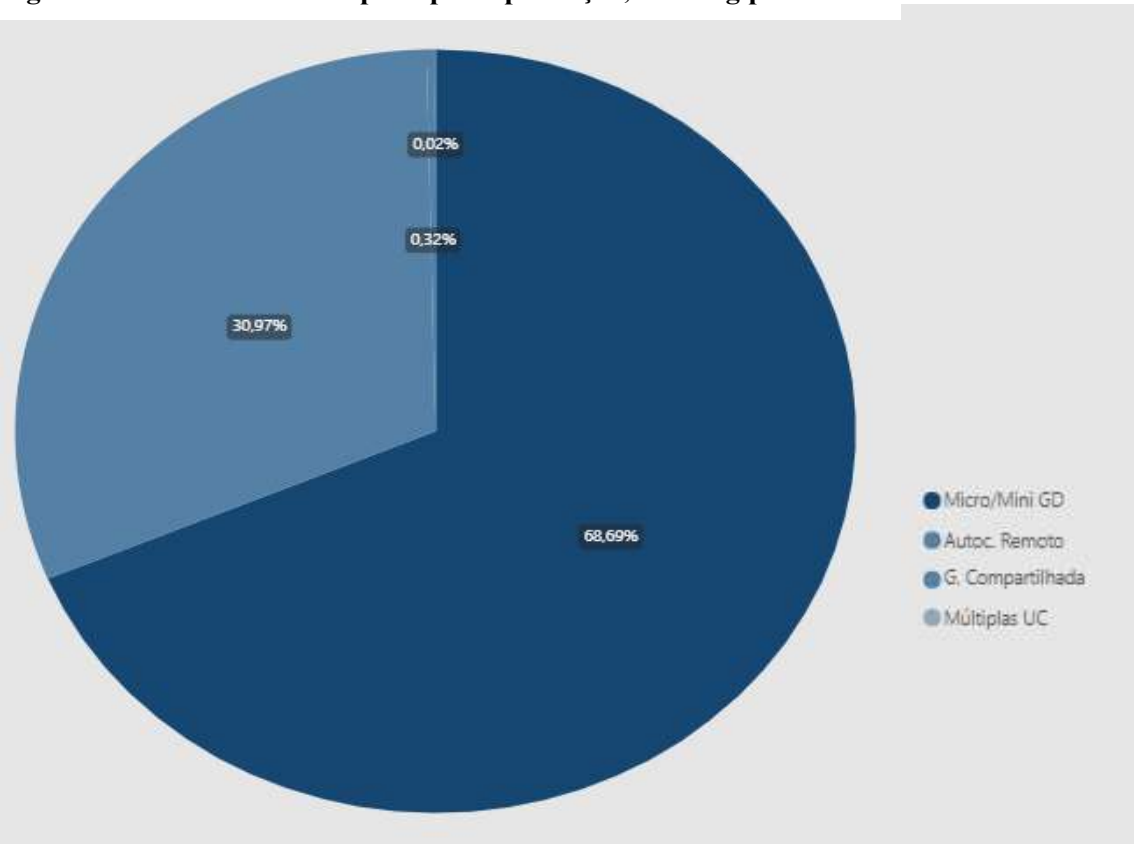
incentivos regulatórios federais (como a Resolução Normativa 482/2012 e a Lei 14.300/2022) e a busca por economia na fatura de energia elétrica por consumidores de todos os portes.

Em termos de características geográficas e climáticas, Sergipe possui um potencial solar significativo. O Estado está localizado em uma região com altos índices de irradiação solar global, o que se traduz em um alto Fator de Capacidade para projetos fotovoltaicos. Essa irradiação abundante e relativamente constante ao longo do ano garante uma excelente produtividade energética dos sistemas instalados, tornando o investimento em GD FV altamente atrativo em comparação com outras regiões do país.

A situação atual da capacidade instalada é um indicador fundamental do sucesso da GD no Estado. Sergipe ultrapassou, no final de 2024, a marca de 220 MW de potência instalada em Geração Distribuída, um marco que reflete a adesão crescente de residências, comércios, indústrias e propriedades rurais. Essa potência é quase totalmente dominada pela tecnologia solar fotovoltaica, seja em sistemas instalados em telhados (*rooftop*) ou em pequenas usinas de solo (mini/microgeração).

Conforme Figura 6, verifica-se que a produção de 151,1 MW é oriunda de mini/microgeração, enquanto 68,1 MW é oriunda da modalidade autoconsumo remoto (FGV, 2025).

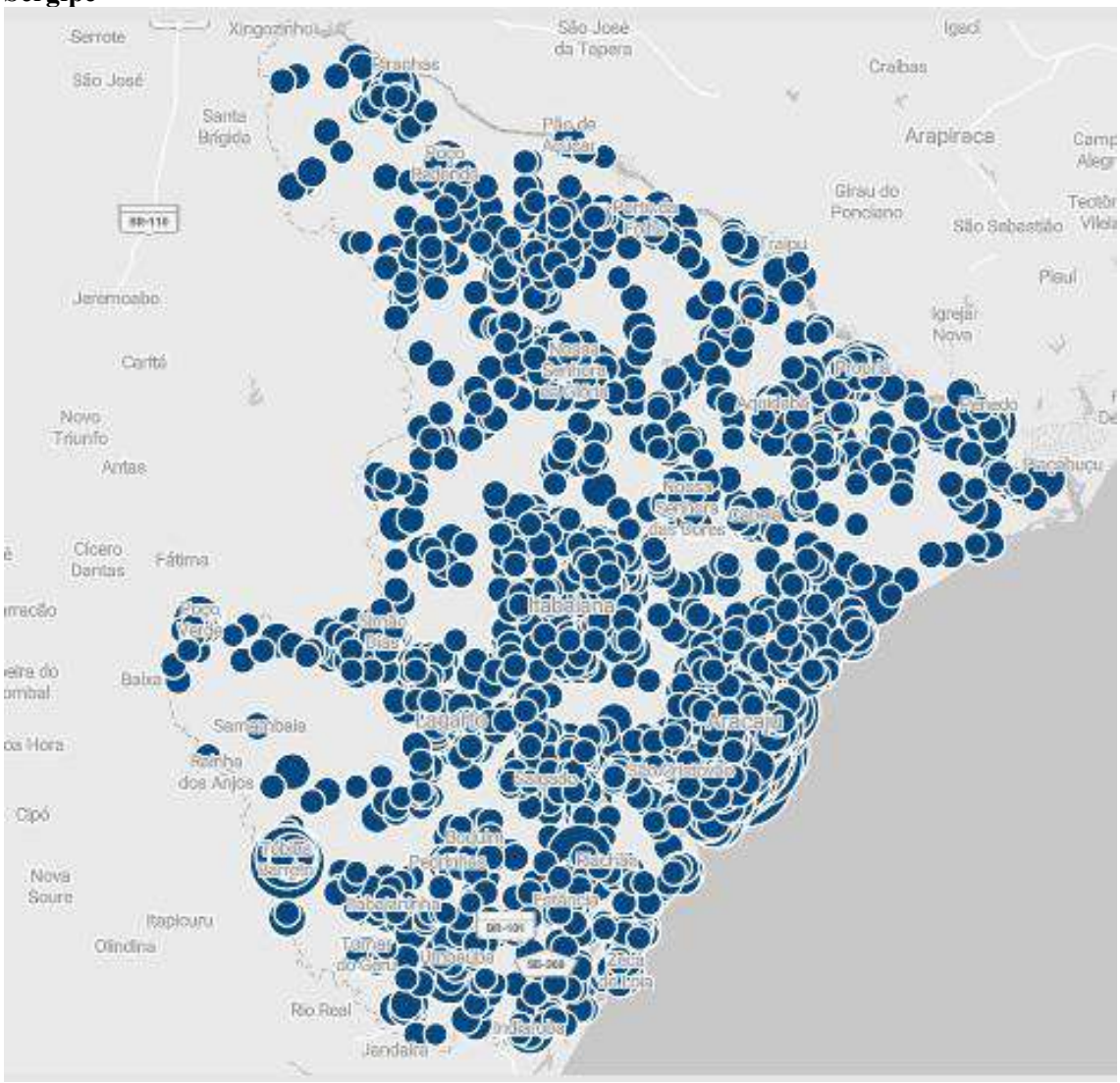
Figura 6: Potência instalada por tipo de produção, em Sergipe



Fonte: FGV, 2025.

A Figura 7 mostra que, apesar de existirem empreendimentos de Geração Distribuída espalhados por todo o Estado, verifica-se que existe uma concentração maior na capital, Aracaju, e no seu entorno (FGV, 2025).

Figura 7: Distribuição Geográfica dos Empreendimentos de Geração Distribuída, em Sergipe



Fonte: FGV, 2025.

A distribuição dessa capacidade instalada em Sergipe, tipicamente, segue o padrão nacional, onde a maior parte da potência está concentrada em sistemas de microgeração (sistemas com potência instalada menor ou igual a 75 kW), instalados em telhados de residências e pequenos comércios. Contudo, há também uma expansão expressiva da minigeração (sistemas com potência acima de 75 kW e até 5 MW), que atende a indústrias, grandes varejistas e é utilizada em consórcios ou empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, como o modelo de Geração Compartilhada.

No que tange às classes de consumo, o setor Comercial e de Serviços tem sido o principal motor da demanda por GD em Sergipe, impulsionado pela alta tarifa de energia e pelo consumo concentrado durante o dia, que coincide com o pico de geração solar. O setor Residencial também contribui expressivamente, buscando reduzir a conta de luz e valorizar o imóvel. Já o setor Industrial, embora represente um potencial alto, adota a GD em menor proporção devido ao seu elevado consumo e à preferência por soluções de maior porte.

De forma geral, pode-se afirmar que a Geração Distribuída Solar Fotovoltaica em Sergipe está em uma fase de consolidação e crescimento acelerado. Impulsionado pela alta irradiação solar e pela busca por redução de custos, o setor enfrenta o desafio da adaptação ao novo marco regulatório e a necessidade de investimentos contínuos na rede elétrica local. Contudo, o potencial do mercado, a atração de investimentos e a geração de empregos no campo da energia limpa confirmam a GD como um pilar estratégico para a economia sergipana.

4.2.1.5.Eólica

A matriz de geração de energia elétrica em Sergipe é, notavelmente, dominada pelas fontes hidrelétrica (UHE Xingó) e termelétrica a gás (UTE Porto de Sergipe I), relegando a energia eólica a uma participação periférica no cenário de geração centralizada *onshore*. O Estado, diferentemente dos seus vizinhos do Nordeste (como Rio Grande do Norte e Ceará), não se consolidou como um *hub* eólico.

A capacidade instalada eólica *onshore* existente em Sergipe é extremamente modesta. Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) confirmam que o Estado possui um único parque eólico em operação, localizado no município de Barra dos Coqueiros, com uma potência total instalada que o coloca entre os menores produtores eólicos do país.

A contribuição de Sergipe para a potência eólica nacional é, portanto, marginal. Enquanto o Nordeste concentra mais de 90% da geração eólica do Brasil, a participação de Sergipe nesse total é muito pequena. Essa baixa representatividade reflete desafios históricos de logística, atratividade de leilões e priorização de outras fontes, apesar de o Estado possuir áreas com potencial eólico terrestre comprovado em estudos de georreferenciamento.

4.2.1.6.Biomassa e biogás/biometano

A geração de energia elétrica a partir de biomassa em Sergipe, historicamente vinculada ao setor sucroenergético, apresenta uma situação de capacidade instalada de relativa modéstia no cenário nacional, embora seja uma fonte renovável relativamente significativa no Estado. A produção energética ocorre primariamente através da queima do bagaço da cana-de-açúcar, um subproduto agroindustrial que fornece estabilidade e previsibilidade na safra.

A capacidade instalada atual de biomassa em Sergipe, conforme dados da ANEEL e do Sistema de Informações de Geração (SIGA), é limitada a poucas Unidades Geradoras (UGs) conectadas à rede de transmissão, tipicamente associadas a usinas de açúcar e álcool (UNICADATA, 2025).

A principal fonte de biomassa utilizada para a geração em Sergipe é o bagaço da cana-de-açúcar. A produção de bioeletricidade é sazonal, concentrando-se nos períodos de safra da cana, geralmente entre setembro e março, o que a torna uma fonte de geração de relativa importância para o Sistema Interligado Nacional (SIN) durante o período de estiagem das hidrelétricas do Sudeste e Centro-Oeste (EPE, 2024).

Não há, no momento, o registro de grandes projetos termelétricos dedicados à biomassa de outras fontes em Sergipe que a coloquem em patamar de destaque nacional. Os empreendimentos de biomassa no Estado são majoritariamente de autoconsumo com excedente exportado para a rede.

Já a capacidade instalada atual de Biogás/Biometano em Sergipe é, segundo dados da ANEEL e de levantamentos setoriais, extremamente baixa, não havendo grandes plantas em operação comercial registradas que exportem volume significativo de biometano para a rede de gás canalizado. A maioria das iniciativas existentes restringe-se, ou se restringia, a projetos de micro e minigeração distribuída ou de aproveitamento térmico para consumo próprio, sem grande impacto na capacidade centralizada.

De acordo com dados da ABIOGÁS (2023), Sergipe conseguiu reduzir a emissão de 5 milhões de t CO2eq, gerando mais de 8 mil empregos e geração de 0,6 bilhão de m³ de biogás (ver Figura 8).

Figura 8: Redução de emissões de GEE e geração de emprego na cadeia do biogás, por ano



Fonte: Extraído de ABIOGÁS, 2023.

4.2.1.7.Hidrogênio verde

O Estado de Sergipe, embora possua um histórico consolidado na exploração de hidrocarbonetos, está em uma fase de transição e de forte planejamento estratégico para se posicionar como um *hub* de Hidrogênio Verde (H2V) no Nordeste brasileiro. Contudo, é fundamental ressaltar que a capacidade instalada existente para geração de H2V no Estado é nula ou incipiente em escala industrial, restringindo-se a projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em laboratório. Em tempo, hidrogênio verde é o hidrogênio produzido de forma sustentável, utilizando a quebra da molécula de água (H_2O) por meio da eletrólise com energia de fontes renováveis, como solar, eólica e hidrelétrica.

Apesar disso, vale destacar que o Estado já possui a Lei nº 9.364, de 2024, que estabelece o objetivo de inserir o hidrogênio verde como vetor energético. Estudos apontam que Sergipe apresenta potencial para produzir hidrogênio verde estimado em até 1 Mton/ano por meio de eólica *onshore* e 24 Mton/ano via solar fotovoltaica.

4.2.2. INFRAESTRUTURA GERAL DISPONÍVEL PARA A OFERTA DE ENERGIA EM SERGIPE

A ampliação da diversidade da matriz energética compõe pauta prioritária, motivando investimentos públicos e privados direcionados às fontes renováveis. Ainda que os potenciais solar e eólico estejam em estágio inicial de exploração se comparados a outras regiões do Brasil, ambos já atraem projetos promissores. Viabilizar a integração dessas fontes requer aportes em infraestrutura de transmissão, distribuição e soluções tecnológicas para armazenamento.

A análise setorial deve considerar também as tendências internacionais de descarbonização e crescente demanda por energia limpa, permitindo que Sergipe busque protagonismo na transição energética, potencializando sua expertise em combustíveis fósseis para fomentar tecnologias renováveis inovadoras.

4.2.2.1.Infraestrutura elétrica

A infraestrutura elétrica de Sergipe é um componente vital para o seu desenvolvimento, permitindo o escoamento da grande capacidade de geração do Estado e o atendimento da demanda local. Sua complexidade envolve desde as linhas de transmissão de alta voltagem, que conectam as grandes usinas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), até as redes de distribuição capilares que levam energia aos consumidores

finais. A resiliência e a eficiência dessa infraestrutura são cruciais para a estabilidade econômica e para a qualidade de vida da população.

A infraestrutura elétrica de Sergipe, atualmente, é caracterizada por uma rede de distribuição robusta, que atende aos níveis de carga e consumo presentes no Estado. Essa rede demonstra grande densidade em perímetros urbanos. Adicionalmente, as distribuidoras de eletricidade que atuam no Estado, Energisa e Sulgipe, são bem avaliadas pelos consumidores, ocupando a 12ª e 2ª posições, respectivamente, em satisfação, e apresentando notas superiores à média nacional nos índices de qualidade da ANEEL. Esses indicadores sugerem que o Estado não possui problemas estruturais significativos de conexão, acesso ou qualidade de energia nas áreas de distribuição.

A rede de transmissão de Sergipe é caracterizada por linhas de alta e extra-alta tensão que escoam a energia gerada, principalmente pelas termelétricas a gás natural, para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Essa rede é estratégica para o Brasil, pois Sergipe atua como um exportador líquido de energia, contribuindo para a segurança do abastecimento em outras regiões. As subestações de transmissão são pontos-chave para a elevação ou rebaixamento da tensão e para a interconexão com outras áreas. A robustez dessa infraestrutura é essencial para a confiabilidade do sistema como um todo (MME, 2023).

A capacidade de transmissão de Sergipe tem sido ampliada ao longo dos anos para acompanhar o aumento da geração e a integração de novas fontes. Projetos de expansão de linhas e subestações são contínuos, visando fortalecer a conexão do Estado com o SIN e garantir o escoamento eficiente da energia produzida. A manutenção preventiva e corretiva dessas instalações é crucial para evitar falhas e interrupções no fornecimento (CANAL ENERGIA, 2023).

A rede de distribuição, por sua vez, é responsável por levar a energia das subestações de transmissão até os consumidores finais em baixa e média tensão. Essa rede é mais capilar, abrangendo áreas urbanas e rurais, e é composta por postes, cabos, transformadores e medidores. A qualidade da distribuição impacta diretamente a vida dos cidadãos e o funcionamento de indústrias e comércios. A concessionária de distribuição local é a principal responsável pela operação e manutenção dessa rede (ANEEL, 2025).

A análise da rede de distribuição em Sergipe revela desafios como a necessidade de modernização e automação para melhorar a qualidade do serviço e reduzir perdas. A expansão da rede para atender novas áreas e o crescimento da demanda também são constantes. A poda de árvores, a manutenção de equipamentos e a resposta rápida a

ocorrências são fundamentais para garantir a continuidade do fornecimento e a segurança da população (ANEEL, 2025).

A integração de fontes de geração distribuída, como a energia solar fotovoltaica em telhados, tem adicionado uma nova complexidade à rede de distribuição. A capacidade da rede de absorver essa geração e gerenciar o fluxo bidirecional de energia é um desafio que exige investimentos em tecnologias de redes inteligentes (*smart grids*) e na modernização dos sistemas de controle. Mas, enquanto os ajustes não ocorrem (na velocidade necessária), o país tem enfrentado o que se chama de "*curtailment*", que pode ser traduzido como redução ou corte de energia. O significado é simples: cortes programados na geração de energia renovável, devido à limitação de inserção de energia na rede (INVEST NEWS, 2025).

As causas, de forma geral, podem ser agrupadas em duas categorias: limitações da rede ou considerações econômicas. No entanto, especialistas no tema argumentam que a lista de causas do *curtailment* inclui desde a existência de soluções precárias de armazenamento até a infraestrutura limitada de transmissão, passando ainda por condições desfavoráveis de oferta e demanda. Compreender as causas e consequências do *curtailment* é fundamental para identificar soluções eficazes para o problema (INVEST NEWS, 2025).

Outro problema são as perdas técnicas e não técnicas na rede de distribuição, que precisam ser combatidas. As perdas técnicas estão relacionadas à resistência dos cabos e equipamentos, enquanto as perdas não técnicas envolvem furtos e fraudes. A redução dessas perdas é um objetivo contínuo, pois impacta a eficiência do sistema e o custo final da energia para o consumidor (FGV, 2025).

A regulação do setor elétrico desempenha um papel fundamental na análise da rede de transmissão e distribuição. As agências reguladoras estabelecem padrões de qualidade, tarifas e metas de desempenho para as concessionárias, incentivando investimentos e a melhoria contínua dos serviços. A fiscalização e o acompanhamento desses indicadores são essenciais para garantir a conformidade e a proteção dos interesses dos consumidores (FGV, 2025).

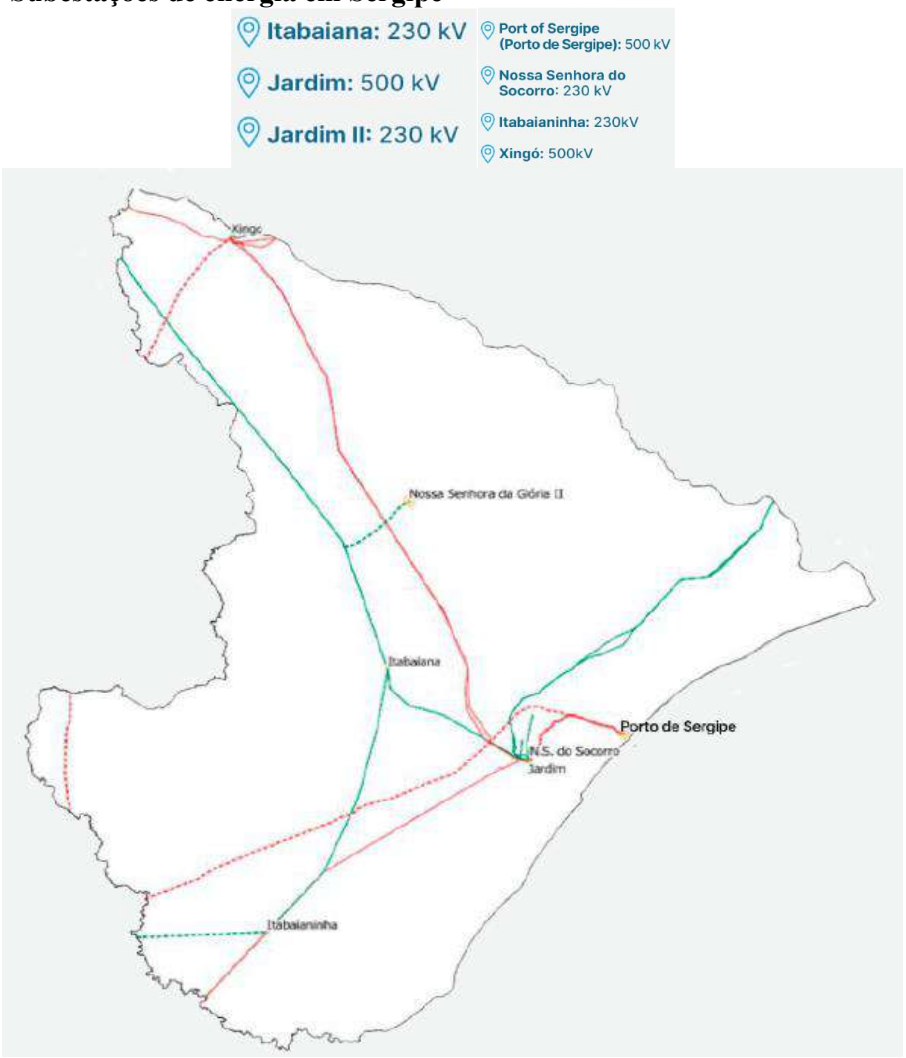
A segurança operacional da infraestrutura elétrica é uma prioridade. A implementação de protocolos de segurança, o treinamento de equipes e a utilização de tecnologias avançadas para monitoramento e controle são cruciais para prevenir acidentes e garantir a integridade dos trabalhadores e da população. A conscientização sobre os riscos da eletricidade também é um fator importante (FGV, 2025).

Analisando-se de forma mais aprofundada a rede de transmissão e distribuição em Sergipe, verifica-se a complexidade e a importância dessa infraestrutura para o desenvolvimento do Estado. A capacidade de geração e o consumo demandam um sistema robusto e eficiente, que seja capaz de se adaptar às novas tecnologias e aos desafios de um cenário energético em constante evolução.

No que tange à rede de transmissão, Sergipe conta com linhas de alta tensão importantes, como a LT 500 kV Xingó – Jardim (C1 e C2), e subestações cruciais como a SE Xingó, SE Itabaiana, SE Itabaianinha e SE Jardim, operadas por concessionárias como a CHESF e LEST. Outras linhas notáveis incluem a LT 230 kV Paulo Afonso III – Itabaiana (C1 e C2) e a LT 500 kV UTE Porto de Sergipe I – Jardim (C1|2), que conectam o Estado a importantes centros de geração e consumo (MME, 2023).

Essa malha de transmissão, que pode ser vista na Figura 9, é considerada estratégica e pode ser fundamental para suprir a demanda futura de energia elétrica, especialmente para a produção de hidrogênio verde.

Figura 9: Subestações de energia em Sergipe



Fonte: MME, 2025.

Para o futuro próximo, Sergipe tem investimentos significativos planejados no setor elétrico. Na distribuição de energia elétrica, estão previstos R$ 1,1 bilhão entre 2025 e 2028, conforme os Planos de Desenvolvimento da Distribuição (PDD) das concessionárias Energisa e Sulgipe. Na transmissão de eletricidade, as obras listadas, como a SE Nossa Senhora da Glória e a LT Xingó-Camaçari, somam investimentos totais na ordem de R$ 1,35 bilhão. Além disso, novas infraestruturas estão em fase de planejamento, como a SE Nossa Senhora da Glória II e a LT 230 kV Olindina - Itabaianinha, com operação prevista para 2026 (FGV, 2025).

Um dos maiores motores para a expansão da infraestrutura elétrica será a instalação de Data Centers no Estado. Um acordo entre o Governo de Sergipe e a empresa Optimus prevê a instalação de 150 MW em data centers nos primeiros três anos, com uma projeção de expansão para até 2 GW em oito anos. A previsão é que esses centros sejam instalados na Zona de Processamento para Exportação (ZPE), o que demandará uma infraestrutura elétrica robusta para atender a essa carga maciça. A demanda global por eletricidade de data centers deve dobrar até 2030, superando o aumento de demanda da indústria pesada e da eletrificação dos transportes (SEDETEC, 2025).

Além dos data centers, as tendências globais de eletrificação de processos industriais, demandas térmicas e transporte também impulsionarão uma grande expansão da demanda por eletricidade em Sergipe. O Estado, sendo o menor da federação, é visto como um seguidor dessas tendências, o que exigirá a adaptação de suas redes elétricas. Em 2025, Sergipe já conta com uma frota de mais de três mil veículos elétricos/eletrificados (incluindo híbridos) e mais de 90 pontos de carregamento, e a projeção para 2034 indica uma frota de cerca de quatro milhões de veículos elétricos e híbridos no Brasil, o que criará novos modelos de negócios e a necessidade de uma gestão de redes mais sofisticada.

A produção de hidrogênio verde é outra área com potencial significativo que demandará uma infraestrutura elétrica robusta. Sergipe tem um potencial técnico para produzir 1 Mton/ano de hidrogênio verde a partir de energia eólica *onshore* e 24 Mton/ano a partir de energia solar fotovoltaica. Para viabilizar essa produção, a existência de linhas de transmissão e subestações importantes no Estado é crucial para suprir o gargalo de fornecimento de energia elétrica. A infraestrutura de transporte de hidrogênio e seus derivados também será necessária, com a faixa costeira e o porto, além da ZPE, sendo estratégicos para exportação e importação de equipamentos (FGV, 2025).

4.2.2.2.Pontos de vulnerabilidade e necessidades de expansão

Apesar da robustez geral da infraestrutura elétrica de Sergipe, existem pontos de vulnerabilidade e necessidades de expansão que merecem atenção para garantir a segurança e a confiabilidade do sistema a longo prazo. Um dos principais pontos de vulnerabilidade está na concentração da geração em grandes termelétricas a gás natural. Embora essas usinas ofereçam flexibilidade e segurança, uma falha em uma dessas grandes plantas ou uma interrupção no fornecimento de gás pode ter um impacto significativo no balanço energético do Estado e do SIN.

A dependência de poucas linhas de transmissão de alta tensão para o escoamento da energia gerada também pode ser considerada um ponto de vulnerabilidade. Em caso de falha ou manutenção programada em uma dessas linhas, a capacidade de exportação de energia pode ser comprometida, afetando a estabilidade do sistema nacional. A duplicação de circuitos e a diversificação de rotas de transmissão são estratégias para mitigar esse risco.

Nas redes de distribuição, os pontos de vulnerabilidade frequentemente se manifestam na qualidade do fornecimento para áreas mais afastadas ou com menor densidade populacional. A infraestrutura pode ser mais antiga, com equipamentos desgastados, e mais suscetível a interrupções causadas por intempéries climáticas, como fortes chuvas e ventos. A falta de redundância em algumas áreas também pode levar a longos períodos sem energia em caso de falha.

A necessidade de expansão da infraestrutura elétrica em Sergipe é contínua, impulsionada pelo crescimento da demanda em todos os setores. O desenvolvimento de novos empreendimentos industriais, a expansão urbana e o aumento do consumo residencial exigem investimentos constantes em novas subestações, linhas de transmissão e redes de distribuição. A falta de planejamento adequado ou a lentidão na execução desses projetos podem gerar gargalos e comprometer o desenvolvimento do Estado.

A integração de novas fontes de energia renovável, como a solar e a eólica, também demanda expansão e adaptação da rede. Muitas vezes, essas fontes estão localizadas em áreas com infraestrutura elétrica limitada, exigindo a construção de novas linhas de transmissão e subestações para escoar a energia gerada. A rede precisa ser mais "inteligente" para gerenciar a intermitência dessas fontes e garantir a estabilidade do sistema.

A automação e a digitalização da rede de distribuição são necessidades prementes para melhorar a qualidade do serviço e reduzir as perdas. A instalação de medidores inteligentes, sensores e equipamentos de monitoramento remoto permite

identificar e resolver falhas mais rapidamente, além de otimizar o fluxo de energia. A modernização tecnológica é crucial para aumentar a resiliência da rede contra distúrbios e ataques cibernéticos.

O envelhecimento de parte da infraestrutura elétrica é um desafio constante. Equipamentos antigos demandam mais manutenção e são mais propensos a falhas. A substituição e a modernização de ativos são investimentos necessários para garantir a longevidade e a eficiência do sistema. O planejamento de longo prazo deve incluir um programa de renovação e atualização tecnológica.

A segurança cibernética também emerge como um ponto de vulnerabilidade em um cenário de crescente digitalização da infraestrutura elétrica. Sistemas de controle e automação são alvos potenciais de ataques, que podem comprometer a operação e a segurança do fornecimento de energia. Investimentos em cibersegurança e em protocolos de defesa são essenciais para proteger a rede.

4.2.2.3. As mudanças climáticas e as vulnerabilidades da infraestrutura elétrica em Sergipe

A adaptação às mudanças climáticas é uma necessidade crescente. Eventos climáticos extremos, como tempestades e inundações, podem causar danos significativos à infraestrutura elétrica, resultando em interrupções prolongadas. A construção de infraestrutura mais resiliente e a implementação de planos de contingência são medidas importantes para mitigar esses riscos.

Os pontos de vulnerabilidade na infraestrutura elétrica de Sergipe incluem a concentração da geração, a dependência de poucas rotas de transmissão e o envelhecimento de parte da rede de distribuição. As necessidades de expansão são impulsionadas pelo crescimento da demanda, pela integração de renováveis e pela busca por maior resiliência e modernização tecnológica.

A modernização da infraestrutura de distribuição é fundamental para lidar com a crescente Geração Distribuída (GD). Embora Sergipe tenha uma capacidade instalada de GD significativa, superando a geração centralizada de outras renováveis, a rede de distribuição precisa ser modernizada para suportar fluxos bidirecionais e novos modelos de negócios. Atualmente, os sistemas existentes podem não ser totalmente compatíveis com esse novo cenário, o que demanda um planejamento estratégico que, por sua vez, depende da regulação federal.

As baixas tarifas de eletricidade em Sergipe, embora benéficas para os consumidores, são um desafio para maior atratividade de investimentos em Geração Distribuída, pois impactam o tempo de retorno financeiro. Além disso, a não captura dos benefícios sistêmicos da GD – onde o aumento do consumo dos usuários pode levar a contínuas necessidades de investimentos em subestações e linhas, e problemas de tensão ou inversão de fluxo – representa uma vulnerabilidade para o planejamento e a gestão da rede. A dependência do quadro regulatório nacional para a valorização desses benefícios sistêmicos e o desenvolvimento de novos modelos de negócios (como o modelo DSO - *Distribution System Operator*) também é um desafio.

Apesar dos avanços e planejamentos, o Estado de Sergipe ainda enfrenta desafios clássicos de infraestrutura. É necessário um planejamento adequado para a expansão da rede de transmissão, que sincronize com o licenciamento ambiental e o desenvolvimento de capacidades locais. A ausência de uma visão estratégica integrada para as diversas infraestruturas (elétrica, gás, ferrovias, portos, telecomunicações) é uma vulnerabilidade que impede a maximização da atratividade de projetos para o Estado (FGV, 2024).

Sergipe possui uma infraestrutura elétrica de distribuição robusta e uma malha de transmissão relevante, com investimentos planejados para sua expansão. No entanto, o Estado precisa superar o desafio da falta de uma visão estratégica integrada de infraestrutura e investir na modernização da rede de distribuição para suportar a crescente demanda de data centers, a eletrificação e a produção de hidrogênio verde.

A oportunidade reside em transformar Sergipe em uma referência nacional para "redes do futuro", aproveitando sua escala reduzida para prototipar soluções inovadoras e aprimorar o marco regulatório para atrair mais investimentos e capturar os benefícios da transição energética. O investimento contínuo e um planejamento estratégico robusto são cruciais para superar esses desafios e garantir um futuro energético seguro e eficiente para Sergipe.

4.2.3. ANÁLISE DA DEMANDA ENERGÉTICA POR SEGMENTO/SETOR

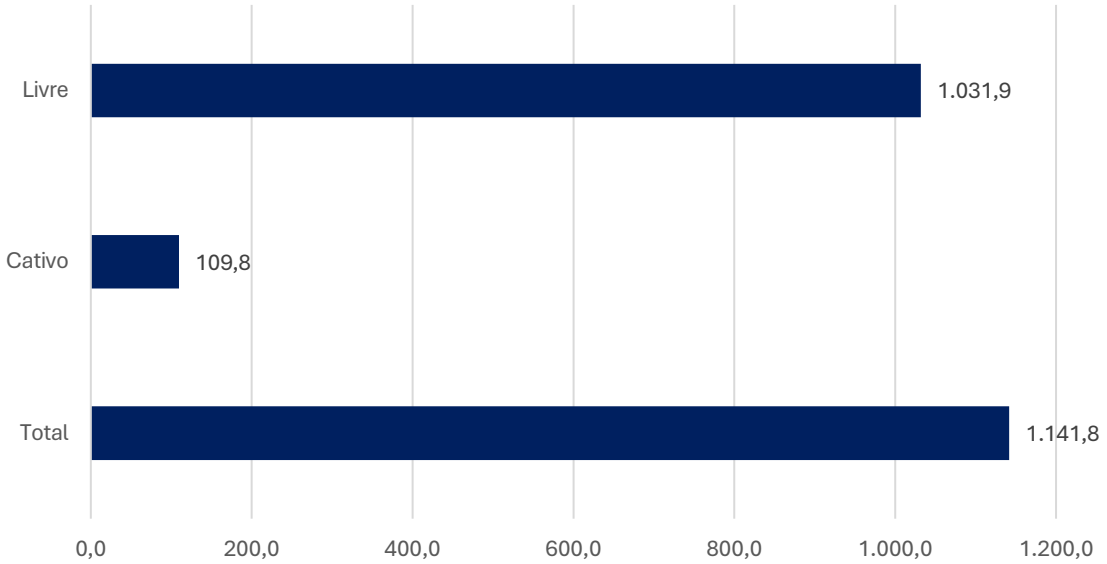
A demanda energética em Sergipe é um reflexo do seu desenvolvimento econômico e social, com diferentes setores contribuindo para o consumo total de eletricidade e outros combustíveis. A compreensão da distribuição dessa demanda por setor é essencial para o planejamento da expansão da infraestrutura e para a implementação de políticas de eficiência energética. É importante destacar que o Estado é um grande gerador e que sua demanda interna é menor que a sua produção, permitindo o superávit energético.

4.2.3.1.Demanda energética do setor industrial

O setor industrial é um dos maiores consumidores de energia em Sergipe, impulsionado por segmentos como o petroquímico, cimenteiro e alimentício. A presença de grandes indústrias, algumas delas eletrointensivas, exige um suprimento energético confiável e de qualidade. A demanda industrial é frequentemente associada a processos produtivos contínuos, o que a torna relativamente estável, mas sensível a variações na atividade econômica e a projetos de expansão industrial.

Ao se analisar o consumo de energia elétrica do setor, verifica-se que ele utilizou o total de 1.141,8 GWh, em 2024, sendo que a maior parte da energia (mais de 90%) é oriunda do mercado livre, enquanto menos de 10% vem do mercado cativo (Figura 10).

Figura 10: Consumo de energia elétrica do setor industrial, por tipo de consumidor, em 2024 - SE (GWh)



Fonte: Adaptado de EPE, 2025.

Outra fonte energética importante para o setor industrial sergipano é o gás natural, que atendeu 56 unidades usuárias em 2024, as quais consumiram mais de 80 milhões de m³, significando um crescimento de aproximadamente 4,8%, em relação ao consumo do ano anterior.

Tabela 1: Volume Comercializado e Nº de Unidades Usuárias de Gás Natural do Segmento Industrial – SE / 2023 e 2024

VARIÁVEL	2023	2024	VAR.%	VAR (ABSOLUTA)
Volume (mil m³)	76.420	80.075,00	4,78%	3.655
Unidades Usuárias	55	56	1,82%	1

Fonte: Adaptado de Sergas, 2025.

4.2.3.2.Demanda energética do setor residencial

O setor residencial representa uma parcela significativa da demanda de energia elétrica em Sergipe. O crescimento populacional e a melhoria das condições de vida, com a aquisição de eletrodomésticos e equipamentos eletrônicos, impulsionam o consumo domiciliar. A demanda residencial é caracterizada por picos de consumo em horários específicos, como no início da noite, e é influenciada por fatores climáticos, como o uso de aparelhos de ar-condicionado em períodos de calor intenso.

O segmento residencial sergipano consumiu 1.608,3 GWh, em 2024, sendo responsável por aproximadamente 38,3% do consumo total da energia elétrica, no Estado, não havendo consumidor livre nesta categoria. O consumo médio por consumidor foi de 143 kWh.

Já em relação ao consumo de gás natural, verifica-se que esta fonte energética atendeu 44.746 lares sergipanos, em 2024, significando um crescimento de 10,3% na comparação com 2023. Analisando-se o volume consumido, é possível ver um crescimento de 7,6%, saltando de 3,1 milhões de m³, em 2023, para aproximadamente 3,4 milhões, em 2024.

Tabela 2: Volume Comercializado e Nº de Unidades Usuárias de Gás Natural do Segmento Residencial – SE / 2023 e 2024

VARIÁVEL	2023	2024	VAR. (%)	VAR (ABSOLUTA)
Volume (mil m³)	3.132	3.370,5	7,6%	239
Unidades Usuárias	40.582	44.746	10,3%	4.164

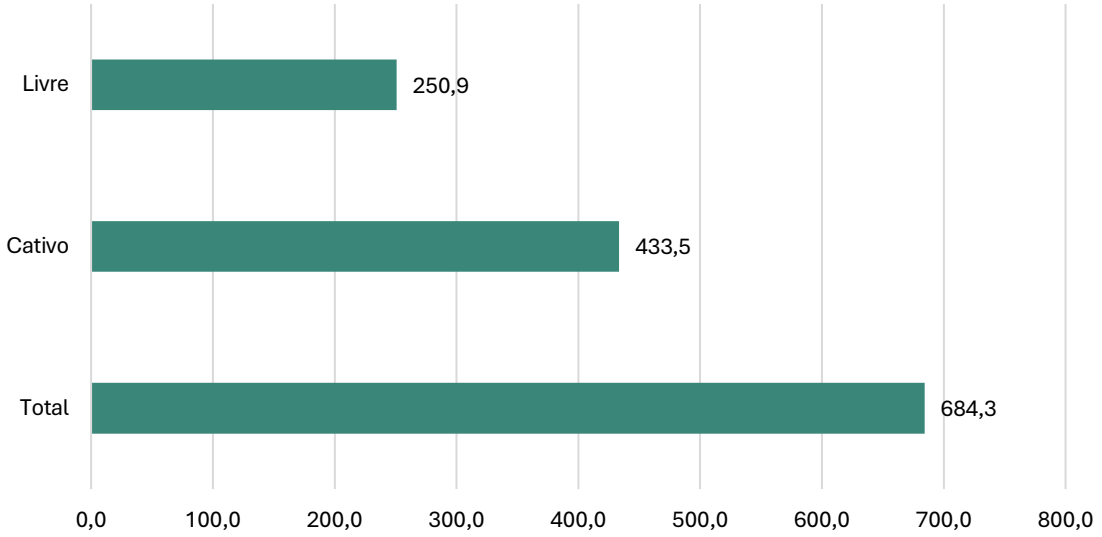
Fonte: Adaptado de Sergas, 2025.

4.2.3.3.Demanda energética do setor comercial

O setor comercial em Sergipe também contribui substancialmente para a demanda energética, abrangendo desde pequenos estabelecimentos até grandes centros de compras e escritórios. O consumo comercial está diretamente ligado à atividade econômica e aos hábitos de consumo da população. A iluminação, climatização e equipamentos eletrônicos são os principais motores da demanda neste setor, que tende a apresentar picos de consumo durante o horário comercial.

Ao se analisar o consumo de energia elétrica do setor, verifica-se que ele utilizou o total de 684,3 GWh, em 2024, sendo que a maior parte da energia (63,3%) é oriunda do mercado cativo, enquanto 36,7% vêm do mercado livre (ver Figura 11).

Figura 11: Consumo de energia elétrica do setor comercial, por tipo de consumidor, em 2024 - SE (GWh)



Fonte: Adaptado de EPE, 2025.

Já em relação ao consumo de gás natural, verifica-se que esta fonte energética atendeu 522 estabelecimentos comerciais sergipanos, em 2024, significando um crescimento de 13% na comparação com 2023. Analisando-se o volume consumido, é possível ver um crescimento de 12,8%, saltando de 2,1 milhões de m³, em 2023, para aproximadamente 2,4 milhões, em 2024.

Tabela 3: Volume Comercializado e Nº de Unidades Usuárias de Gás Natural do Segmento Comercial – SE / 2023 e 2024

VARIÁVEL	2023	2024	VAR.%	VAR (ABSOLUTA)
Volume (mil m³)	2.101	2.370,00	12,8%	269
Unidades Usuárias	462	522	13,0%	60

Fonte: Adaptado de Sergas, 2025.

4.2.3.4.Demanda energética do setor de transporte

Embora o setor de transporte utilize predominantemente combustíveis derivados de petróleo (gasolina, diesel), a eletrificação crescente de veículos, tanto públicos quanto privados, começa a impactar a demanda por eletricidade. A infraestrutura para carregamento de veículos elétricos e a expansão do transporte público eletrificado são tendências que já estão moldando a demanda neste setor.

A Tabela 4 apresenta a quantidade vendida, em m³, de diversos combustíveis no Estado de Sergipe ao longo de um período de seis anos, de 2019 a 2024. O volume total comercializado no Estado experimentou um crescimento constante após uma queda inicial em 2020, atingindo seu pico em 2024 com 1.050.578,13 m³.

Tabela 4: Volume Comercializado de Combustíveis em Sergipe, em m³ - 2019 a 2024

TIPO	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ETANOL HIDRATADO	54.119,4	40.584,9	36.890,2	32.982,2	33.878,4	57.598,2
GASOLINA C	380.080,4	357.524,1	366.043,7	381.713,8	418.885,7	435.829,8
GASOLINA DE AVIAÇÃO	49,1	47,4	38,4	25,3	20,1	40,7
GLP	124.496,5	128.988,6	124.504,9	136.240,3	143.454,1	145.847,8
ÓLEO COMBUSTÍVEL	252,1	1.754,9	574,5	250,6	238,1	425,8
ÓLEO DIESEL	314.675,7	306.868,8	319.516,1	375.742,6	381.135,4	394.360,2
QUEROSENE DE AVIAÇÃO	21.886,1	12.751,1	13.909,0	20.818,1	16.359,1	16.475,6
Total Geral	**895.559,1**	**848.519,8**	**861.476,8**	**947.772,9**	**993.970,8**	**1.050.578,1**

Fonte: ANP, 2024.

O combustível de maior volume comercializado em todo o período é, inequivocamente, a Gasolina C, que representa a maior fatia do mercado. Em 2024, suas vendas atingiram 435.829,75 m³, consolidando sua posição como o motor do consumo de combustíveis leves em Sergipe e refletindo a forte dependência do transporte individual.

Após quatro anos de estabilidade relativa e valores bem abaixo de seu pico de 2019, o Etanol Hidratado demonstrou um crescimento significativo em 2024, tendo sido vendido 57.598,17 m³. Esse aumento anual de mais de 70% em relação a 2023 é o mais notável do período analisado.

O Óleo Diesel, o segundo maior volume absoluto, seguiu uma curva de recuperação notável após a queda em 2020. Em 2024, o volume de 394.360,24 m³ supera o de 2023, 381.135,40 m³. Este dado é um forte indicador do nível da atividade econômica do Estado, especialmente nos setores de transporte de cargas, agricultura e indústria.

O GLP, essencialmente o gás de cozinha, demonstra uma curva de crescimento ininterrupta ao longo dos seis anos, passando de 124.496,26 m³ em 2019 para 145.847,80 m³ em 2024. A estabilidade no aumento do seu consumo sugere um aumento na demanda domiciliar e em pequenos comércios, sendo um indicador de necessidades básicas e consumo doméstico.

O ano de 2020, marcado pelo início da pandemia de COVID-19 e pelas restrições de mobilidade, registra o menor volume total da série, 848.519,81 m³. A partir de 2021, o mercado de combustíveis inicia uma recuperação vigorosa, evidenciada pelo crescimento sucessivo até 2024, sinalizando a normalização e o aquecimento da economia sergipana.

O Óleo Combustível (usado em indústrias e para geração de energia) apresenta volumes muito pequenos e extremamente voláteis. O pico atípico em 2020, de 1.754,94 m³, seguido por uma queda brusca nos anos seguintes, incluindo o volume de 425,82 m³ em 2024, pode estar relacionado a demandas específicas de plantas industriais ou à operação esporádica de usinas termoelétricas.

Os combustíveis de aviação mostram o impacto da crise sanitária. O Querosene de Aviação (QAV), com maior volume, sofreu quedas e se recupera lentamente, fechando 2024 com 16.475,62 m³, ainda abaixo dos volumes de 2019 e 2022.

Em 2024, a Gasolina C e o Óleo Diesel, somados, continuam a dominar o mercado, representando aproximadamente 79% do volume total de combustíveis vendidos no Estado. A estabilidade dessa alta participação confirma que o transporte rodoviário (leves e pesados) é o principal demandante de energia no mercado de Sergipe.

A variação de 2023 para 2024, com um aumento geral de 57.604,21 m³ no volume total, sugere que o crescimento do consumo de combustíveis em Sergipe não é apenas uma recuperação, mas sim uma tendência de expansão, impulsionada pelo aquecimento da economia local.

O volume total comercializado em 2024, de 1.050.578,13 m³, ultrapassa o marco de um milhão de m³ pela primeira vez na série. Este resultado positivo, com a combinação do forte crescimento da Gasolina, Diesel e do Etanol, estabelece uma base robusta para o mercado de combustíveis, projetando uma demanda ainda maior para o próximo ciclo, desde que as condições macroeconômicas sejam mantidas.

Apesar da predominância de veículos com motor a combustão, tem crescido de forma acelerada a quantidade de veículos em Sergipe que utilizam a eletricidade como fonte energética. A seguir são apresentadas as principais tecnologias registradas em Sergipe e suas principais características (Quadro 5).

Quadro 5: Principais tecnologias de carros eletrificados registrados em Sergipe e suas principais características

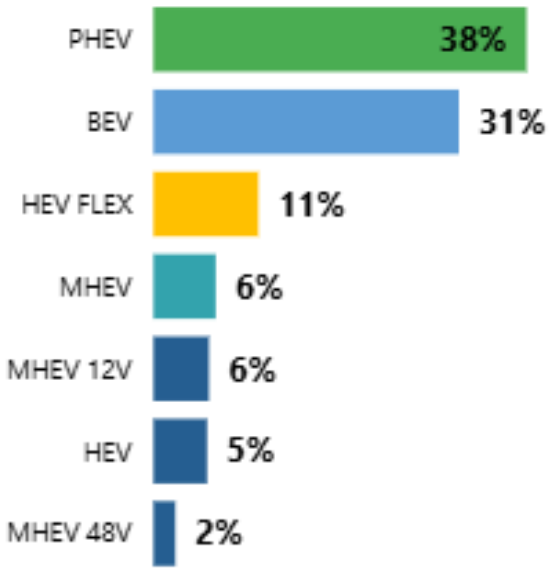
TECNOLOGIA (SIGLA)	NOME COMPLETO	PROPULSÃO	BATERIA	RECARGA EXTERNA (PLUG-IN)	VANTAGEM PRINCIPAL
MHEV	Híbrido Leve (*Mild Hybrid*)	Motor a Combustão (principal) + Motor Elétrico (somente auxílio).	Bateria pequena (normalmente 48V).	Não possui.	Melhora a eficiência e reduz emissões, funcionando como um auxílio ao motor a combustão.
HEV	Híbrido Elétrico (Híbrido Convencional)	Motor a Combustão (principal) + Motor	Bateria pequena.	Não possui.	Maior eficiência e economia de combustível sem depender de

TECNOLOGIA (SIGLA)	NOME COMPLETO	PROPULSÃO	BATERIA	RECARGA EXTERNA (PLUG-IN)	VANTAGEM PRINCIPAL
		Elétrico (auxiliar/pode mover o carro sozinho).			infraestrutura de recarga.
PHEV	Híbrido Elétrico Plug-in	Motor a Combustão + Motor Elétrico. Possui modo de condução 100% elétrico por distâncias significativas.	Bateria de média a grande capacidade.	Sim. (Em tomada, *wallbox* ou eletroposto).	Flexibilidade: Zero emissão no dia a dia (trajetos curtos) e autonomia total do motor a combustão para viagens longas.
BEV	Veículo Elétrico a Bateria (100% Elétrico)	Apenas Motor(es) Elétrico(s).	Bateria de alta capacidade (grande).	Sim. (Em tomada, *wallbox* ou eletroposto).	Zero emissão de poluentes no escapamento e custo de manutenção/operação mais baixo.

Fonte: Adaptado de ABVE, 2025.

Com uma frota de 3.133 veículos leves eletrificados registrados em Sergipe, até setembro de 2025 (levando-se em consideração todas as tecnologias existentes no Estado), é possível verificar, conforme imagem a seguir, que as tecnologias dominantes até o último dado disponível são Híbrido Elétrico Plug-in (38%) e Veículo Elétrico a Bateria (100% Elétrico), com uma participação de 31% (ABVE, 2025).

Figura 12: Participação das principais tecnologias de carros eletrificados registrados em Sergipe



Fonte: ABVE, 2025.

Apesar de já existirem veículos pesados (ônibus e caminhões) eletrificados no mercado brasileiro, ainda não existe nenhum registro oficial significativo deste tipo de veículo em Sergipe.

4.3. GÁS NATURAL E A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EM SERGIPE

4.3.1. DESAFIOS E OPORTUNIDADES CLIMÁTICAS

Conforme visto anteriormente, Sergipe é um ator de destaque no cenário energético nacional, notadamente em função de suas vastas reservas de gás natural. O Estado tem apostado nesse recurso como um pilar central para o seu desenvolvimento econômico e para a construção de um novo sistema energético. A exploração e produção do gás, intensificada por projetos como o Sergipe Águas Profundas (SEAP), são vistas como estratégias essenciais para impulsionar a industrialização e a segurança energética regional e até mesmo nacional (SERGIPE, 2024a).

Apesar de ser um combustível fóssil, o gás natural é amplamente considerado uma fonte de transição em escala global. Ele é percebido como menos poluente do que outras matrizes fósseis, como o carvão e o óleo diesel, devido à sua combustão mais limpa e à menor emissão de dióxido de carbono (CO_2) e material particulado por unidade de energia gerada (SERGIPE, 2024a).

A exploração do gás natural gera um impacto financeiro significativo para Sergipe e seus municípios por meio do repasse de royalties. Essa compensação financeira, devida à União pelas empresas produtoras, é um motor de receita importante, contribuindo para o fortalecimento das economias locais. Os recursos dos royalties, embora nem sempre direcionados de forma a gerar desenvolvimento sustentável de maneira uniforme, possuem o potencial de financiar a infraestrutura e os serviços públicos, criando uma base para o crescimento socioeconômico do Estado (FIES, 2024).

Contudo, o protagonismo do gás natural é marcado por um paradoxo climático. Por ser um hidrocarboneto, sua queima inevitavelmente resulta na liberação de Gases de Efeito Estufa (GEE), primariamente o CO_2. Embora a emissão seja menor do que a de outros fósseis, ela ainda contribui para o aquecimento global, o que coloca o uso massivo do gás natural em contradição com a urgência da agenda de descarbonização global. O incentivo à sua expansão, como é o caso do projeto SEAP, representa um desafio real aos objetivos climáticos do Estado (SEDETEC, 2024; SEEG, 2024).

Além do CO_2 liberado na combustão, o gás natural é composto majoritariamente por metano (CH_4), um GEE com um potencial de aquecimento global significativamente maior do que o CO_2 em um horizonte de 100 anos. Vazamentos ("fugitive emissions") durante a extração, processamento e transporte do gás (o Gás Canalizado) são fontes diretas de metano, intensificando o impacto ambiental da cadeia produtiva e demandando

atenção especial em termos de infraestrutura e regulamentação para minimizar estas perdas (SEEG, 2024).

Para equilibrar o desenvolvimento econômico com a responsabilidade ambiental, Sergipe precisa integrar a compensação e mitigação das emissões do gás natural em sua política energética. A mitigação envolve a eficiência energética na produção e uso do gás e o investimento em tecnologias de Captura e Armazenamento de Carbono (CCS). Já a compensação pode ser alcançada com o financiamento de projetos que absorvam ou reduzam GEE em outros setores. A compensação das emissões do gás natural também deve vir por meio do investimento acelerado em energias renováveis. Sergipe possui um potencial promissor em energia eólica e solar (SERGIPE, 2024b).

Uma alternativa viável para a compensação está no setor de resíduos e saneamento. A captação e queima do biogás (composto principalmente por metano) em aterros sanitários e Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) podem gerar energia e, simultaneamente, evitar a emissão direta de CH_4 na atmosfera. Projetos que promovem a reciclagem e a compostagem de resíduos orgânicos também contribuem significativamente para a redução do metano, atuando como compensadores diretos (SEEG, 2024).

A formalização dessas estratégias deve ser central no Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC). O PEAC, que inclui a Política Estadual de Emissão de GEE, é um importante instrumento para definir metas setoriais de redução e estabelecer mecanismos de financiamento para ações climáticas, como a implementação de um mercado de créditos de carbono que remunere projetos de baixo carbono e permita a compensação das emissões do setor de gás (SERGIPE, 2024b).

A exploração do gás natural em Sergipe é, portanto, uma fonte de riqueza e segurança energética no curto e médio prazos, mas exige uma resposta estratégica para mitigar seu impacto como emissor de GEE. A inclusão de mecanismos de compensação, como o tratamento de biogás e o avanço das energias eólica e solar, no Plano de Ações Climáticas, é fundamental para garantir que o desenvolvimento econômico de hoje não comprometa o futuro climático do Estado, pavimentando o caminho para uma matriz energética de fato sustentável (SERGIPE, 2024a).

4.3.2. RISCOS DE LOCK-IN E ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO

A estratégia de desenvolvimento energético de Sergipe apoia-se fortemente na expansão da cadeia do gás natural, especialmente a partir do Projeto Sergipe Águas Profundas (SEAP). Embora este recurso desempenhe papel importante na segurança

energética e na substituição de combustíveis fósseis mais intensivos em carbono, como óleo combustível e carvão mineral, sua expansão requer análise cuidadosa dos riscos associados ao chamado "carbon lock-in" ou aprisionamento tecnológico de carbono.

O lock-in ocorre quando investimentos de grande escala em infraestrutura intensiva em combustíveis fósseis criam dependência econômica, regulatória e tecnológica de ativos que podem se tornar incompatíveis com metas futuras de neutralidade climática. Gasodutos, termelétricas, unidades de processamento e demais ativos possuem vida útil estimada entre 25 e 40 anos, podendo gerar emissões cumulativas incompatíveis com os compromissos de redução de gases de efeito estufa assumidos pelo Brasil (IEA, 2021).

No caso sergipano, o desafio não consiste em interromper a expansão do gás natural, mas em integrá-la a uma estratégia clara de transição energética. Isso implica:

- priorizar o gás como combustível de transição;
- acelerar a expansão das fontes renováveis;
- desenvolver projetos de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS);
- estimular a substituição gradual de combustíveis fósseis por hidrogênio verde, biometano e eletrificação industrial.

A convergência entre o polo de gás natural e o futuro Hub de Hidrogênio Verde pode reduzir significativamente os riscos de lock-in, transformando Sergipe em referência nacional de transição energética justa e gradual.

Conforme pode ser visto no Quadro 6, a expansão do gás natural em Sergipe apresenta importantes oportunidades econômicas, energéticas e industriais. Contudo, a maximização desses benefícios depende da adoção de estratégias explícitas de mitigação dos riscos de lock-in tecnológico e de carbono.

Nesse contexto, a integração entre gás natural, energias renováveis, hidrogênio verde, biometano, eficiência energética e mecanismos de mercado de carbono constitui elemento fundamental para assegurar que os investimentos realizados nas próximas décadas permaneçam compatíveis com as metas de descarbonização e adaptação climática previstas no Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE).

Quadro 6: Oportunidades, Riscos e Estratégias de Mitigação da Expansão do Gás Natural em Sergipe

ASPECTO	OPORTUNIDADE	RISCO CLIMÁTICO E ESTRATÉGICO	ESTRATÉGIA PARA LIDAR COM O RISCO
Segurança Energética	Fornecimento firme e complementar à geração solar e eólica, aumentando a	Dependência prolongada da geração termelétrica e atraso na inserção de fontes de emissão zero.	Definir metas graduais de substituição da geração fóssil por renováveis e

ASPECTO	OPORTUNIDADE	RISCO CLIMÁTICO E ESTRATÉGICO	ESTRATÉGIA PARA LIDAR COM O RISCO
	confiabilidade do sistema elétrico.		armazenamento de energia, reservando o gás para funções de flexibilidade e segurança do sistema.
Desenvolvimento Econômico	Aumento de royalties, investimentos, arrecadação e geração de empregos associados ao SEAP e à cadeia de gás.	Dependência excessiva da economia estadual de receitas e atividades ligadas a combustíveis fósseis.	Destinar parte dos royalties para um Fundo Estadual de Transição Energética voltado à inovação, energias renováveis e qualificação profissional.
Infraestrutura Energética	Expansão de gasodutos, terminais, processamento e logística energética.	Formação de ativos potencialmente obsoletos (*stranded assets*) diante do avanço das metas globais de descarbonização.	Projetar infraestrutura compatível com hidrogênio, biometano e combustíveis de baixo carbono, reduzindo riscos de obsolescência futura.
Competitividade Industrial	Oferta de gás competitivo para atração de indústrias eletrointensivas e termointensivas.	Intensificação das emissões industriais e exposição a futuras barreiras de carbono, como CBAM e mecanismos similares.	Promover programas de eficiência energética, eletrificação industrial, captura de carbono (CCUS) e substituição progressiva por H_2V e biometano.
Mercado de Gás	Consolidação de Sergipe como hub regional de gás natural.	Lock-in regulatório e institucional em favor de combustíveis fósseis.	Estabelecer marcos regulatórios que incentivem simultaneamente gás natural, hidrogênio verde, biometano e mercados de carbono.
Emissões de GEE	Substituição de combustíveis mais poluentes (óleo combustível, carvão e diesel).	Emissões de CO_2 na combustão e vazamentos fugitivos de metano ao longo da cadeia produtiva.	Implantar sistemas de monitoramento, reporte e redução de emissões fugitivas de metano, além de programas de compensação de carbono.
Transição Energética	Possibilidade de utilizar o gás como combustível de transição para suportar a expansão das renováveis.	Atraso na implantação de projetos renováveis devido à abundância e competitividade do gás natural.	Estabelecer metas vinculantes de expansão de energias renováveis e de redução da intensidade de carbono da matriz energética estadual.
Hidrogênio Verde	Sinergia entre infraestrutura de gás, porto, ZPE e futuro Hub de Hidrogênio Verde.	Competição por investimentos entre a cadeia fóssil e a cadeia de baixo carbono.	Integrar os projetos de gás natural ao planejamento do Hub de H_2V, criando rotas tecnológicas convergentes e

ASPECTO	OPORTUNIDADE	RISCO CLIMÁTICO E ESTRATÉGICO	ESTRATÉGIA PARA LIDAR COM O RISCO
			complementares.
Resiliência Climática	Gás natural pode suprir déficits temporários de geração hidrelétrica e renovável.	Ampliação das emissões líquidas estaduais e incompatibilidade com metas climáticas de longo prazo.	Implementar planejamento energético baseado em cenários climáticos e trajetórias de neutralidade de carbono até 2050.

Fonte: Os autores. Com base em EPE (2020), IEA (2021), IPCC (2022), SEDETEC (2023) e FGV Energia (2024).

5. ANÁLISE DO POTENCIAL DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL EM SERGIPE

Sergipe, tradicionalmente reconhecido por sua atuação na exploração de combustíveis fósseis, apresenta condições favoráveis para o desenvolvimento de fontes de energia renovável. A transição global para uma matriz energética mais limpa e sustentável evidencia a importância da diversificação, posicionando o Estado como um candidato promissor nesse contexto. O aproveitamento eficiente dos recursos disponíveis pode contribuir significativamente para fortalecer a segurança energética local e fomentar o desenvolvimento econômico e social.

5.1. POTENCIAL E VIABILIDADE DA ENERGIA SOLAR

A energia solar destaca-se entre as fontes renováveis de Sergipe devido à sua elevada viabilidade, impulsionada pelas condições climáticas favoráveis e pelo avanço da tecnologia fotovoltaica. O Estado dispõe de excelente exposição solar durante todo o ano, proporcionando ambiente adequado tanto para grandes usinas centralizadas quanto para sistemas distribuídos. Uma análise detalhada desses fatores é essencial para fundamentar decisões de investimento e políticas públicas.

5.1.1. AVALIAÇÃO DOS RECURSOS (INSOLAÇÃO) E DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Sergipe destaca-se por apresentar uma das maiores taxas de insolação do Brasil, fator determinante para a implantação de sistemas fotovoltaicos. A irradiação solar média permite aos painéis solares alto desempenho e geração consistente ao longo do dia e do ano (DESENVOLVE-SE, 2024).

A insolação encontra-se distribuída de forma relativamente uniforme pelo território estadual, com pequenas variações entre litoral e interior. Regiões próximas ao litoral apresentam leve redução devido à umidade e presença de nuvens, sem

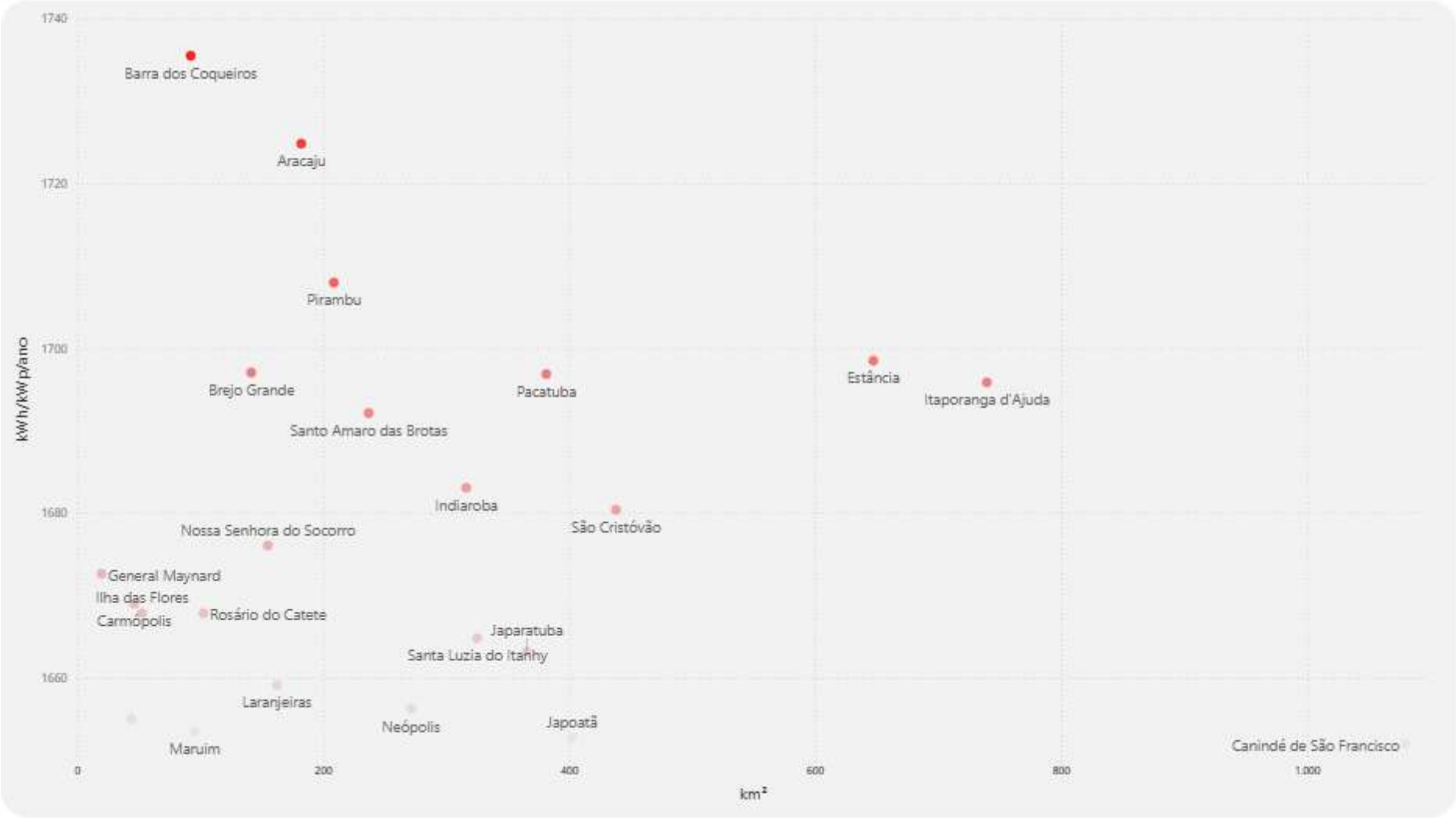
comprometer, contudo, o potencial geral. O semiárido sergipano, por outro lado, oferece condições excepcionais, com alta irradiação e baixa nebulosidade (FGV, 2025).

Mapas de irradiação solar e dados históricos reforçam o elevado potencial solar do Estado. A medição precisa da irradiação global horizontal (IGH) e em plano inclinado (IPI), ajustada à angulação dos painéis, evidencia a abundância e confiabilidade do recurso solar disponível, aspecto relevante para investidores e para o planejamento energético.

A baixa variabilidade sazonal da irradiação distingue Sergipe, garantindo estabilidade na geração solar mesmo nos meses menos favoráveis, em contraste com regiões de inverno rigoroso. Isso fortalece a previsibilidade da produção e eleva o retorno sobre investimentos (SERGIPETEC, 2024). Portanto, a qualidade do recurso solar em Sergipe constitui elemento central para o crescimento da energia fotovoltaica local. A elevada insolação, aliada à consistência e reduzida sazonalidade, favorece a expansão de usinas de grande porte e incentiva a adoção de sistemas distribuídos em residências e estabelecimentos comerciais (SERGIPETEC, 2024).

De acordo com a Figura 13, verifica-se que o potencial fotovoltaico é muito significativo nos municípios sergipanos, merecendo destaque a Barra dos Coqueiros, com potencial de 1.735,48 kWh/kW por ano, vindo na sequência Aracaju e Pirambu, em termos de potencial.

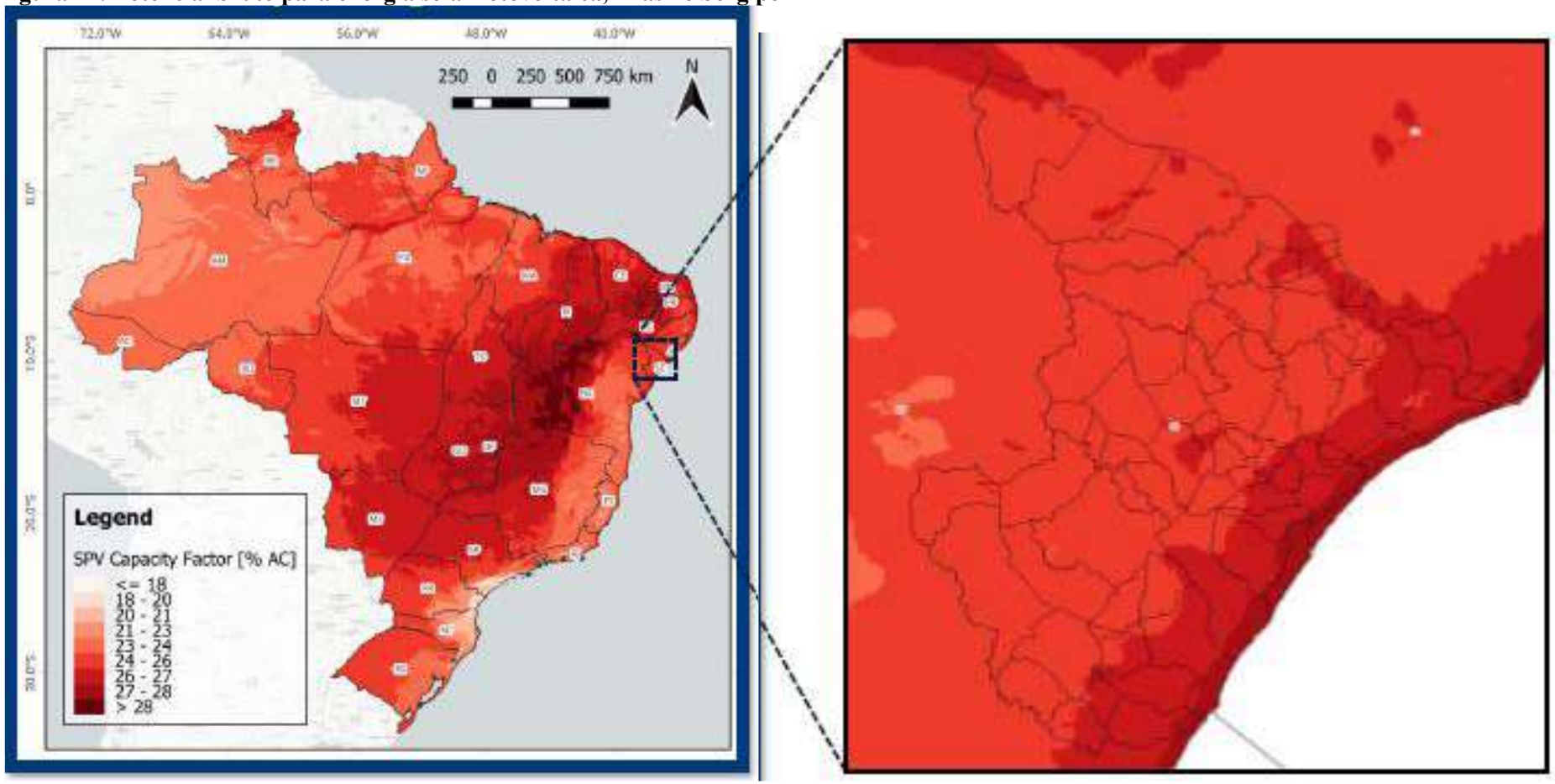
Figura 13: Dispersão de Potencial Fotovoltaico por área (km²)



Fonte: FGV, 2025.

A energia solar no Estado de Sergipe mostra maior potencial na região costeira, embora outras áreas interiores também sejam promissoras. Mesmo regiões com menor potencial apresentam fatores de capacidade acima de 25%, permitindo viabilidade de projetos. A Figura 14, a seguir, mostra que o potencial de energia solar abrange todo o Estado (FGV, 2025).

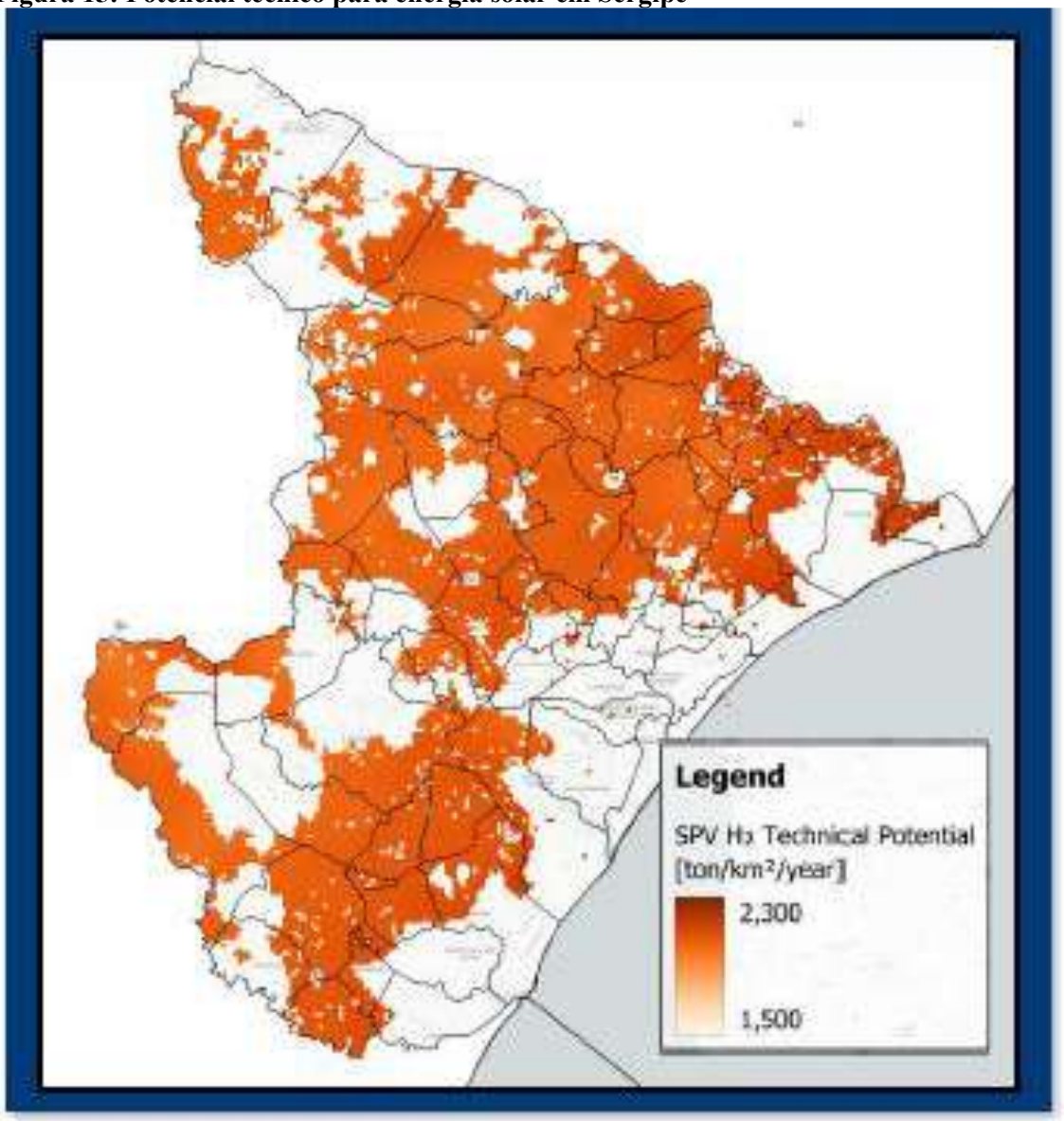
Figura 14: Potencial bruto para energia solar fotovoltaica, Brasil e Sergipe



Fonte: FGV, 2025.

Considerando-se as restrições, SE tem 53,6% de área tecnicamente viável para projetos de energia solar fotovoltaica, equivalente a 21,94 mil km², conforme pode ser visto na Figura 15.

Figura 15: Potencial técnico para energia solar em Sergipe



Fonte: FGV, 2025.

5.1.1.1.Análise técnica e econômica

Um dos principais desafios regulatórios que influenciam a Geração Distribuída (GD) em Sergipe, assim como no restante do Brasil, é a transição para as novas regras estabelecidas pela Lei nº 14.300/2022 (Marco Legal da GD). A mudança na forma de compensação da energia injetada na rede, com a cobrança gradual da TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição), cria um período de adaptação e incerteza para novos

projetos, exigindo maior detalhamento técnico e planejamento financeiro dos investidores.

A rápida expansão da GD impôs desafios operacionais às distribuidoras, exigindo a realização de cortes forçados na geração (como já citado anteriormente, o chamado *curtailment*), para não comprometer a estabilidade do sistema. O termo, que pode ser traduzido como "corte de geração", é um problema para empresas de energia solar no Brasil. Isso ocorre quando o ONS manda desligar usinas, mesmo com sol disponível, devido à falta de infraestrutura de transmissão ou excesso de energia no sistema.

Apesar dos desafios regulatórios, o mercado de GD em Sergipe apresenta grandes oportunidades de negócios e capacitação. Há uma crescente demanda por empresas de engenharia, instaladoras e de serviços de manutenção especializados. A capacitação de mão de obra local em instalação, comissionamento e manutenção de sistemas FV é vital para a sustentabilidade do setor e para a geração de empregos qualificados no Estado.

As políticas de incentivo estaduais e municipais, embora não sejam a principal força motriz, como a legislação federal, podem potencializar o setor. A simplificação de processos de licenciamento, a eventual redução de impostos estaduais (como ICMS em casos específicos) ou a criação de linhas de crédito facilitadas por agências de fomento locais podem acelerar a adesão da GD, principalmente para micro e pequenas empresas que enfrentam dificuldades de capital inicial.

A avaliação técnica da energia solar em Sergipe confirma um cenário favorável. As tecnologias fotovoltaicas atualmente disponíveis apresentam maturidade e eficiência elevadas, convertendo com eficácia a alta irradiação solar local em eletricidade, com baixas perdas. Fatores como vida útil dos equipamentos, facilidade de manutenção e modularidade dos sistemas reforçam a viabilidade técnica e econômica do setor. Adicionalmente, a topografia predominantemente plana de diversas regiões facilita a instalação e otimização dos ângulos dos painéis solares.

Especificamente sob o aspecto econômico, a competitividade da energia solar em Sergipe tem crescido substancialmente, impulsionada pela significativa redução nos custos de implementação de sistemas fotovoltaicos. Para consumidores residenciais e comerciais, a geração distribuída proporciona economia na conta de energia e valorização dos imóveis.

Vale destacar que a modalidade tem emergido como um vetor de transformação não apenas energética, mas também social no Brasil. Seu impacto transcende a matriz

energética e alcança a economia doméstica, oferecendo uma oportunidade real de inclusão e alívio financeiro para as populações vulneráveis.

O principal potencial social da GD reside na capacidade de reduzir drasticamente a conta de luz das famílias de baixa renda e dos consumidores residenciais em geral. A instalação de sistemas fotovoltaicos permite que estas populações troquem o custo elevado da energia consumida por custos menores, liberando recursos para outras necessidades essenciais.

Para que o potencial social da GD se realize plenamente, são necessárias políticas públicas específicas que incentivem a inclusão das classes C, D e E. Essa estratégia de alinhamento social e energético garante que o benefício da inovação seja distribuído de forma mais justa.

Em projetos de grande escala, a análise considera o custo nivelado de energia, que se apresenta altamente competitivo devido ao excelente potencial solar do Estado. Incentivos fiscais e linhas de financiamento específicas para energias renováveis ampliam a atratividade econômica do segmento.

O retorno sobre investimento (ROI) em projetos solares costuma ser significativamente positivo em Sergipe, com prazos de payback adequados para investidores. A previsibilidade da geração, garantida pela elevada insolação, contribui para estimativas precisas de receita e mitigação de riscos financeiros. O potencial de expansão da geração distribuída é relevante, especialmente em áreas urbanas. A compensação de energia pelo excedente injetado na rede representa uma grande vantagem.

Na análise econômica, deve-se considerar também os custos de conexão à rede e transmissão em grandes usinas. A proximidade de áreas com alto índice de insolação às subestações e linhas de transmissão existentes pode reduzir significativamente estes custos, aumentando a viabilidade dos projetos. O planejamento territorial e a identificação de áreas estratégicas são fundamentais nesse processo.

A criação de empregos locais, tanto durante a instalação quanto na manutenção dos sistemas solares, representa um benefício socioeconômico adicional. A formação de mão de obra especializada e o fortalecimento da cadeia produtiva local de componentes e serviços são determinantes para ampliar os impactos positivos da energia solar na economia de Sergipe.

Os benefícios ambientais associados à energia solar — como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a diminuição da pegada de carbono — agregam valor

à análise econômica, promovendo sustentabilidade e consolidando Sergipe como um Estado comprometido com a transição energética.

O quadro regulatório nacional influencia diretamente a integração de renováveis no Estado. A robustez da agenda regulatória, marcada pela abertura do mercado livre para consumidores de baixa tensão, novos modelos tarifários e extinção de descontos para fontes incentivadas, modifica os incentivos à GD. A evolução dos sistemas elétricos, incluindo regulação de medidores inteligentes, armazenamento e veículos elétricos, tende a reconfigurar os modelos de negócios do setor solar.

A GD também apresenta um potencial transformador quando aplicada a prédios e equipamentos públicos de uso social, como escolas, hospitais, postos de saúde e centros comunitários. A energia gerada in loco ou em fazendas solares remotas pode zerar ou minimizar as despesas de energia desses edifícios, redirecionando o orçamento público economizado para a melhoria dos serviços prestados à população.

Essa economia gerada nos cofres públicos por meio da GD em edifícios de serviços essenciais, como hospitais, pode ser revertida diretamente em benefícios sociais. O capital economizado na fatura de energia pode financiar a compra de medicamentos, a contratação de mais profissionais de saúde ou a aquisição de equipamentos educacionais, elevando a qualidade dos serviços públicos.

Um ponto crucial da análise social da GD é a sua interconexão com a eficiência energética. A implantação de um sistema de GD geralmente é acompanhada pela substituição de equipamentos menos eficientes (lâmpadas, condicionadores de ar) por modelos de alto desempenho. Essa sinergia otimiza o uso da energia gerada, garantindo que o potencial de economia da GD seja maximizado.

Destaca-se como oportunidade para Sergipe a geração distribuída em edificações públicas estaduais, conforme demonstrado pelo Projeto CONECTA-SE. Simulações realizadas no âmbito do projeto indicam a viabilidade do autoconsumo remoto, estimando que, para gerar 27,4 GWh anuais (50% do consumo estadual do setor público), seriam necessárias cinco usinas de 3 MW, representando investimento aproximado de R$ 43 milhões e *payback* de 4,2 anos. Trata-se de alternativa eficiente para racionalização de investimentos e redução dos custos operacionais.

A produção de hidrogênio verde, apoiada pela energia solar fotovoltaica, configura-se como estratégia fundamental para o Estado. Sergipe dispõe de potencial técnico para produzir até 24 Mton/ano de hidrogênio verde, equivalente a 124 Mton/ano de amônia verde ou 97 Mton/ano de metanol verde. A Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (PEMC/SE), instituída pela Lei nº 9.364, de 2024, contempla a inclusão do

hidrogênio verde como vetor energético, fomentando sua produção de forma competitiva e sustentável (FGV, 2025).

A energia solar no Estado apresenta elevada viabilidade técnica e econômica, respaldada pela excelente irradiação solar e pela redução dos custos tecnológicos, exigindo, apesar disto, estudos aprofundados, levando em consideração os impactos das possíveis mudanças regulatórias e legais.

Em síntese, apesar dos desafios, a expansão da GD não é apenas uma questão de infraestrutura elétrica, mas um imperativo de justiça social e ambiental. Ao desonerar as famílias da alta conta de luz e otimizar os recursos públicos, ela contribui para a redução da desigualdade social e para o cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), possibilitando energia limpa e acessível para a sociedade, de forma mais ampla.

5.2. POTENCIAL E VIABILIDADE DA ENERGIA EÓLICA

Sergipe apresenta potencial para geração de energia eólica, sobretudo em regiões costeiras onde os ventos são mais regulares e intensos. Embora não seja atualmente referência nacional neste segmento, estudos apontam oportunidades de mercado e recursos naturais disponíveis para exploração. Uma avaliação técnica e econômica detalhada é necessária para consolidar essa fonte na matriz energética estadual.

5.2.1. AVALIAÇÃO DOS RECURSOS (REGIME DE VENTOS)

A análise dos recursos eólicos em Sergipe mostra que o Estado possui regime de ventos favorável, principalmente na faixa litorânea. Mapas e dados obtidos por torres anemométricas indicam velocidades médias adequadas à instalação de parques eólicos. As brisas marítimas constantes podem contribuir significativamente para esse potencial.

As áreas costeiras apresentam maior aptidão para geração de eletricidade devido à ausência de obstáculos topográficos, permitindo fluxo de vento mais consistente e o melhor desempenho das turbinas. O regime de ventos possui complementaridade com a energia solar, podendo operar em períodos distintos.

A sazonalidade dos ventos deve ser considerada. Apesar de o Estado apresentar intensidades menores em comparação a outras regiões do Nordeste, o regime local é suficientemente estável para produção relevante de energia, sendo recomendada a análise de dados de longo prazo para mitigação de riscos e melhoria das previsões.

A qualidade do recurso eólico, medida pelas velocidades médias que favorecem bons fatores de capacidade das turbinas, posiciona Sergipe como uma alternativa para investimentos. A combinação de tecnologias eficientes de turbinas com regime de ventos adequado pode viabilizar projetos com critérios econômicos e ambientais compatíveis. O potencial eólico pode ser visto nos municípios sergipanos, conforme Figura 16.

Figura 16: Dispersão do potencial Eólico por área (km²)



Fonte: FGV, 2025.

5.2.2. ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA

A avaliação técnica da energia eólica em Sergipe contempla a seleção criteriosa de turbinas compatíveis com o regime de ventos local, a otimização do arranjo dos parques eólicos e a análise da infraestrutura de conexão à rede elétrica. As turbinas de última geração apresentam flexibilidade para diferentes condições de vento, tornando fundamental a escolha adequada do modelo para otimizar a geração energética e o retorno financeiro.

A topografia predominantemente plana das áreas costeiras favorece a instalação dos equipamentos, embora desafios logísticos como acesso, transporte de grandes componentes e construção de fundações robustas demandem soluções técnicas específicas. A proximidade relativa a rodovias e portos contribui positivamente para a logística.

Sob perspectiva econômica, observa-se que a redução dos custos de capital e operação das turbinas tem facilitado a viabilidade do setor, evidenciada pela competitividade nos leilões nacionais e no mercado livre de energia. Incentivos fiscais e linhas de financiamento voltados para fontes renováveis seguem estimulando investimentos.

A análise do fator de capacidade é determinante na avaliação econômica, pois reflete a eficiência operacional e o potencial de retorno sobre o investimento. A previsibilidade dos ventos permite projeções mais assertivas desse indicador, mitigando riscos para os investidores.

Os custos referentes à conexão à rede de transmissão representam um componente relevante da análise financeira dos projetos, sendo que a proximidade das áreas com bom potencial eólico a subestações e linhas existentes pode reduzir significativamente essa despesa. O planejamento adequado da infraestrutura de escoamento é essencial.

A geração de empregos locais, nas fases de implantação, operação e manutenção dos parques, representa benefício adicional, destacando-se a importância da capacitação da mão de obra e da consolidação de uma cadeia de suprimentos regional para maximizar o impacto socioeconômico positivo.

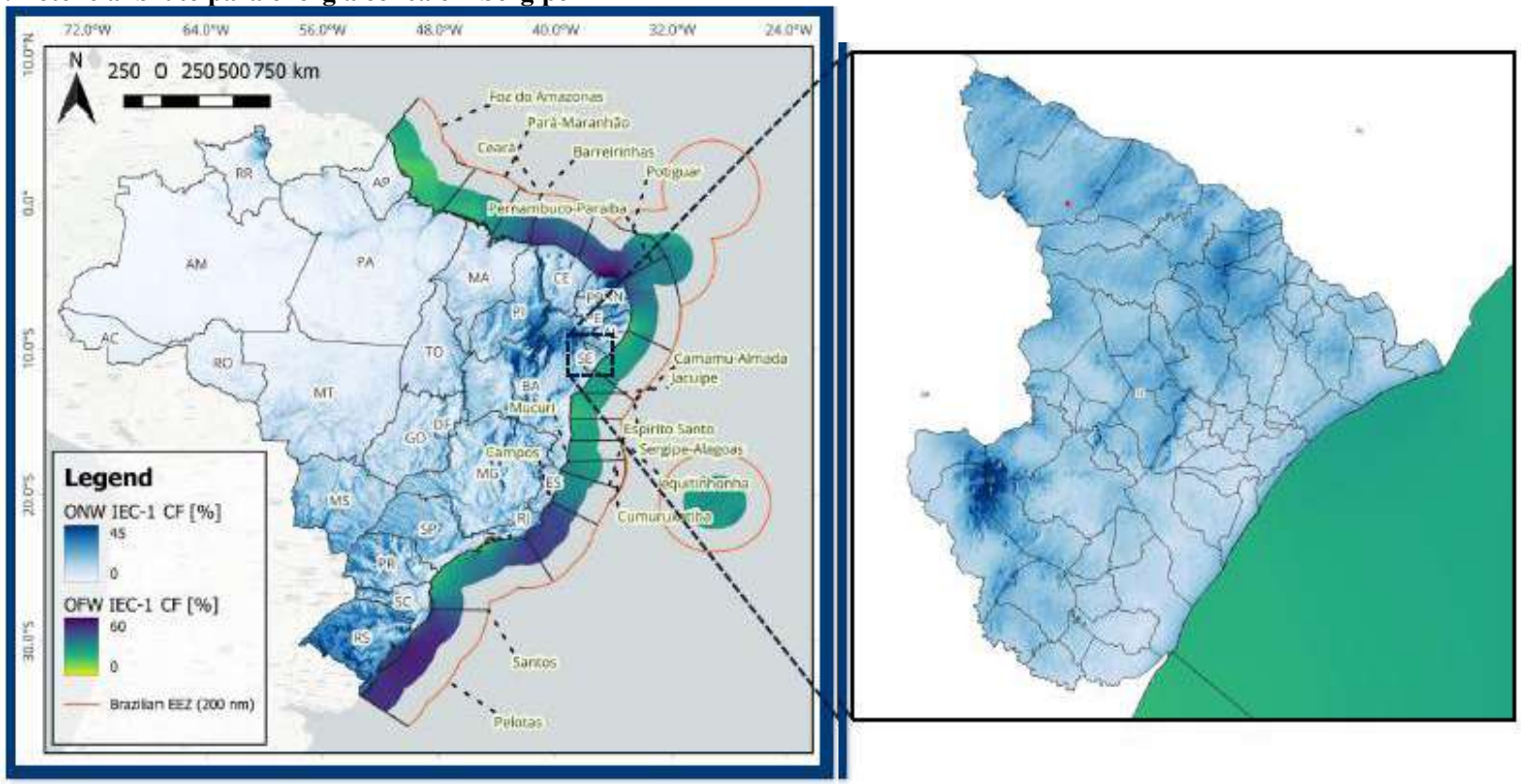
Do ponto de vista ambiental, a energia eólica oferece vantagens como ausência de emissões diretas de gases de efeito estufa e diminuição da dependência de combustíveis fósseis, agregando valor à análise econômica mesmo sem monetização

direta. Essa fonte contribui para metas de descarbonização e reforça o posicionamento sustentável do Estado.

A análise de riscos incorpora fatores como variação dos preços da energia, questões regulatórias (a geração eólica também é afetada pelo *curtailment*) e potenciais impactos ambientais e sociais, sendo indispensável a gestão eficiente para assegurar a viabilidade e a sustentabilidade dos empreendimentos eólicos de longo prazo.

Conforme Figura 17, o potencial bruto *onshore* de Sergipe evidencia áreas com alto fator de capacidade, indicando regiões promissoras para projetos terrestres, representadas por zonas mais escuras nos mapas de potencial eólico. Contudo, o porte territorial do Estado limita a escala desses potenciais frente a estados vizinhos de maior extensão.

Figura 17: Potencial bruto para energia eólica em Sergipe

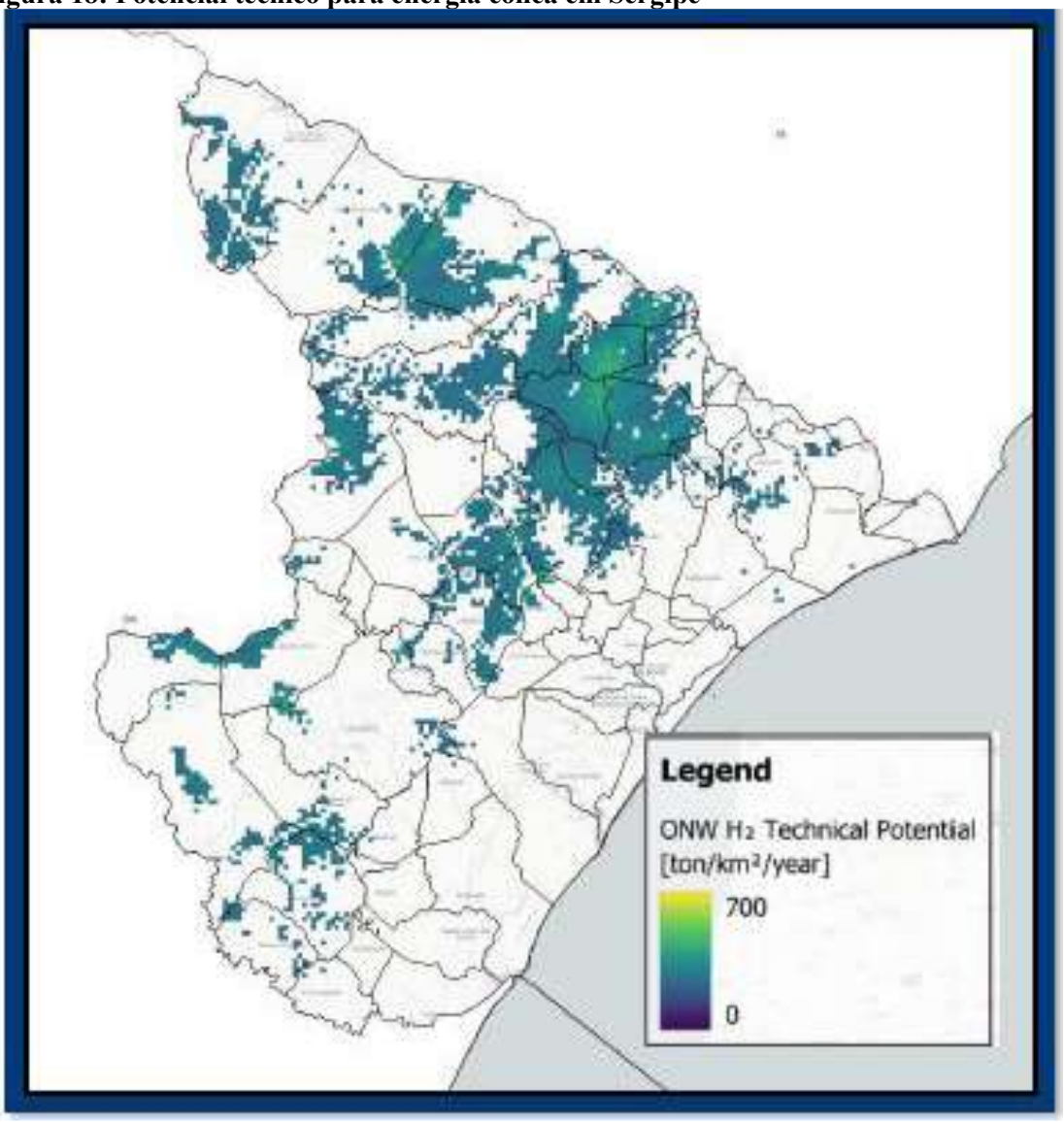


Fonte: FGV, 2025.

No caso da energia eólica *offshore*, o contexto é menos favorável; os fatores de capacidade da costa de Sergipe são inferiores aos observados em outras regiões do país, sugerindo limitações para projetos de grande porte. Após imposição de restrições técnicas (exclusão de áreas com fator abaixo de 30%), não se identificou potencial técnico para eólica offshore no Estado (FGV, 2025).

Considerando restrições socioeconômicas, ambientais e técnicas rigorosas, apenas 20,7% da área bruta estadual é tecnicamente viável para projetos *onshore*, correspondendo a cerca de 4,5 mil km² dos 21,9 mil km² totais, conforme Figura 18. Restrições abrangem dutos de óleo e gás, infraestrutura de transporte, unidades de conservação, áreas urbanas, assentamentos rurais, declividades superiores a 75% e fator de capacidade inferior a 20% (FGV, 2025).

Figura 18: Potencial técnico para energia eólica em Sergipe



Fonte: Extraído de FGV, 2025.

Apesar do baixo desempenho na geração centralizada, o potencial eólico onshore é relevante para produção de hidrogênio verde. Estima-se possibilidade técnica de produzir 1 Mton/ano de hidrogênio verde, equivalente a cerca de 5 Mton/ano de amônia verde ou 4 Mton/ano de metanol verde. A PEMC/SE prevê o incentivo ao hidrogênio verde como vetor energético e à estruturação de sua cadeia produtiva, inclusive atração de investimentos e qualificação profissional. A infraestrutura de transmissão existente pode atender demandas energéticas desses projetos e minimizar gargalos de fornecimento.

Do ponto de vista econômico, a baixa atratividade para investimentos em fontes renováveis centralizadas persiste devido a condições mais favoráveis em outros estados, tais como fatores de capacidade superior, maior oferta de áreas, proximidade com centros de carga e políticas promocionais mais eficazes. Ademais, a dependência do arcabouço regulatório nacional impacta negativamente o desenvolvimento de modelos inovadores para renováveis (FGV, 2025b).

Outros entraves relevantes incluem ausência de visão estratégica integrada para infraestruturas (redes elétricas, gás, ferrovias, terminais portuários e telecomunicações), dificultando a atratividade de novos projetos; acesso restrito a recursos de P&D, comprometendo a inovação tecnológica; e falta de articulação entre pesquisa, universidades e indústria no desenvolvimento de soluções regionais (FGV, 2025b).

Para superação desses desafios, Sergipe dispõe de oportunidades como fortalecer o ecossistema de inovação focado na transição energética e aprimorar infraestruturas voltadas à economia de baixo carbono, incluindo iniciativas em hidrogênio verde. A Lei nº 9.364/2024 reforça incentivos à energia eólica e à capacitação profissional, delineando perspectivas de viabilidade a longo prazo (FGV, 2025b).

Em conclusão, embora o potencial de geração eólica centralizada enfrente restrições competitivas frente a estados maiores, o recurso técnico para eólica *onshore* permanece significativo para produção de hidrogênio verde. Limitações técnicas para *offshore* e intensa concorrência devem ser abordadas por meio de políticas estaduais direcionadas, modernização da infraestrutura, fomento à inovação e sinergia com o hidrogênio verde, consolidando a energia eólica como elemento estratégico na trajetória de transição energética de Sergipe.

5.3. POTENCIAL DA BIOMASSA E DO BIOGÁS/BIOMETANO

O aproveitamento de biomassa e biogás/biometano em Sergipe representa uma oportunidade relevante para diversificar a matriz energética e aprimorar a gestão

ambiental, especialmente na destinação de resíduos orgânicos. Essas fontes contribuem para a redução do passivo ambiental, ao mesmo tempo em que promovem a geração de energia renovável, em consonância com políticas públicas voltadas à economia circular e ao cumprimento de metas climáticas (BRASIL, 2020; CIBIOGÁS, 2022).

5.3.1. IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E URBANOS

O levantamento dos resíduos agropecuários em Sergipe evidencia potencial significativo para geração de biomassa e biogás, sendo a cana-de-açúcar a principal fonte. O bagaço e a palha são amplamente utilizados na indústria sucroalcooleira, com perspectivas de expansão no aproveitamento da palha e na introdução de novas culturas energéticas (CIBIOGÁS, 2022).

Além da cana-de-açúcar, subprodutos da pecuária, como esterco bovino, suíno e aviário, também podem ser destinados à biodigestão anaeróbia para produção de biogás, favorecidos pela concentração regional das atividades, o que facilita a logística operacional (ABIOGÁS, 2023).

No âmbito urbano, resíduos sólidos domiciliares e efluentes de estações de tratamento sanitário apresentam potencial relevante para a produção de biogás, especialmente diante do crescimento urbano e da necessidade de soluções eficientes para a gestão de resíduos líquidos e sólidos (ALMEIDA; SILVA, 2022).

A indústria de alimentos e bebidas, incluindo frigoríficos, laticínios, cervejarias e processadoras de frutas e vegetais, também gera resíduos orgânicos aptos à conversão energética. O mapeamento dos fluxos de resíduos, contemplando quantidade, sazonalidade e localização, é fundamental para o planejamento energético e definição da logística operacional (CIBIOGÁS, 2022; ABIOGÁS, 2023).

A combinação de diferentes resíduos em biodigestores otimiza o processo de digestão anaeróbia, elevando a eficiência energética. Dessa forma, Sergipe apresenta variedade de resíduos agropecuários e urbanos com potencial para uso energético, sendo o mapeamento e a quantificação etapas essenciais para projetos integrados de geração de energia e aprimoramento ambiental (CIBIOGÁS, 2022; ABIOGÁS, 2023).

Segundo dados do Instituto 17 (2021), o Brasil possui potencial para gerar aproximadamente 10,9 bilhões de Nm³/ano de biogás, equivalente a 22,9 milhões de MWh/ano, suficiente para abastecer cerca de 11,5 milhões de residências. Em Sergipe, o potencial estimado é de 39,4 milhões de Nm³/ano, correspondendo a 82.805 MWh/ano, com predominância da indústria como fonte (Tabela 5).

Tabela 5: Potencial de biogás a curto prazo convertido em energia elétrica

REGIÃO	ESTADO	POTENCIAL TOTAL DE BIOGÁS (NM^3/ANO)	PECUÁRIA (MWH/ANO)	INDÚSTRIA (MWH/ANO)	SANEAMENTO (MWH/ANO)	TOTAL DE EQUIVALÊNCIA EM GERAÇÃO ELÉTRICA (MWH/ANO)	EQUIVALENTE EM RESIDÊNCIAS
Centro-Oeste	Distrito Federal	38.752.483	12.818	684	71.799	85.301	
	Goiás	934.279.526	114.045	1.725.023	121.001	1.960.068	
	Mato Grosso do Sul	630.790.868	86.741	1.328.941	52.848	1.468.530	
	Mato Grosso	318.801.142	114.063	501.029	53.552	668.643	
	Total	1.922.624.289	327.667	3.410.028	299.200	4.036.894	2.016.834
Nordeste	Alagoas	275.072.715	323	544.749	31.122	576.194	
	Bahia	123.111.064	2.720	95.605	163.773	262.098	
	Ceará	52.801.404	39	66.073	65.608	131.095	
	Maranhão	62.458.447	39	67.055	64.001	131.095	
	Paraíba	66.872.875	818	102.523	36.928	140.270	
	Pernambuco	211.232.627	16.761	103.324	324.240	444.299	
	Piauí	28.268.314	41	30.545	28.641	59.227	
	Rio Grande do Norte	41.038.984	361	72.344	34.449	107.415	
	Sergipe	39.422.609	1.225	59.430	22.150	82.805	
	Total	910.308.091	27.367	1.316.140	571.962	1.915.469	956.969
Norte	Acre	16.924.743	537	26.785	25.785	53.107	
	Amazonas	24.789.495	4.767	10.827	36.697	52.291	
	Amapá	3.296.168	0	0	6.905	6.905	
	Pará	69.497.566	9.985	62.445	73.609	146.039	
	Rondônia	28.276.910	108	43.782	15.452	59.343	
	Roraima	4.455.732	524	2.105	6.936	9.565	
	Tocantins	42.261.047	179	70.648	18.359	89.186	
	Total	189.501.661	16.100	216.392	166.211	398.902	199.292

REGIÃO	ESTADO	POTENCIAL TOTAL DE BIOGÁS (NM³/ANO)	PECUÁRIA (MWH/ANO)	INDÚSTRIA (MWH/ANO)	SANEAMENTO (MWH/ANO)	TOTAL DE EQUIVALÊNCIA EM GERAÇÃO ELÉTRICA (MWH/ANO)	EQUIVALENTE EM RESIDÊNCIAS
Sudeste	Espírito Santo	174.632.222	77.894	146.621	143.681	368.643	
	Minas Gerais	1.293.222.027	273.766	1.645.270	810.752	2.729.788	
	Rio de Janeiro	34.173.521	1.980	98.222	629.465	729.667	
	São Paulo	4.607.766.943	172.700	7.648.724	1.889.849	9.711.273	
	Total	6.417.794.764	526.340	9.538.037	3.474.687	13.539.331	6.764.254
Sul	Paraná	834.774.836	793.451	1.083.203	285.965	1.706.620	
	Rio Grande do Sul	286.211.701	333.499	474.032	223.661	1.031.192	
	Santa Catarina	311.002.093	101.091	15.365	15.365	653.582	
	Total	1.431.988.630	1.226.041	1.145.900	645.936	3.018.038	1.507.813
TOTAL GERAL		10.871.798.325	2.123.674	15.626.964	5.157.995	22.908.633	11.445.162

* O resultado zero não indica a inexistência de potencial a curto prazo, mas aponta que os valores de estabelecimentos estão abaixo do filtro de dados adotado na metodologia e, desse modo, não foram considerados para a estimativa de potencial.
** Foi considerado o consumo energético médio, em cada residência do Brasil, como 2.001,6 kWh/ano.
Fonte: INSTITUTO 17 (2021).

5.3.2. ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA E VIABILIDADE

A cadeia produtiva da biomassa e do biogás/biometano abrange as etapas de coleta, transporte, conversão e comercialização dos produtos finais — eletricidade, calor ou biometano. A viabilidade técnica e econômica dos projetos depende da integração eficiente desses processos, bem como do suporte regulatório e de incentivos específicos (ABIOGÁS, 2023; CIBIOGÁS, 2022).

A coleta e o transporte representam desafios logísticos, devido à dispersão geográfica dos resíduos, exigindo rotas otimizadas e soluções para redução dos custos operacionais e garantia de suprimento contínuo (CIBIOGÁS, 2022).

As tecnologias de conversão disponíveis apresentam maturidade, como a cogeração em usinas sucroalcooleiras e o uso de biodigestores anaeróbios para transformação de matéria orgânica em biogás, posteriormente purificado em biometano. A purificação do biogás viabiliza sua utilização em veículos ou injeção em redes de gás natural, posicionando o biometano como fonte renovável estratégica para descarbonização dos setores industrial e de transporte (ABIOGÁS, 2023).

A comercialização pode ocorrer via venda de eletricidade à rede nacional, participação em leilões, contratos no mercado livre ou geração distribuída. O biometano pode ser comercializado como combustível ou inserido em redes públicas, conforme a regulamentação vigente (BRASIL, 2020; CIBIOGÁS, 2022).

A viabilidade econômica dos empreendimentos depende dos custos de insumos, instalação e operação, dos preços da energia, créditos de carbono, incentivos governamentais e redução de despesas com descarte de resíduos (ABIOGÁS, 2023).

A avaliação ambiental é parte fundamental do processo decisório, visto que a produção de biogás contribui para a mitigação das emissões de metano e possibilita o uso do digesto como biofertilizante, promovendo benefícios econômicos e ecológicos (CIBIOGÁS, 2022; ALMEIDA; SILVA, 2022).

A estrutura regulatória é um fator decisivo para a viabilização dos projetos, oferecendo mecanismos de incentivo, linhas de financiamento e simplificação dos processos de licenciamento. A cadeia produtiva de biomassa e biogás/biometano gera empregos e impulsiona o desenvolvimento regional, impactando positivamente as economias locais, tanto rurais quanto urbanas (BRASIL, 2020; ABIOGÁS, 2023).

A geração termelétrica da biomassa possui atributo de despacho previsível durante a safra, sendo valorizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A energia da biomassa atua como recurso de segurança, complementando fontes intermitentes (eólica e solar) e hidrelétricas, contribuindo para a estabilidade do sistema de transmissão regional (ONS, 2025).

Apesar das vantagens técnicas, a expansão da capacidade instalada de biomassa em Sergipe enfrenta limitações relacionadas à competição por insumos e aspectos logísticos. O uso de novas áreas para cana-de-açúcar é restrito pela densidade populacional e pelas áreas protegidas, demandando crescimento via ganhos de eficiência e aproveitamento de outros resíduos (CIBIOGÁS, 2022).

O bagaço da cana-de-açúcar é utilizado para cogeração de eletricidade e vapor nas usinas sucroalcooleiras, representando alternativa sustentável ao reduzir emissões de gases de efeito estufa. Sergipe conta com cinco unidades produtivas de etanol a partir da cana-de-açúcar e políticas públicas que incentivam o uso de biogás e biometano como fontes alternativas (CIBIOGÁS, 2022; BRASIL, 2020).

A capacidade instalada de energia a partir de biomassa em Sergipe está vinculada ao setor sucroenergético, apresentando potência modesta, porém relevante pela previsibilidade durante a safra. O crescimento futuro dependerá de investimentos em tecnologias de aproveitamento de subprodutos, como biogás e resíduos sólidos urbanos, ampliando a base de geração e garantindo estabilidade ao sistema energético estadual (ABIOGÁS, 2023).

A cadeia produtiva da biomassa e do biogás/biometano em Sergipe apresenta complexidade e potencial de viabilidade, sendo imprescindível a otimização logística, a seleção tecnológica adequada, o apoio regulatório e a valorização dos benefícios socioambientais para o sucesso dessas fontes renováveis. O cenário aponta para oportunidades de expansão, integração de resíduos e promoção da sustentabilidade energética, ambiental e socioeconômica no Estado.

5.4. POTENCIAL DO HIDROGÊNIO VERDE

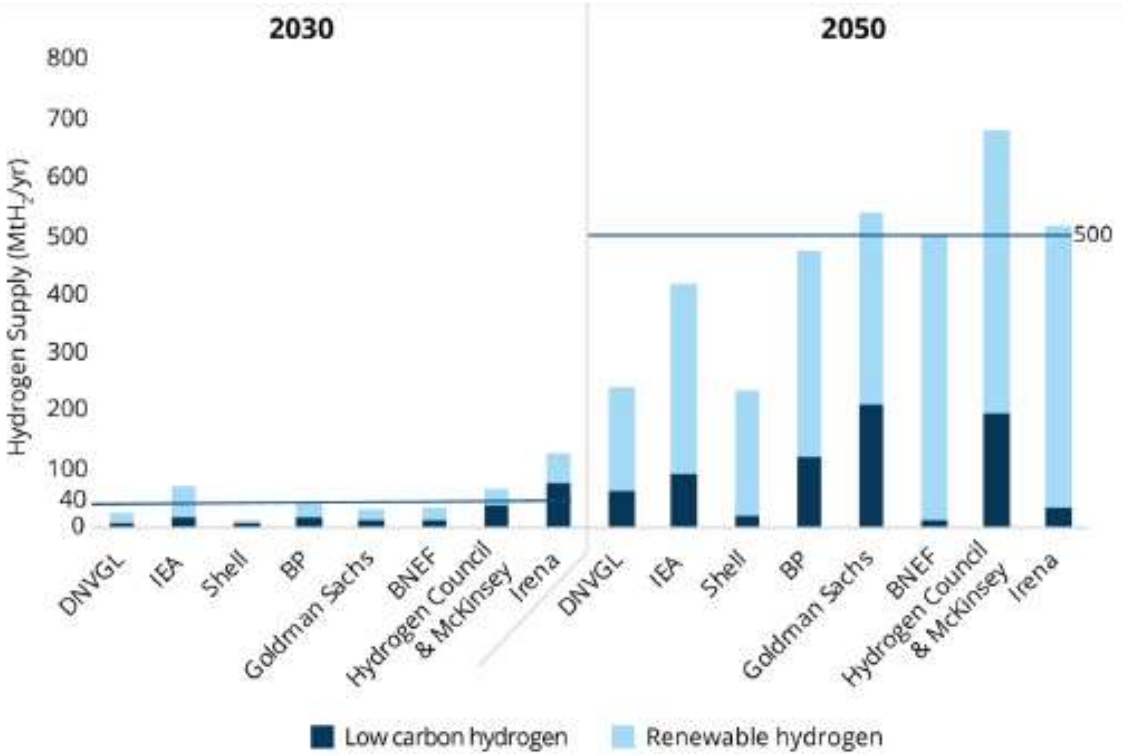
O hidrogênio verde destaca-se como alternativa estratégica por sua capacidade de descarbonização e armazenamento de energia, com potencial para aplicações industriais e agrícolas.

5.4.1. AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO ESTADO EM SE TORNAR UM VETOR ENERGÉTICO

Sergipe conta com recursos naturais, infraestrutura portuária, expertise industrial e demanda interna favoráveis à produção e distribuição de hidrogênio verde. O ambiente de pesquisa e a atuação governamental são fundamentais para viabilizar projetos e atrair investimentos. A capacidade de armazenamento do H2V garante flexibilidade ao sistema energético, e derivados como a amônia verde reforçam sua relevância para o setor agrícola. Com esses pilares, Sergipe pode consolidar-se como polo de hidrogênio verde.

A visão global sobre a sustentabilidade ambiental e transição energética passa pelo H2V, com previsão de crescimento explosivo da demanda por este combustível, até 2050, conforme pode ser visto na Figura 19.

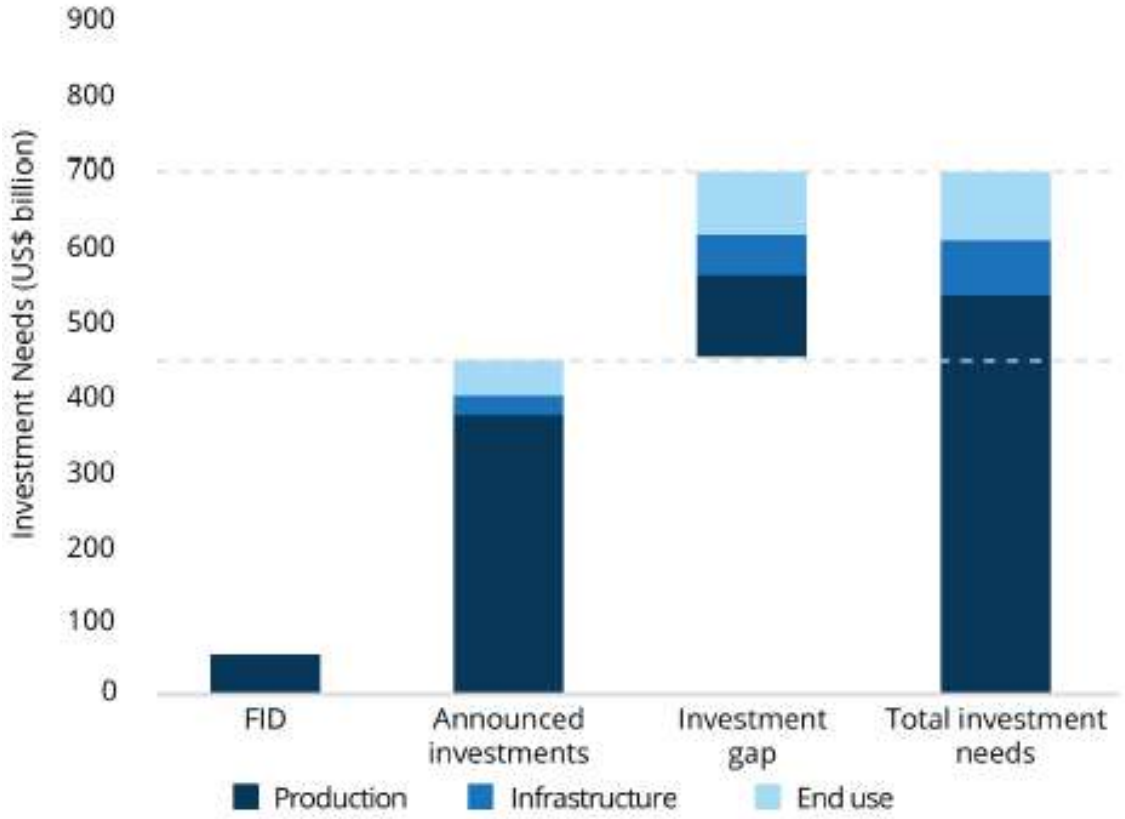
Figura 19: Demanda por hidrogênio nos cenários globais de transição energética e descarbonização



Fonte: FGV, 2025.

Mas, para que essa visão sobre a transição energética, através do H2V, efetivamente ocorra, serão necessários volumes vultosos de investimento (na casa dos US$ 700 bilhões, conforme pode ser visto na Figura 20), surgindo, assim, grandes oportunidades para os países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil, podendo Sergipe receber uma fatia significativa destes recursos, caso consiga criar o ambiente adequado.

Figura 20: Necessidades de investimento em mercados emergentes e países em desenvolvimento até 2030



Fonte: FGV, 2025.

O potencial de produção de H2V em Sergipe está intrinsecamente ligado à sua capacidade de geração de energia solar fotovoltaica. O Sertão sergipano apresenta altos índices de irradiação solar, tornando-se uma área ideal para a instalação de grandes parques solares onshore. A energia gerada nessas usinas seria a fonte primária, limpa e de baixo custo, necessária para alimentar os eletrolisadores que separam o hidrogênio da água, garantindo a certificação de "verde" (SERGIPE, 2024a).

A obtenção da água para o processo de eletrólise, no entanto, requer um planejamento estratégico e ambientalmente responsável. Uma fonte em potencial é a utilização das águas do Rio São Francisco, que delimita grande parte do território sergipano. Contudo, essa utilização exige um rigoroso processo de outorga junto aos órgãos competentes, como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), a fim de garantir a sustentabilidade hídrica da bacia, já sobrecarregada pelo uso múltiplo (ANA, 2024).

Alternativamente ao uso do São Francisco, o Estado pode investir em projetos de dessalinização de águas salobras ou do mar, acoplados diretamente às unidades de produção de H2V. Essa solução mitiga a pressão sobre os recursos hídricos superficiais e

subterrâneos e oferece uma fonte de água previsível e abundante. Embora a dessalinização demande energia adicional, a sua integração com a geração solar do Sertão otimizaria o balanço energético do projeto (SERGIPE, 2024a).

Apesar do potencial, a simples existência de recursos e logística não garante a inserção de Sergipe no mercado de H2V. O Estado precisa reforçar sua Estratégia Estadual de Hidrogênio Verde para atrair investimentos. Essa estratégia deve incluir incentivos fiscais, linhas de crédito específicas, roadmaps tecnológicos e a formação de mão de obra especializada.

Essa estratégia deve contemplar parcerias público-privadas para a construção de eletrolisadores em escala industrial e a criação de valleys (clusters) de hidrogênio no entorno das áreas de alta geração solar e infraestrutura portuária. A atuação coordenada entre governo, academia e setor privado é crucial para estabelecer Sergipe como um player competitivo, capaz de oferecer H2V com preço competitivo e garantia de origem renovável.

Sergipe tem os componentes essenciais para a produção de Hidrogênio Verde: solar abundante, logística de escoamento (porto e gasodutos) e opções de água (São Francisco ou dessalinização). A superação dos desafios regulatórios, como a outorga hídrica, e a formalização de uma estratégia governamental robusta são os próximos passos indispensáveis para que o Estado transforme seu potencial em riqueza e liderança na transição energética.

O H2V, ao lado do desenvolvimento sustentável, representa a ponte para que Sergipe compense as emissões de GEE geradas por sua indústria de gás natural, garantindo um futuro energético mais limpo e economicamente diversificado para o Estado. A concretização desse potencial depende diretamente da celeridade e da inteligência estratégica na atração de know-how e capital internacional.

5.4.2. INTEGRAÇÃO ENTRE HIDROGÊNIO VERDE, DESSALINIZAÇÃO E ENERGIA SOLAR

A produção em larga escala de Hidrogênio Verde exige disponibilidade de eletricidade renovável e água de qualidade adequada para eletrólise. Considerando as restrições hídricas observadas no semiárido nordestino e a crescente pressão sobre a Bacia do Rio São Francisco, destaca-se a dessalinização como alternativa estratégica para garantir sustentabilidade hídrica aos futuros empreendimentos.

A combinação entre energia solar fotovoltaica e sistemas de dessalinização apresenta elevada sinergia em Sergipe. A elevada irradiância solar do litoral e do semiárido (conforme apresentado nos itens anteriores) permite alimentar simultaneamente eletrolisadores e unidades dessalinizadoras, reduzindo custos operacionais e ampliando a segurança hídrica.

Essa integração produz benefícios múltiplos:

- reduz a dependência de mananciais superficiais;
- minimiza conflitos pelo uso da água;
- aumenta a resiliência climática dos projetos;
- fortalece a competitividade internacional do hidrogênio produzido em Sergipe;
- cria oportunidade para abastecimento hídrico complementar de comunidades vulneráveis.

Diante das informações disponíveis e analisadas anteriormente, o modelo "Solar + Dessalinização + H_2V" representa um dos arranjos tecnológicos mais aderentes às características territoriais do Estado de Sergipe.

5.4.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA PRODUÇÃO

A produção de hidrogênio verde em Sergipe apresenta grande potencial devido aos recursos solares e eólicos disponíveis, necessários para a eletrólise da água, principal tecnologia utilizada. A viabilidade depende do acesso sustentável à água, baixos custos de equipamentos, incentivos governamentais e investimentos em infraestrutura para produção, armazenamento e transporte. O Estado conta com mercado consumidor potencial, especialmente na indústria e na exportação para a Europa. A regulação nacional e internacional está avançando para apoiar o setor, e programas estaduais visam atrair investimentos e capacitar profissionais (FGV, 2025).

Sergipe pode produzir volumes expressivos de hidrogênio verde, amônia e metanol utilizando energia solar e eólica. A infraestrutura existente, como linhas de transmissão, porto e ZPE, favorece a exportação e abertura de novos mercados. Sinergias com setores de óleo e gás e reservatórios para armazenar CO_2 fortalecem a transição energética local. No contexto global, o hidrogênio verde é estratégico para descarbonização e o Brasil possui vantagens ambientais e econômicas relevantes.

Entretanto, desafios persistem, como a falta de uma estratégia integrada de infraestrutura e baixo investimento em pesquisa e inovação. Recomenda-se fortalecer o

ecossistema de inovação, envolver universidades e preparar estruturas essenciais para consolidar Sergipe como referência nacional em redes e economia de baixo carbono.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do cenário energético do Estado de Sergipe mostra o papel central do gás natural na geração de eletricidade. Embora o setor energético ainda seja fortemente dependente de combustíveis fósseis, há uma clara tendência à diversificação, com incentivos à ampliação do uso de fontes renováveis.

A estrutura produtiva estadual conta com a atuação de empresas nacionais e internacionais, consolidando Sergipe como um polo estratégico no segmento energético brasileiro. Essa pluralidade contribui para fomentar investimentos e promover o desenvolvimento tecnológico, especialmente na modernização das redes e na otimização da capacidade instalada.

Sergipe conta com uma localização geográfica que favorece a implementação de projetos de energia solar e eólica. A elevada incidência solar e a faixa litorânea ampliam as oportunidades para a expansão de fontes limpas e sustentáveis, alinhando-se às diretrizes nacionais de descarbonização.

Entre os principais desafios identificados está a necessidade de modernizar a infraestrutura existente, especialmente no que diz respeito à ampliação da eficiência energética e à implantação de redes inteligentes. O aprimoramento regulatório e a qualificação profissional também foram destacados como fatores críticos para viabilizar a transição energética.

Os dados reforçam a importância do gás natural enquanto vetor de desenvolvimento, mas ressaltam obstáculos técnicos e operacionais que precisam ser superados para garantir a segurança energética e a sustentabilidade ambiental.

A participação ativa de instituições de pesquisa e da sociedade civil é essencial para a construção de soluções inovadoras e para a tomada de decisões de longo prazo, visando atender aos interesses coletivos e promover o desenvolvimento sustentável.

É importante destacar que as políticas estaduais estão alinhadas com as diretrizes nacionais, incorporando incentivos para a expansão das fontes alternativas e para a promoção de uma matriz energética mais limpa e diversificada.

Outro destaque é a integração de múltiplas fontes energéticas, incluindo hidrelétrica, biomassa, solar, eólica e hidrogênio verde, com planejamento voltado para atender às demandas econômicas e ambientais do Estado.

Vale ressaltar, também, que a transição energética exige investimentos robustos em pesquisa, desenvolvimento e infraestrutura, além da formação de profissionais capacitados para atuar nas novas áreas de tecnologia e gestão energética.

Por fim, os resultados do relatório indicam que Sergipe está bem posicionado para ampliar sua atuação no setor de energias renováveis, aproveitando a expertise prévia nos segmentos de óleo e gás para fomentar novas soluções tecnológicas e garantir um futuro mais sustentável para o Estado.

7. REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. Boletim Anual 2024. São Paulo, 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Banco de Informações de Geração (BIG). Brasília: ANEEL, 2025.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Micro e minigeração distribuída de energia elétrica cresceu 8,85 GW em 2024. Brasília, 17 jan. 2025. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/micro-e-minigeracao-cresce-885-gw-em-2024. Acesso em: 14 out. 2025.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL e governo de Sergipe discutem qualidade do serviço de energia no Estado. Brasília, 16 jan. 2025. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/servico-de-energia-segipe. Acesso em: 14 out. 2025.
- AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESTADO DE SERGIPE (AGRESE). Boletim Mensal Produção e Consumo de Gás Natural Nacional e Estadual. Aracaju, SE, jan. 2022. Disponível em: https://agrese.se.gov.br/wp-content/uploads/2022/01/2023.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.
- AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESTADO DE SERGIPE (AGRESE). Portaria N° 78/2025, de 30 de setembro de 2025. Dispõe sobre os critérios e condições para implantação de Redes Estruturantes do sistema de distribuição de gás e seus intercambiáveis no Estado de Sergipe. Aracaju, 2025.
- ALESE – Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe. Lei aprovada na Alese estimula a geração de energia solar em Sergipe. Aracaju, 24 jan. 2024. Disponível em: https://www.alese.se.gov.br/energia-solar-sergipe. Acesso em: 14 out. 2025.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Onshore no Brasil – Potencial E&P em Sergipe Atuação da ANP. Brasília, DF, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes-palestras/2023/arquivos/2023-08-16-symone-araujo-sergipe-oil-gas.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 482/2012. Brasília: ANEEL, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP nº 685/2017. Rio de Janeiro: ANP, 2017.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Desafios e oportunidades no Mercado de Gás Natural: Mercado de Gás Natural em Sergipe. Brasília, DF, 24 jul. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-

br/centrais-de-conteudo/apresentacoes-palestras/2024/arquivos/2024-07-24-symone-araujo-sog.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.

- ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Infográfico ABSOLAR: Geração Distribuída Solar FV no Brasil. São Paulo, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS (ABiogás). Perspectivas para o Biogás no Brasil. São Paulo: ABiogás, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE QUÍMICA FINA, BIOTECNOLOGIA E SUAS ESPECIALIDADES (ABIFINA). Biogás e Biometano: Panorama no Brasil. Rio de Janeiro: ABIFINA, 2023.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Energia de Biomassa: Oportunidades e Desafios. Rio de Janeiro: BNDES, 2022.
- BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Estabelece o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 6 jan. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 15 out. 2025.
- CANAL ENERGIA. EPE encontra margem de pelo menos 3,9 GW para conexão de projetos de H2 no NE. Canal Energia, 10 out. 2024. Disponível em: https://canalenergia.com.br/epe-margem-para-h2-ne. Acesso em: 15 out. 2025.
- CIBiogás. Atlas do Potencial Brasileiro de Biogás. 3. ed. Toledo: CIBiogás, 2022.
- CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. Matriz de Geração e Ativos de Transmissão no Nordeste. Recife, 2024.
- CENÁRIO ENERGIA. Sergipe acelera projeto bilionário de hidrogênio verde e conquista liberação para conexão ao Sistema Elétrico Nacional. Cenário Energia, 23 maio 2025. Disponível em: https://cenarioenergia.com.br/sergipe-hidrogenio-verde. Acesso em: 15 out. 2025.
- DESTAQUE NOTÍCIAS. Instalação de energia solar cresce 14,9% em Sergipe. Aracaju, 3 jan. 2025. Disponível em: https://destaquenoticias.com.br/instalacao-solar-sergipe. Acesso em: 14 out. 2025.
- DESTAQUE NOTÍCIAS. Sergipe é o patinho feio na geração de energia eólica. Aracaju, 13 ago. 2023. Disponível em: https://destaquenoticias.com.br/energia-eolica-sergipe. Acesso em: 15 out. 2025.
- DIALNET. Políticas públicas e incentivos para o crescimento das energias renováveis em Sergipe: um comparativo com outras regiões do. Curitiba, v. 23, n. 4, 11 abr. 2025.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Balanço Energético Nacional (BEN) 2024: Ano Base 2023. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em:

https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2024: Ano Base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 (PDE 2032). Rio de Janeiro, 2023.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica. Acesso em: 15 out. 2025.
- ENERGISA. Relatório de Sustentabilidade 2023. Aracaju, 2023.
- FGV. Agenda Estratégica de Transição Energética do Estado de Sergipe. Rio de Janeiro, 2025.
- FGV. Perspectivas para o desenvolvimento do mercado de gás natural (e o papel do Estado de Sergipe). Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/arquivos/apresentacao_heloisa_borges_0.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.
- GOVERNO DE SERGIPE. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia (SEDETEC). [Planos e Investimentos em Infraestrutura e Transição Energética]. Aracaju, 2024.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ibama emite 1ª licença prévia para projeto eólico offshore no Brasil. Brasília, 24 jun. 2025. Disponível em: https://ibama.gov.br/licenca-eolica-offshore. Acesso em: 15 out. 2025.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Atlas de Energia Eólica Offshore no Brasil. Brasília, 2024.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Portaria SNTEP/MME Nº 2945, de 16 de maio de 2025. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio 2025.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: MME, 2020.
- MOVIMENTO ECONÔMICO. Sergas e Grupo Orizon anunciam parceria para produção de biometano. Sergipe, 28 jul. 2025. Disponível em: https://movimentoeconomico.com.br/sergas-orizon-biometano. Acesso em: 15 out. 2025.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: [URL]. Acesso em: 28 out. 2025.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Relatório de Operação 2025. Brasília: ONS, 2025.

- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Relatório de Análise da Operação (RAO). Rio de Janeiro, 2024.
- PETROBRAS. Petrobras comemora 50 anos da descoberta do campo de Carmópolis. Rio de Janeiro, 16 ago. 2013. Disponível em: https://cinttec.ufs.br/uploads/content_attach/path/5732/petrobras_comemora_50_anos_da_descoberta_do_campo_de_carmopolis_18-08-16.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.
- PGE-SE. PGE-SE acompanha medidas para implementar o Sergipe Águas Profundas e Hub de Gás de Sergipe. Aracaju, 20 mar. 2024. Disponível em: https://pge.se.gov.br/pge-se-acompanha-medidas-para-implementar-o-sergipe-aguas-profundas-e-hub-de-gas-de-sergipe/. Acesso em: 15 out. 2025.
- RI/UFS – Repositório Institucional da Universidade Federal de Sergipe. Caracterização de águas produzidas provenientes de campos petrolíferos onshore do Estado de Sergipe. Aracaju, [s.d.]. Disponível em: https://ri.ufs.br/handle/riufs/6117. Acesso em: 15 out. 2025.
- SEBRAE. Relatório de Cenário O&G Onshore: 2ª Edição 2023. Brasília, DF, 2023. Disponível em: https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Arquivos/PetroSupply/Relatorio_de_Cenario_O&G_Onshore_1_Edicao_2023.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.
- SEDETEC – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia. Diretor da Petrobras detalha ações do programa Sergipe Águas Profundas. Aracaju, 2021. Disponível em: https://sedetec.se.gov.br/diretor-da-petrobras-detalha-acoes-do-programa-sergipe-aguas-profundas/. Acesso em: 15 out. 2025.
- SEDETEC – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia. Projetos estruturantes marcam setor de petróleo e gás em Sergipe durante 2024. Aracaju, 19 dez. 2024. Disponível em: https://sedetec.se.gov.br/projetos-estruturantes-marcam-setor-de-petroleo-e-gas-em-sergipe-durante-2024/. Acesso em: 15 out. 2025.
- SEDETEC – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia. Sergipe Oil & Gas destaca desafios e oportunidades no Estado. Aracaju, [s.d.]. Disponível em: https://sedetec.se.gov.br/sergipe-oil-gas-destaca-desafios-e-oportunidades-no-estado/. Acesso em: 15 out. 2025.
- SEDETEC – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia. Transição Energética: (Diretrizes para Sergipe). [S. l.], 2023. Disponível em: https://desenvolve.se.gov.br/wp-content/uploads/2024/06/TRANSICAO-ENERGETICA-min.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.
- SENADO FEDERAL. Revista de Informação Legislativa. Brasília, DF, v. 60, n. 240, p. 107, jan./mar. 2023. Disponível em:

https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/60/240/ril_v60_n240_p107.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.

- SERGIPETEC – Núcleo de Energias Renováveis e Eficiência Energética de Sergipe (Nerees). Disponível em: https://sergipetec.se.gov.br/nerees. Acesso em: 15 out. 2025.
- SERGIPETEC – Parque Tecnológico de Sergipe. Energia Solar em Sergipe: Uma análise dos dados. Aracaju, set. 2024.
- SERGIPENOTICIAS. Pesquisa sergipana busca desenvolver sistema acessível de produção de hidrogênio. Sergipe Notícias, 19 set. 2025. Disponível em: https://sergipenoticias.com.br/pesquisa-hidrogenio-accessivel. Acesso em: 15 out. 2025.
- SERGIPE GÁS S/A (SERGAS). Sergas e Orizon firmam protocolo de intenções para viabilizar produção de biometano em Sergipe. Sergas, Sergipe, 26 jul. 2025. Disponível em: https://sergipigas.com.br/biometano-parceria. Acesso em: 15 out. 2025.
- GOVERNO DO ESTADO DE SERGIPE. Política Estadual de Incentivo às Energias Renováveis. Aracaju: SE, 2023.
- SERGIPE. Decreto 447, de 14 de março de 2023. Dispõe sobre a isenção do ICMS em operações com equipamentos e componentes para geração de energia solar e eólica. Aracaju, 2023a.
- SERGIPE. Governo impulsiona transição energética no Estado com pesquisas científicas e capacitações técnicas. Governo de Sergipe, 19 ago. 2025. Disponível em: https://www.se.gov.br/governo-impulsiona-transicao-energetica. Acesso em: 15 out. 2025.
- SERGIPE. Nova visita de grupo europeu demonstra avanço nas negociações que permitirão a criação do Hub de Hidrogênio Verde em Sergipe, com investimentos previstos de até US$ 5 bilhões e foco em energia limpa e exportação. Governo de Sergipe, 22 nov. 2024. Disponível em: https://www.se.gov.br/visita-grupo-europeu-hub-hidrogenio-verde. Acesso em: 15 out. 2025.
- SERGIPE. Sergipe elabora Plano de Transição Energética e se posiciona como referência nacional no setor. Governo de Sergipe, 11 ago. 2025. Disponível em: https://www.se.gov.br/plano-transicao-energetica-sergipe. Acesso em: 15 out. 2025.
- SERGIPE. Governo de Sergipe dá pontapé inicial para criação do Hub de Hidrogênio Verde. Desenvolve-SE, 3 set. 2024. Disponível em: https://www.se.gov.br/inicio-hub-hidrogenio-verde. Acesso em: 15 out. 2025.
- SERGIPE. Plano Estratégico de Desenvolvimento 2023-2026. Aracaju, 2023b.
- SENADO FEDERAL. Revista de Informação Legislativa. Brasília, DF, v. 60, n. 240, p. 107, jan./mar. 2023. Disponível em:

https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/60/240/ril_v60_n240_p107.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.

- UFS – Universidade Federal de Sergipe. Energia Solar: um panorama sobre o Estado de Sergipe. São Cristóvão, 2024.
- UFS – Universidade Federal de Sergipe. Potencial Eólico em Sergipe: Identificação de Áreas Promissoras para Geração de Eletricidade. São Cristóvão, out. 2024.

8. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: RESULTADOS E BENEFÍCIOS DAS AÇÕES DO PROCEL EM 2023 9
FIGURA 2: ECONOMIA DE ENERGIA DECORRENTE DAS AÇÕES DO PROCEL ENTRE 2019 E 2023 (EM BILHÕES DE KWH) 10
FIGURA 3: RANKING DA TARIFA DE ENERGIA DOS ESTADOS DO NORDESTE EM 2023 12
FIGURA 4: PRODUÇÃO DE PETRÓLEO EM SERGIPE - 01/01/2010 A 31/08/2025 18
FIGURA 5: PRODUÇÃO DE GÁS NATURAL EM SERGIPE - 01/01/2010 A 31/08/2025 18
FIGURA 6: POTÊNCIA INSTALADA POR TIPO DE PRODUÇÃO, EM SERGIPE 26
FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, EM SERGIPE 27
FIGURA 8: REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE E GERAÇÃO DE EMPREGO NA CADEIA DO BIOGÁS, POR ANO 30
FIGURA 9: SUBESTAÇÕES DE ENERGIA EM SERGIPE 34
FIGURA 10: CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SETOR INDUSTRIAL, POR TIPO DE CONSUMIDOR, EM 2024 - SE (GWH) 39
FIGURA 11: CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SETOR COMERCIAL, POR TIPO DE CONSUMIDOR, EM 2024 - SE (GWH) 41
FIGURA 12: PARTICIPAÇÃO DAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE CARROS ELETRIFICADOS REGISTRADOS EM SERGIPE 44
FIGURA 13: DISPERSÃO DE POTENCIAL FOTOVOLTAICO POR ÁREA (KM^2) 51
FIGURA 14: POTENCIAL BRUTO PARA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, BRASIL E SERGIPE 53
FIGURA 15: POTENCIAL TÉCNICO PARA ENERGIA SOLAR EM SERGIPE 54
FIGURA 16: DISPERSÃO DO POTENCIAL EÓLICO POR ÁREA (KM^2) 60
FIGURA 17: POTENCIAL BRUTO PARA ENERGIA EÓLICA EM SERGIPE 63
FIGURA 18: POTENCIAL TÉCNICO PARA ENERGIA EÓLICA EM SERGIPE 64
FIGURA 19: DEMANDA POR HIDROGÊNIO NOS CENÁRIOS GLOBAIS DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E DESCARBONIZAÇÃO 71
FIGURA 20: NECESSIDADES DE INVESTIMENTO EM MERCADOS EMERGENTES E PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO ATÉ 2030 72

9. LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Volume Comercializado e Nº de Unidades Usuárias de Gás Natural do Segmento Industrial – SE / 2023 e 2024 39
Tabela 2: Volume Comercializado e Nº de Unidades Usuárias de Gás Natural do Segmento Residencial – SE / 2023 e 2024 40
Tabela 3: Volume Comercializado e Nº de Unidades Usuárias de Gás Natural do Segmento Comercial – SE / 2023 e 2024 41
Tabela 4: Volume Comercializado de Combustíveis em Sergipe, em m³ - 2019 a 2024..... 42
Tabela 5: Potencial de biogás a curto prazo convertido em energia elétrica..... 67

10. LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes Energéticas: Produção e Uso em Sergipe..... 5
Quadro 2: Metas e Potenciais Chaves da Eficiência Energética no Brasil 7
Quadro 3: Relação Investimento/Benefício da Eficiência Energética 11
Quadro 4:Fatores de Competitividade Energética em Sergipe (2023) 14
Quadro 5: Principais tecnologias de carros eletrificados registrados em Sergipe e suas principais características..... 43
Quadro 6: Oportunidades, Riscos e Estratégias de Mitigação da Expansão do Gás Natural em Sergipe 47

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (Produto 2.1)

São Paulo, janeiro/2026

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 6

2. O PLANO ESTADUAL DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DE SERGIPE 6

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO 7
2.2. OBJETIVOS E METAS 8
2.2.1. OBJETIVO GERAL 8
2.2.2. METAS ESTRATÉGICAS NOS EIXOS TEMÁTICOS 9
2.2.3. ALINHAMENTO COM POLÍTICAS PÚBLICAS ESTADUAIS E NACIONAIS 13
2.2.4. BASE CONCEITUAL 15
2.2.5. ARCABOUÇO LEGAL E AGENDA CLIMÁTICA 17

3. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL E CLIMÁTICO 19

3.1. CARACTERIZAÇÃO TERRITORIAL 19
3.1.1. LOCALIZAÇÃO E LIMITES GEOGRÁFICOS 19
3.1.2. DIVISÕES CLIMÁTICAS E CARACTERÍSTICAS 20
3.1.3. CARACTERIZAÇÃO DEMOGRÁFICA 24
3.1.4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E TENDÊNCIAS OBSERVADAS 32
3.1.5. VULNERABILIDADE COSTEIRA E RISCOS DE INUNDAÇÃO 42
3.1.6. PROJEÇÕES CLIMÁTICAS (2030-2100) 44
3.1.7. INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE 62

4. EIXOS ESTRATÉGICOS 82

4.1. APRESENTAÇÃO 82
4.2. ESTRUTURA DOS CINCO EIXOS ESTRATÉGICOS 82
4.3. PRINCÍPIOS NORTEADORES 84
4.4. EIXO 1 – MONITORAMENTO CLIMÁTICO E FORTALECIMENTO DA BASE DIAGNÓSTICA 86
4.4.1. OBJETIVO GERAL DO EIXO 1 86
4.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 86
4.4.3. ALINHAMENTO COM MARCOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS 87
4.4.4. ESTRUTURA DE INDICADORES: SISTEMA MRV DE 48 INDICADORES ... 87
4.4.5. PERIODICIDADE DE MONITORAMENTO E REPORTE 88
4.4.6. RESPONSABILIDADE POR GRUPOS DE INDICADORES 89
4.4.7. SISTEMA DE REPORTE (RELATO) 90
4.4.8. PROTOCOLOS DE COLETA DE DADOS DOS 48 INDICADORES DO SISTEMA MRV 93
4.4.9. PORTAL DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA (CLIMA.SE.GOV.BR) 96
4.4.10. INFRAESTRUTURA TECNOLÓGICA DO SISTEMA MRV 97
4.4.11. GESTÃO ADAPTATIVA E APRENDIZAGEM CONTÍNUA 98
4.4.12. METAS DO EIXO 1 PARA 2030 100
4.4.13. RECURSOS NECESSÁRIOS NO EIXO 1 101
4.5. EIXO 2 – GOVERNANÇA CLIMÁTICA PARTICIPATIVA 101
4.5.1. OBJETIVO GERAL DO EIXO 2 101

4.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 102
4.5.3. ARQUITETURA INSTITUCIONAL: 4 NÍVEIS HIERÁRQUICOS 102
4.5.4. DESCENTRALIZAÇÃO MUNICIPAL: ESTRATÉGIA DE CAPILARIZAÇÃO 106
4.5.5. PARTICIPAÇÃO SOCIAL E CONTROLE DEMOCRÁTICO 110
4.5.6. MATRIZ DE RESPONSABILIDADES INSTITUCIONAIS 112
4.5.7. FORTALECIMENTO INSTITUCIONAL: AÇÕES PRIORITÁRIAS 2026 113
4.5.8. METAS DO EIXO 2 PARA 2030 114
4.5.9. RECURSOS NECESSÁRIOS NO EIXO 2 115
4.6. EIXO 3 – MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA INTEGRADAS 115
4.6.1. FUNDAMENTOS DA INTEGRAÇÃO MITIGAÇÃO-ADAPTAÇÃO 115
4.6.2. COMPONENTE A – MITIGAÇÃO DE EMISSÕES 116
4.6.3. COMPONENTE B – ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS 127
4.6.4. INTEGRAÇÃO E SINERGIAS MITIGAÇÃO-ADAPTAÇÃO 157
4.7. EIXO 4 – FINANCIAMENTO CLIMÁTICO E INSTRUMENTOS ECONÔMICOS 159
4.7.1. OBJETIVO GERAL DO EIXO 4 159
4.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 159
4.7.3. ARQUITETURA DE FONTES DE FINANCIAMENTO 160
4.7.4. FONTES DE FINANCIAMENTO 160
4.7.5. INSTRUMENTOS ECONÔMICOS 164
4.7.6. GOVERNANÇA FINANCEIRA 167
4.7.7. INDICADORES E METAS DO EIXO 4 169
4.7.8. GESTÃO DE RISCOS FINANCEIROS 170
4.8. EIXO 5 – JUSTIÇA CLIMÁTICA E INCLUSÃO SOCIOAMBIENTAL 173
4.8.1. CONCEITOS E PRINCÍPIOS 174
4.8.2. POVOS E POPULAÇÕES VULNERÁVEIS EM SERGIPE 174
4.8.3. ESTRATÉGIAS DE JUSTIÇA CLIMÁTICA 177
4.8.4. INDICADORES DE JUSTIÇA CLIMÁTICA 179
4.8.5. METAS DO EIXO 5 PARA 2030 180
4.9. INTEGRAÇÃO ENTRE OS EIXOS ESTRATÉGICOS 181
4.10. METAS SÍNTESE DO PEMAMC-SE 182
4.10.1. VISÃO INTEGRADA 2030 (METAS INTERMEDIÁRIAS) 182
4.10.2. VISÃO INTEGRADA DE LONGO PRAZO 184
4.10.3. SÍNTESE DE INDICADORES-CHAVE (9 INDICADORES PRIORITÁRIOS) 185
4.10.4. ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA NECESSÁRIOS 186
4.10.5. SEQUENCIAMENTO LÓGICO DE PLANEJAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO 187

5. CAPACITAÇÃO, EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO 188

5.1. CAPACITAÇÃO DE GESTORES PÚBLICOS 188
5.1.1. PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS 188
5.1.2. ESTRUTURA CURRICULAR 188
5.1.3. ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO 189
5.2. EDUCAÇÃO CLIMÁTICA FORMAL 189

5.2.1. DIRETRIZES CURRICULARES 190
5.2.2. ESTRATÉGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO 191
5.2.3. EDUCAÇÃO CLIMÁTICA NO ENSINO SUPERIOR 192
5.3. COMUNICAÇÃO SOCIAL E MOBILIZAÇÃO 193
5.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 193
5.3.2. PÚBLICOS-ALVO 193
5.3.3. ESTRATÉGIAS E CANAIS DE COMUNICAÇÃO 193
5.3.4. COMBATE À DESINFORMAÇÃO 196
5.3.5. INDICADORES DE COMUNICAÇÃO E MOBILIZAÇÃO 196
5.4. ARTICULAÇÃO ENTRE CAPACITAÇÃO, EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO 197
5.5. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO 197
5.5.1. INDICADORES DE GOVERNANÇA (GRUPO G): 198
5.6. SÍNTESE 198

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 199

6.1. SÍNTESE DO DIAGNÓSTICO: VULNERABILIDADES E EMISSÕES 199
6.2. VISÃO ESTRATÉGICA: CINCO EIXOS, UM OBJETIVO 200
6.3. VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCIAMENTO: COMPROMISSO COM RESPONSABILIDADE FISCAL 202
6.3.1. METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO EM FASES INTEGRADAS: PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO ADAPTATIVO SOB INCERTEZA PROFUNDA 202
6.4. IMPLEMENTAÇÃO: FASEAMENTO, PRIORIZAÇÃO E COORDENAÇÃO .. 204
6.5. MONITORAMENTO, REPORTE E VERIFICAÇÃO: TRANSPARÊNCIA COMO PILAR 205
6.6. CAPACITAÇÃO, EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO: INVESTINDO EM PESSOAS 205
6.7. DESAFIOS À IMPLEMENTAÇÃO 206
6.8. PERSPECTIVAS: SERGIPE COMO REFERÊNCIA SUBNACIONAL 207
6.9. MENSAGEM FINAL: DA URGÊNCIA À AÇÃO, DA AÇÃO À TRANSFORMAÇÃO 208

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 209

8. GLOSSÁRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO 222

8.1. APRESENTAÇÃO 222
8.2. ACORDOS E POLÍTICAS INTERNACIONAIS 222
8.3. POLÍTICA NACIONAL E ESTADUAL 223
8.4. GASES E EMISSÕES 224
8.5. MODELAGEM CLIMÁTICA E CENÁRIOS 224
8.6. ÍNDICES E INDICADORES CLIMÁTICOS 225
8.7. INDICADORES ECONÔMICOS E SOCIAIS 226
8.8. AGRICULTURA, FLORESTAS E USO DA TERRA 226
8.9. MONITORAMENTO, RELATO E VERIFICAÇÃO 227
8.10. FINANCIAMENTO E ECONOMIA CLIMÁTICA 228
8.11. ADAPTAÇÃO E SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA 228
8.12. ENERGIA E TRANSPORTE 229

8.13. RESÍDUOS E ECONOMIA CIRCULAR 229
8.14. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL E CERTIFICAÇÕES 230
8.15. RECURSOS HÍDRICOS E HIDROLOGIA 230
8.16. METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA 231
8.17. SIGLAS INSTITUCIONAIS E TÉCNICAS COMPLEMENTARES 231
8.18. TERMOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS ADICIONAIS 234

9. ANEXO – PLANO ESTADUAL DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR 235

10. LISTA DE TABELAS 236

11. LISTA DE QUADROS 236

1. APRESENTAÇÃO

O Produto 2.1, intitulado Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), constitui o documento técnico central do Módulo 2 do Projeto desenvolvido pela Fundação Instituto de Administração – FIA, para a Secretaria de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC.

A elaboração do PEMAMC-SE vincula-se ao Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE) e, por consequência, ao Contrato n° 08/2025 firmado entre a SEMAC e a Fundação.

Este instrumento é essencial para operacionalizar a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 9.364, de 2024), garantindo que o Estado de Sergipe cumpra as metas estabelecidas no Acordo de Paris e nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) brasileiras.

Entre os seus objetivos principais, destaca-se o compromisso de atingir a neutralidade climática até 2050, com uma meta intermediária de redução de 60% das emissões de GEE até 2035, consolidando uma trajetória de desenvolvimento resiliente e de baixo carbono para Sergipe.

2. O PLANO ESTADUAL DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DE SERGIPE

O Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Sergipe (PEMAMC-SE) constitui um instrumento técnico e estratégico de planejamento ambiental, elaborado em conformidade com a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, instituída pela Lei nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, e alinhado às metas nacionais estabelecidas nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do Brasil, no âmbito do Acordo de Paris (2015). O Plano busca orientar as ações do Estado de Sergipe no enfrentamento da crise climática, promovendo a integração entre mitigação e adaptação, bem como a incorporação de critérios de sustentabilidade nas políticas públicas estaduais.

O PEMAMC-SE tem por finalidade definir as diretrizes, estratégias e medidas necessárias à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e ao fortalecimento da capacidade adaptativa da sociedade sergipana frente aos impactos climáticos. Seu desenvolvimento segue uma abordagem intersetorial e participativa, baseada em evidências científicas e na articulação entre governo, academia, setor produtivo e

sociedade civil. Essa estrutura reforça o compromisso de Sergipe com a governança climática e com a transição justa para uma economia de baixo carbono.

Organizado em eixos estratégicos, o Plano compreende ações voltadas ao diagnóstico técnico das emissões e vulnerabilidades, à governança climática, à integração das políticas de mitigação e adaptação, ao planejamento e monitoramento contínuos e à mobilização de financiamento climático. Tais diretrizes visam assegurar coerência entre políticas setoriais e fortalecer a resiliência socioambiental do Estado.

O PEMAMC-SE representa, portanto, um marco no esforço de Sergipe para enfrentar as mudanças do clima, consolidando políticas públicas baseadas em ciência, participação e equidade territorial. Sua implementação reflete o compromisso do Estado em contribuir para o alcance das metas climáticas nacionais e internacionais, promovendo o desenvolvimento sustentável nas zonas climáticas do Sertão, Agreste e Litoral.

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O Estado de Sergipe, com área de 21.938 km² e uma população estimada em 2,3 milhões de habitantes (IBGE, 2022), destaca-se como o menor estado brasileiro em extensão territorial, porém com elevada densidade populacional (104,9 hab/km²) e crescente concentração urbana. Sua economia, estimada em R$ 45,5 bilhões (PIB 2020), é sustentada principalmente pelos setores de serviços, agropecuária e exploração de petróleo e gás natural, o que evidencia a necessidade de conciliar desenvolvimento econômico com sustentabilidade ambiental e climática.

Nas últimas décadas, Sergipe vem experimentando mudanças climáticas expressivas. Entre 1985 e 2021, observou-se aumento de +0,9°C na temperatura média (+1,0°C na temperatura máxima), à taxa de 0,24°C por década (Produto 1.1), e uma redução de aproximadamente 78 mm/ano (-4%) na precipitação média, acompanhada de maior concentração de chuvas em eventos extremos. A frequência de dias com temperatura superior a 35°C aumentou em 35% desde 1980, e entre 1985 e 2023 foram registradas 404 ondas de calor, revelando a intensificação de fenômenos climáticos extremos.

As projeções climáticas para o período 2030–2100 reforçam a urgência de ações estruturadas. No cenário intermediário (SSP2-4.5), projeta-se aquecimento de +2,7°C (faixa entre modelos de 2,2°C a 3,2°C) em 2071–2100, em relação a 1985–2014, com redução de precipitação de -17%. No cenário pessimista (SSP5-8.5), o aquecimento pode alcançar +5,3°C (4,4°C a 6,4°C), com declínio de -23% nas chuvas, provocando expansão

do semiárido para áreas hoje subúmidas, aumento de 150% nos dias consecutivos secos, redução de até 30% na disponibilidade hídrica e elevação do nível do mar entre 0,63 m e 1,02 m até 2100 (0,45 m a 0,77 m no SSP2-4.5). Esses impactos projetam desafios importantes para a segurança hídrica, para a produção agropecuária, para a saúde pública e para a infraestrutura urbana, especialmente nas zonas costeiras e semiáridas do estado.

O inventário estadual de emissões de gases de efeito estufa (ano-base 2024) indica emissões líquidas de 8,96 milhões de toneladas de CO_2 equivalente ($MtCO_2e$) e emissões brutas de 9,87 $MtCO_2e$, sendo as principais fontes a energia (36,4%), a agropecuária (25,5%) e os processos industriais-IPPU (17,3%). Em termos per capita, as emissões líquidas alcançam 3,83 tCO_2e por habitante por ano, valor acima da trajetória compatível com o limite de 1,5°C estabelecido pelo Acordo de Paris e com a meta estadual de 3,58 $MtCO_2e$ em 2035 (≈1,5 tCO_2e/hab/ano). Entre as principais fontes emissoras destacam-se a fermentação entérica (21%), o transporte rodoviário (13%), a combustão industrial (12%) e as alterações de uso da terra (11%).

Diante desse cenário, o Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) se apresenta como um instrumento estratégico de planejamento e gestão, destinado a orientar políticas públicas e ações intersetoriais voltadas para a redução de emissões de GEE, o fortalecimento da resiliência socioambiental e a integração de estratégias de adaptação em setores críticos, como agricultura, energia, recursos hídricos, infraestrutura e saúde. O Plano busca ainda posicionar Sergipe como referência em governança climática subnacional, alinhando-se às diretrizes da Política Estadual sobre Mudança do Clima e às melhores práticas nacionais e internacionais. O desafio é transformar os riscos climáticos em oportunidades para inovação, sustentabilidade e desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono, promovendo um futuro mais resiliente e sustentável para todas as regiões climáticas do estado — Sertão, Agreste e Litoral.

2.2. OBJETIVOS E METAS

2.2.1. OBJETIVO GERAL

O Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Sergipe (PEMAMC-SE) se propõe a promover a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o fortalecimento da capacidade adaptativa do Estado de Sergipe frente aos impactos das mudanças climáticas no horizonte 2026–2050.

2.2.1.1. Objetivos específicos

- A partir de Diagnóstico com base científica elaborar e atualizar periodicamente os inventários estaduais de emissões e remoções de GEE, estudos de vulnerabilidade climática e cenários climáticos futuros, como subsídio técnico-científico contínuo para a formulação de políticas e metas de mitigação e adaptação.
- Sobre Governança climática participativa, o PEMAMC-SE se propõe a estruturar mecanismos de coordenação interinstitucional e participação social, assegurando a integração entre órgãos públicos, academia, setor produtivo, comunidades tradicionais e sociedade civil organizada, fortalecendo a governança climática estadual.
- Para contemplar a Integração entre mitigação e adaptação promover a coerência e sinergia entre políticas setoriais (agricultura, energia, recursos hídricos, mobilidade, saúde e infraestrutura), evitando a fragmentação de esforços e ampliando a eficácia das ações de mitigação e adaptação.
- Sobre Planejamento, monitoramento e financiamento, implantar um sistema estadual de Monitoramento, relato e verificação (MRV) das metas climáticas, com revisões periódicas quadrienais orientadas pelo plano plurianual, definição de indicadores de desempenho e estratégias de financiamento climático sustentável.
- Sobre Justiça climática e territorial priorizar a implantação de políticas e ações que reduzam as desigualdades socioambientais, com foco nas populações mais vulneráveis — rurais, costeiras, urbanas periféricas e tradicionais —, assegurando uma transição justa e equitativa entre as zonas climáticas do Sertão, Agreste e Litoral.
- Para contemplar Educação e conscientização ambiental o PEMAMC-SE se propõe integrar programas de educação ambiental, capacitação técnica e comunicação pública para ampliar o engajamento social, estimular práticas sustentáveis e fortalecer a cultura climática no território sergipano.

2.2.2. METAS ESTRATÉGICAS NOS EIXOS TEMÁTICOS[1]

I. Eixo 1 – Monitoramento Climático e Fortalecimento da Base Diagnóstica:

- **Meta – 2030:**

Expandir e modernizar a rede de monitoramento meteorológico de Sergipe, elevando-a de 9 para pelo menos 22 estações climatológicas, distribuídas de forma homogênea entre as regiões climáticas Sertão, Agreste e Litoral, e distribuídas nos

[1] Obs: Essas metas estão alinhadas com a NDC brasileira, o Acordo de Paris, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7, 11, 12, 13, 14, 15) e as boas práticas da rede C40 Cities e ICLEI.

territórios, conforme malha referencial de 0,25° (~27 km), integradas ao sistema nacional de observação climática. Em tempo, contribuindo fortemente com a robustez de uma rede de monitoramento de cobertura mais ampla, considerar as 50 estações climatológicas instaladas em 2024, somadas a mais 10 estações instaladas em 2025, pela Defesa Civil do Estado de Sergipe.

Para viabilizar o alcance dessa meta, é necessária a criação de um mecanismo de financiamento contínuo, considerando que a operação adequada das estações depende da disponibilidade permanente de recursos para manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, calibração dos sensores e demais ações necessárias à continuidade operacional da rede.

- **Indicadores de Desempenho:**
  - Número total de estações instaladas e operacionais;
  - Percentual de cobertura territorial monitorada e densidade de estações por área;
  - Frequência de atualização e disponibilidade pública dos dados meteorológicos.
- **Resultados Esperados:**
  - Aumento da precisão do diagnóstico climático estadual.
  - Melhoria nas análises de tendências, previsões de eventos extremos e planejamento de adaptação.
  - Integração efetiva de Sergipe à rede nacional de observação meteorológica, na medida em que seja possível a compatibilização dos dados.

II. Eixo 2 – Governança Climática Participativa:

- **Metas:**
  - 2030 – 100% dos 75 municípios com Secretaria ou órgão da administração direta equivalente, dedicado às mudanças climáticas, devidamente implantados, com infraestruturas e equipe técnica, para execução dos Planos Municipais de Mudanças Climáticas (PMMC) e integração com MRV estadual;
  - 2040 – Sistema de MRV totalmente automatizado com dados em tempo real;
  - 2050 – Estado de Sergipe consolidado como referência subnacional em transparência, participação social e gestão climática adaptativa.

- **Indicadores de Desempenho:**
  - Percentual de municípios com Secretaria ou órgão devidamente implantado;
  - Percentual de municípios com Planos Municipais de Mudanças Climáticas (PMMC) elaborados;
  - Número de técnicos capacitados e integrados ao sistema estadual de MRV;
  - Grau de interoperabilidade entre bancos de dados municipais e estaduais.
- **Resultados Esperados:**
  - Fortalecimento institucional da gestão climática estadual e municipal;
  - Governança participativa consolidada e transparente;
  - Maior efetividade e integração das ações de mitigação e adaptação em todos os territórios.

III. Eixo 3 – Mitigação e Adaptação Climática

- **Meta 1 – Redução de Emissões e Fortalecimento da Resiliência Territorial**
  - 2035: Reduzir 60% das emissões (de 8,96 para 3,58 $MtCO_2e$/ano) de GEE em relação ao cenário base de 2024, conforme compromisso brasileiro estabelecido no âmbito do Acordo de Paris, por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada – NDC;
  - 2050: Alcançar neutralidade climática (emissões líquidas zero), por meio da redução absoluta e compensação via sumidouros naturais (reflorestamento, manejo sustentável de solos e recuperação de ecossistemas).
- **Meta 2 – Adaptação e Resiliência**
  - 2030: Reduzir o índice de vulnerabilidade climática territorial de 60% para 30%, e 2035: para 20%, priorizando municípios do Semiárido e do Litoral;
  - 2040: Reduzir a vulnerabilidade climática territorial para 15%;
  - 2050: Atingir 100% de cobertura em infraestrutura resiliente (água, saúde, agricultura, habitação e saneamento).
- **Indicadores de Desempenho:**
- Mitigação:
  - Volume anual de emissões e remoções ($MtCO_2e$);
  - Área reflorestada e de manejo sustentável das terras (ha);
  - Percentual de participação de fontes renováveis na matriz energética estadual.

- Adaptação:
  - Percentual de municípios com PMMC implementados;
  - Índice Estadual de Vulnerabilidade Climática (IVC);
  - Cobertura (percentual) de infraestrutura adaptada por setor (saneamento, saúde, agricultura).
- Integrados:
  - Número de políticas e programas que conciliam mitigação e adaptação climática;
  - Percentual orçamentário de investimentos públicos e privados aplicados em projetos climáticos integrados.

- **Resultados Esperados:**
  - Redução progressiva das emissões de GEE e ampliação dos sumidouros naturais;
  - Melhoria significativa da resiliência social, econômica e ambiental;
  - Transição efetiva para uma economia de baixo carbono e resiliente;
  - Redução de perdas econômicas e humanas decorrentes de eventos extremos;
  - Fortalecimento das capacidades locais de resposta, recuperação e planejamento climático;
  - Contribuição efetiva para o cumprimento das metas nacionais do Acordo de Paris e consolidação de Sergipe como referência subnacional em governança climática integrada.

IV. Eixo 4 – Financiamento Climático e Instrumentos Econômicos

- **Meta 2030:**

Consolidar um Sistema Estadual de Financiamento Climático Sustentável, com mecanismos de captação e gestão de recursos voltados a projetos de mitigação e adaptação, priorizando a transição energética, conservação ambiental e inovação tecnológica.

- **Indicadores de Desempenho:**
  - Volume anual de recursos captados e aplicados em projetos climáticos (R$/ano);
  - Percentual de projetos financiados com base em critérios de sustentabilidade;
  - Número de municípios beneficiados por instrumentos financeiros climáticos.

- **Resultados Esperados:**
  - Ampliação do acesso a financiamentos verdes e fundos climáticos nacionais e internacionais;
  - Estímulo à economia de baixo carbono e à inovação tecnológica ambiental.

V. Eixo 5 – Justiça Climática e Inclusão Socioambiental

- **Meta 2030:**

Implementar o conjunto de ações ou diretrizes contempladas na legislação estadual e federal relativas à justiça climática e inclusão territorial, com ações integradas de adaptação e proteção social voltadas a comunidades rurais, urbanas periféricas, indígenas e tradicionais, nas três zonas climáticas do Estado (Sertão, Agreste e Litoral).

- **Indicadores de Desempenho:**
  - Número de comunidades e famílias atendidas por ações de adaptação social e ambiental;
  - Percentual de investimentos públicos municipais e estaduais destinados às populações vulneráveis, referentes à mitigação e adaptação às mudanças climáticas;
  - Índice de vulnerabilidade socioambiental em áreas prioritárias.
- **Resultados Esperados:**
  - Fortalecimento da resiliência de comunidades vulneráveis frente aos eventos climáticos extremos;
  - Redução das desigualdades territoriais e promoção da equidade no acesso a políticas climáticas;
  - Inserção efetiva dos princípios de justiça climática nas políticas estaduais de desenvolvimento sustentável.

2.2.3. ALINHAMENTO COM POLÍTICAS PÚBLICAS ESTADUAIS E NACIONAIS

O PEMAMC-SE está em conformidade com os instrumentos estratégicos de planejamento climático e ambiental do Governo Federal e do Estado de Sergipe. O objetivo é assegurar a integração entre políticas públicas, programas e marcos legais que orientam o enfrentamento das mudanças climáticas, a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável.

O plano garante coerência institucional entre os níveis federal, estadual e municipal, contribuindo para o cumprimento dos compromissos do Brasil no âmbito da

Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) e do Acordo de Paris (2015) (Quadros 1 e 2).

Quadro 1: Alinhamento com Políticas e Marcos Federais

POLÍTICA / INSTRUMENTO NACIONAL	OBJETIVOS E DIRETRIZES	CONVERGÊNCIA COM O PEMAMC-SE
Acordo de Paris (2015)	Estabelece compromissos globais de limitação do aquecimento a 1,5°C e redução de emissões de GEE.	Traduz as metas nacionais da NDC para o nível estadual: redução de emissões de GEE de 60% até 2035 e neutralidade climática até 2050.
Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009)	Define princípios e instrumentos de mitigação e adaptação.	Adota metodologia compatível com a PNMC, incluindo inventários estaduais e sistema MRV.
Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA, 2016)	Orienta políticas de adaptação setorial e territorial.	O Eixo Integrado 3 incorpora metas de adaptação territorial e redução da vulnerabilidade.
Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997)	Garante o uso sustentável das águas, considerando cenários climáticos.	Inclui ações de adaptação hídrica e gestão de bacias sob estresse climático.
Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999)	Promove a conscientização ambiental e engajamento social.	Eixos de governança e justiça climática incluem programas de educação ambiental.
Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais – PSA (Lei nº 14.119/2021)	Cria instrumentos de incentivo econômico à conservação.	O Eixo 4 incorpora PSA e fundos verdes para mitigação e adaptação.
Agenda 2030 / ODS da ONU	Define 17 objetivos globais de sustentabilidade.	Alinha-se aos ODS 7, 11, 12, 13, 14 e 15, com foco em energia limpa e ação climática.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Quadro 2: Alinhamento com Políticas Estaduais de Sergipe

POLÍTICA / MARCO ESTADUAL	OBJETIVOS E DIRETRIZES	CONVERGÊNCIA COM O PEMAMC-SE
Política Estadual sobre Mudança do Clima (Lei nº 9.364/2024)	Define diretrizes e instrumentos de mitigação e adaptação no Estado.	O PEMAMC-SE é o principal instrumento de implementação desta política.
Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE)	Promove diagnósticos e ações estruturantes para mitigação e adaptação.	O PEMAMC-SE operacionaliza e amplia o PEAC/SE com metas e eixos temáticos.
Política Estadual de Educação Ambiental (Lei nº 8.370/2017)	Incentiva práticas educativas voltadas à sustentabilidade.	Incorpora a educação ambiental como eixo transversal de capacitação e engajamento.

POLÍTICA / MARCO ESTADUAL	OBJETIVOS E DIRETRIZES	CONVERGÊNCIA COM O PEMAMC-SE
Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-SE)	Promove o uso racional da água e gestão de bacias.	O Eixo 3 e o Eixo 5 tratam da segurança hídrica e infraestrutura resiliente.
Política Estadual de Desenvolvimento Sustentável (Lei nº 8.497/2018)	Direciona o desenvolvimento econômico sustentável.	Contribui para a transição verde e tecnologias de emissão de baixo carbono da economia sergipana.
Plano Sergipe Sustentável (SEMAC)	Articula políticas ambientais e climáticas com os ODS.	Reforça a integração entre inovação tecnológica, economia verde e governança climática.
Plano Sergipano de Economia Verde - PSEV	Estímulo a projetos de redução/remoção/captura de GEE e à certificação/monitoramento de projetos e créditos de carbono.	São instrumentos complementares e convergentes, que atuam de forma integrada na promoção de um modelo de desenvolvimento sustentável, resiliente e de baixo carbono no Estado de Sergipe.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

2.2.4. BASE CONCEITUAL

2.2.4.1. Fundamentação Científica

A base científica do PEMAMC-SE está ancorada nas evidências apresentadas pelo Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6, 2021–2023), que comprova o papel da ação humana no aquecimento global de 1,1°C acima dos níveis pré-industriais. O relatório fundamenta a urgência de limitar o aquecimento global a 1,5°C, fornecendo o arcabouço técnico para políticas de mitigação e adaptação em todos os níveis de governo.

O plano adota abordagens científicas integradas, incluindo inventários de emissões de GEE, estudos de vulnerabilidade e risco climático, modelagem climática regionalizada e análise multissetorial envolvendo energia, agricultura, uso sustentável do solo, recursos hídricos e saúde pública. Esses instrumentos garantem que as decisões sejam baseadas em evidências empíricas e dados geoespaciais, assegurando precisão no diagnóstico e nas ações de adaptação.

2.2.4.2. Fundamentação Legal e Normativa

O PEMAMC-SE estrutura-se sobre marcos normativos internacionais, nacionais e estaduais que regem a política climática, constituindo um sistema coerente de governança ambiental:

- Internacional: Acordo de Paris (2015) e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC);
- Nacional: Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), Plano Nacional de Adaptação (PNA), Política Nacional de Recursos Hídricos, Educação Ambiental e Pagamento por Serviços Ambientais, além da Agenda 2030 e dos ODS da ONU;
- Estadual: Política Estadual sobre Mudança do Clima (Lei nº 9.364/2024), Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE), Política Estadual de Educação Ambiental, Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-SE) e Política Estadual de Desenvolvimento Sustentável.

2.2.4.3. Fundamentação Estratégica e Estrutural

O PEMAMC-SE foi concebido a partir de uma abordagem intersetorial e participativa, articulando ciência, gestão pública e participação social. Ele organiza suas ações em cinco eixos estratégicos, os quais refletem a estrutura conceitual do planejamento climático moderno (Quadro 3):

Quadro 3: Eixos estratégicos, conceituação e contribuições para o PEMAMC-SE

EIXO ESTRATÉGICO	DIMENSÃO CONCEITUAL	CONTRIBUIÇÃO À POLÍTICA CLIMÁTICA
Eixo 1 – Monitoramento Climático e Fortalecimento da Base Diagnóstica	Base científica e técnica	Produz evidências empíricas para decisões de mitigação e adaptação.
Eixo 2 – Governança Climática Participativa	Gestão pública e institucional	Estrutura a coordenação intersetorial e o controle social.
Eixo 3 – Mitigação e Adaptação Climática	Planejamento integrado	Concilia redução de emissões e aumento da resiliência territorial.
Eixo 4 – Financiamento Climático e Instrumentos Econômicos	Economia verde e transição justa	Cria mecanismos financeiros sustentáveis e estimula inovação.
Eixo 5 – Justiça Climática e Inclusão Socioambiental	Dimensão ética e social	Promove equidade, proteção das populações vulneráveis e transição justa.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

2.2.4.4. Abordagem Territorial e Climática de Sergipe

A base conceitual do plano também se ancora nas características geográficas e climáticas específicas do Estado de Sergipe, que possui três zonas climáticas distintas — Sertão, Agreste e Litoral, distribuídas em oito territórios — cada uma com vulnerabilidades próprias à elevação do nível do mar, eventos extremos e redução hídrica. As emissões de GEE concentram-se principalmente nos setores agropecuário, energético e de uso da terra, com meta de neutralidade climática até 2050.

2.2.4.5. Princípios Orientadores

1. Responsabilidade compartilhada entre Estado, municípios, setor produtivo e sociedade civil;
2. Equidade socioambiental, assegurando proteção a comunidades vulneráveis;
3. Participação social como eixo estruturante da governança climática;
4. Base científica e técnica nas decisões públicas;
5. Sustentabilidade e transição justa nas políticas de baixo carbono.

A base conceitual do PEMAMC-SE combina ciência climática, normatividade, gestão pública participativa e dimensão ética e social. Assim, o plano se estabelece como um instrumento técnico, político e social voltado à integração das ações climáticas e à consolidação de Sergipe como modelo estadual de governança climática integrada.

2.2.5. ARCABOUÇO LEGAL E AGENDA CLIMÁTICA

2.2.5.1. Arcabouço Legal Federal

O arcabouço jurídico federal fornece a estrutura normativa e estratégica que orienta a ação climática no Brasil, consolidando a base para políticas subnacionais como o PEMAMC-SE (Quadro 4).

Quadro 4: Arcabouço Legal Federal como suporte jurídico do PEMAMC-SE

INSTRUMENTO LEGAL / POLÍTICA NACIONAL	ANO / REFERÊNCIA	CONTRIBUIÇÃO E DIRETRIZES
Acordo de Paris	2015 / Decreto nº 9.073/2017	Compromissos de limitação do aquecimento a 1,5°C e redução de emissões; meta de neutralidade até 2050.
Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC	Lei nº 12.187/2009 / Decreto nº 7.390/2010	Define princípios, diretrizes e instrumentos de mitigação e adaptação, incluindo o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE, Decreto nº 9.172/2017) e as Comunicações Nacionais à UNFCCC.
Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – PNA	2016 / MMA	Estabelece estratégias de adaptação setorial e territorial para reduzir vulnerabilidades.
Política Nacional de Recursos Hídricos	Lei nº 9.433/1997	Promove o uso sustentável e integrado das águas, considerando impactos climáticos.
Política Nacional de Educação Ambiental	Lei nº 9.795/1999	Fortalece a educação ambiental como instrumento de

INSTRUMENTO LEGAL / POLÍTICA NACIONAL	ANO / REFERÊNCIA	CONTRIBUIÇÃO E DIRETRIZES
		conscientização e engajamento social.
Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais	Lei nº 14.119/2021	Cria instrumentos financeiros de incentivo à conservação e restauração ambiental.
Agenda 2030 e ODS	ONU / 2015	Define metas globais de sustentabilidade; PEMAMC-SE alinha-se aos ODS 7, 11, 12, 13, 14 e 15.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

2.2.5.2. Compatibilização do Arcabouço Legal Estadual com os eixos temáticos do PEMAMC-SE

O arcabouço jurídico estadual consolida a institucionalização da política climática em Sergipe, definindo diretrizes e instrumentos de execução adaptados à realidade regional (Quadro 5).

Quadro 5: Arcabouço legal estadual como suporte jurídico ao PEMAMC-SE

INSTRUMENTO ESTADUAL	ANO / REFERÊNCIA	CONVERGÊNCIA COM O PEMAMC-SE
Política Estadual sobre Mudança do Clima	Lei nº 9.364/2024	Institui o marco legal climático estadual e determina a elaboração do PEMAMC-SE.
Política Estadual de Educação Ambiental	Lei nº 8.370/2017	Integra a educação ambiental às políticas públicas e programas de conscientização.
Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH-SE	2019	Orienta a adaptação hídrica e o uso sustentável das águas em contextos de escassez.
Política Estadual de Desenvolvimento Sustentável	Lei nº 8.497/2018	Promove o desenvolvimento econômico sustentável e a economia de baixo carbono.
Plano Sergipe Sustentável	SEMAC/2020	Articula políticas ambientais e climáticas com os ODS e inovação tecnológica.
Plano Sergipano de Economia Verde - PSEV	Decreto nº 1.016, de 07 de fevereiro de 2025	Atua na promoção de um modelo de desenvolvimento sustentável, resiliente e de baixo carbono no Estado de Sergipe.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

O Quadro 6 apresenta um resumo comparativo entre os eixos temáticos da Agenda Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil e as metas estabelecidas no Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Sergipe (PEMAMC-SE). Seu objetivo é evidenciar como as diretrizes nacionais se articulam com as estratégias estaduais, permitindo visualizar de forma integrada os compromissos assumidos em

relação à mitigação, adaptação, governança climática e financiamento para uma transição justa.

Quadro 6: Eixos temáticos do PEMAMC-SE e compatibilização com a Agenda Nacional de Mudanças climáticas

DIMENSÃO	BRASIL – AGENDA NACIONAL	SERGIPE – AGENDA ESTADUAL (PEMAMC-SE)
Mitigação	Implementação das metas da NDC: redução de 53% das emissões até 2030 e de 59% a 67% até 2035 (base 2005), e neutralidade até 2050.	Reduzir 60% das emissões até 2035, até 2050 atingir neutralidade climática.
Adaptação	PNA e políticas de resiliência em agricultura, saúde, recursos hídricos e cidades.	Reduzir vulnerabilidade climática de 60% para 30%, e alcançar 100% de cobertura resiliente até 2050.
Governança	Articulação com o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) e com o SIRENE, e criação de arranjos intersetoriais.	Governança participativa, MRV estadual automatizado e integração intermunicipal.
Financiamento e Transição Justa	Fundo Clima, PSA e créditos verdes.	Sistema Estadual de Financiamento Climático Sustentável e incentivos à inovação.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

O PEMAMC-SE consolida-se como elo entre os instrumentos nacionais e estaduais, traduzindo para o contexto local os compromissos globais de mitigação e adaptação. Essa integração cria um arcabouço jurídico e técnico coerente, que sustenta a governança climática de Sergipe e assegura a implementação da agenda climática 2026–2050, baseada na sustentabilidade, justiça social e planejamento científico.

3. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL E CLIMÁTICO

3.1. CARACTERIZAÇÃO TERRITORIAL

3.1.1. LOCALIZAÇÃO E LIMITES GEOGRÁFICOS

O Estado de Sergipe, menor unidade federativa do Brasil em extensão territorial, localiza-se na Região Nordeste, ocupando posição estratégica entre os estados da Bahia (ao sul e oeste) e Alagoas (ao norte). Com área total de 21.938 km², suas coordenadas geográficas extremas situam-se entre as latitudes 9°30’S e 11°33’S e as longitudes 36°25’W e 38°15’W. Seus limites territoriais incluem, ao norte, o Estado de Alagoas, tendo o rio São Francisco como divisa natural; ao sul, o Estado da Bahia, delimitado pelo

rio Real; a leste, o Oceano Atlântico, com 163 km de litoral; e, a oeste, novamente o estado da Bahia.

Administrativamente, Sergipe é subdividido em 75 municípios distribuídos em três mesorregiões definidas pelo IBGE. A Mesorregião do Leste Sergipano, que reúne 38 municípios, inclui a capital Aracaju e a Região Metropolitana. A Mesorregião do Agreste Sergipano, composta por 21 municípios, representa uma faixa de transição entre o litoral e o sertão. Já a Mesorregião do Sertão Sergipano, formada por 16 municípios, abrange predominantemente áreas de clima semiárido. A Região Metropolitana de Aracaju (RMA), instituída pela Lei Complementar Estadual nº 25/1995 e ampliada pela LC nº 318/2018, engloba os municípios de Aracaju, Nossa Senhora do Socorro, Barra dos Coqueiros e São Cristóvão. Esta região concentra cerca de 40,6% da população estadual — aproximadamente 950 mil habitantes — ocupando apenas 4,5% da área total do Estado.

Do ponto de vista fisiográfico, Sergipe apresenta relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, com altitudes variando desde o nível do mar até 740 metros, na Serra Negra, localizada no município de Poço Redondo, uma formação montanhosa na divisa com o Estado da Bahia. O clima é tropical úmido na faixa litorânea e semiárido no interior do Estado (IBGE, 2002). Hidrograficamente, Sergipe encontra-se em grande parte do seu território inserido na bacia do rio São Francisco (margem direita) que percorre 210 km em território sergipano, e em outras diversas bacias costeiras. Quanto aos biomas, o Estado apresenta predominância de Mata Atlântica nas regiões leste e agreste e de Caatinga na porção semiárida.

A densidade demográfica é de 105 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2023), valor significativamente superior à média nacional de 24 hab/km² e à média da Região Nordeste de 34 hab/km² (IBGE, 2023). Esse elevado adensamento populacional, combinado ao pequeno território estadual, intensifica a pressão antrópica sobre os recursos naturais, reforçando desafios socioambientais relevantes.

3.1.2. DIVISÕES CLIMÁTICAS E CARACTERÍSTICAS

Sergipe apresenta quatro divisões climáticas distintas, conforme classificação desenvolvida em estudos climáticos estaduais, refletindo gradiente pluviométrico e térmico entre litoral e interior. Para fins de planejamento, estas quatro zonas são agrupadas nas três regiões climáticas referidas ao longo do Plano: Litoral (Zona 1), Agreste (Zona 2) e Sertão (Zonas 3 e 4, Semiárido 1 e 2).

3.1.2.1. Zona 1: Litoral Úmido

A Zona 1, denominada Litoral Úmido, compreende uma faixa costeira de 15 a 30 quilômetros de largura que se estende ao longo do litoral sergipano. Esta região abrange 15 municípios estratégicos, incluindo a capital Aracaju e municípios como Estância, Itaporanga d'Ajuda, Barra dos Coqueiros e Pirambu, representando aproximadamente 10% do território estadual, onde reside 37% da população do estado (~850.000 habitantes). A elevada concentração populacional nesta estreita faixa litorânea resulta em alta densidade demográfica, superior à média estadual, com profundas implicações para vulnerabilidade climática urbana (IBGE, 2023a).

O regime climático desta zona é classificado segundo Köppen como As (Tropical com estação seca de verão) (ALVARES et al., 2013), caracterizado por temperaturas médias anuais entre 25-26°C com baixa amplitude térmica anual (3-4°C), reflexo direto da influência moderadora do oceano Atlântico. A brisa marítima atenua significativamente os extremos térmicos, mantendo as temperaturas máximas médias raramente acima de 34°C mesmo nos meses mais quentes (janeiro-fevereiro), embora, no interior e no entorno semiárido do estado, episódios de onda de calor tenham registrado valores próximos ou superiores a 40°C. A precipitação média anual varia entre 1.200-1.600 mm, com máximos concentrados no período de abril a julho (outono-inverno), quando sistemas frontais provenientes do Sul interagem com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), gerando episódios de chuvas intensas e persistentes. A umidade relativa mantém-se consistentemente elevada (75-85%), contribuindo para sensação de desconforto térmico em períodos quentes.

A vulnerabilidade climática desta zona manifesta-se através de múltiplos vetores de risco que tendem a se intensificar sob cenários futuros de aquecimento global. A elevação projetada do nível do mar entre 0,45-0,77 m até 2100 (cenário SSP2-4.5) (IPCC, 2021) ameaça diretamente a integridade territorial costeira, com processos de erosão acelerada já observados em extensos trechos da linha de costa sergipana. Paralelamente, o aquecimento das águas superficiais do Atlântico Sul eleva o risco de branqueamento de corais nos recifes costeiros e desestabiliza ecossistemas marinhos dos quais depende a pesca artesanal local, atividade econômica fundamental para diversas comunidades costeiras tradicionais.

A intensificação projetada de marés de tempestade (*storm surges*), associada à combinação de elevação do nível de base com eventos meteorológicos extremos mais frequentes, amplia substancialmente áreas de inundação costeira, expondo milhares de moradores de áreas ribeirinhas e de baixada.

No ambiente urbano de Aracaju, o fenômeno de ilha de calor urbana — resultado da substituição de vegetação por superfícies impermeabilizadas e ausência de planejamento bioclimático — exacerba ondas de calor, com implicações diretas para morbimortalidade de populações vulneráveis, especialmente idosos e crianças em bairros periféricos com infraestrutura deficiente.

3.1.2.2. Zona 2: Agreste Úmido

A Zona 2, caracterizada como Agreste Úmido, constitui uma faixa de transição ecoclimática entre o litoral úmido e o semiárido, posicionada entre 30 e 60 quilômetros da costa. Esta região abrange aproximadamente 6.500 km² (30% do território estadual), onde residem cerca de 820.000 habitantes (36% da população), incluindo municípios como Itabaiana, Lagarto, Nossa Senhora das Dores e Campo do Brito (Adaptado IBGE 2002 e 2023a). A zona representa o gradiente de transição mais significativo do estado, com mudanças ambientais e socioeconômicas marcantes em distâncias relativamente curtas, característica típica do Agreste nordestino.

O clima desta zona é classificado segundo Köppen como As/Aw (Tropical de transição) (ALVARES et al., 2013), refletindo características intermediárias entre os regimes úmido costeiro e semiárido interior. As temperaturas médias anuais situam-se entre 24-25°C, ligeiramente inferiores às do litoral devido ao afastamento da influência oceânica e maior altitude relativa (cotas de 200-400 m). A precipitação média anual varia de 900-1.200 mm, representando redução gradual em direção ao interior, com estação chuvosa mais prolongada (abril a agosto) comparada ao litoral, quando a interação entre sistemas frontais e a ZCIT ainda se faz presente, embora com menor intensidade. A variabilidade interanual é moderadamente elevada (coeficiente de variação de 25-30%), com anos de El Niño tendendo a produzir déficits hídricos significativos e anos de La Niña eventualmente gerando chuvas acima da média, padrão que impõe desafios ao planejamento agrícola.

A importância socioeconômica do Agreste Úmido transcende sua participação demográfica, constituindo o principal polo agropecuário do estado. A região destaca-se pela produção de hortaliças (tomate, batata doce, pimentão), grãos — especialmente milho e feijão cultivados em regime de sequeiro — avicultura de corte e bovinocultura leiteira, sustentando complexa cadeia agroindustrial que articula pequenos produtores, cooperativas e agroindústrias processadoras.

Itabaiana, com população de 95.649 habitantes (IBGE, 2022), consolida-se como maior entreposto comercial do interior sergipano, concentrando atacado de

hortifrutigranjeiros e serviços para produção agrícola familiar. A vulnerabilidade climática desta zona manifesta-se primariamente através da forte dependência da agricultura familiar — base do sistema produtivo regional — em relação à variabilidade interanual de chuvas. Períodos secos prolongados, como observados em 2012-2013 e 2016-2017 (anos de El Niño forte), resultaram em perdas significativas de safra em culturas de sequeiro como milho e feijão, com impactos em cascata sobre renda rural, segurança alimentar e economia local.

3.1.2.3. Zona 3: Semiárido 1

A Zona 3 corresponde à faixa de transição entre o agreste e o semiárido, localizada na porção centro-oeste do estado. Abrange municípios como Tobias Barreto, Simão Dias, Poço Verde e Carira, totalizando uma área aproximada de 7.500 km², o que representa 34% do território estadual. A população estimada é de cerca de 430 mil habitantes, correspondendo a 19% da população de Sergipe (Adaptado IBGE 2002 e 2023a).

Do ponto de vista climático, a região é classificada como BSh (Semiárido quente) segundo Köppen (ALVARES et al., 2013), com temperatura média anual entre 25°C e 26°C. A precipitação anual varia de 600 a 900 mm, concentrada em um período chuvoso curto, entre abril e junho. O déficit hídrico é prolongado, alcançando 7 a 9 meses por ano, e a evapotranspiração anual é elevada, situando-se entre 1.800 e 2.200 mm.

3.1.2.4. Zona 4: Semiárido 2

A região situada no extremo noroeste de Sergipe, ao longo da margem do rio São Francisco, constitui uma das áreas de maior vulnerabilidade climática do estado. É composta principalmente por municípios como Canindé de São Francisco, Poço Redondo, Porto da Folha e Monte Alegre, abrangendo aproximadamente 5.700 km², o que corresponde a 26% do território estadual. A população estimada é de cerca de 180 mil habitantes, representando 8% da população sergipana e configurando-se como a área de menor densidade demográfica do estado (Adaptado IBGE 2002 e 2023a).

O clima dessa zona é classificado como BSh (Semiárido quente), em sua forma mais severa dentro de Sergipe. As temperaturas médias anuais variam entre 26°C e 27°C, sendo as mais elevadas do estado. A precipitação anual é reduzida, situando-se entre 500 e 700 mm, a menor de todo o território sergipano, com uma estação chuvosa muito curta e irregular, concentrada entre março e maio. O déficit hídrico prolongado, que se estende

por 8 a 10 meses ao ano, soma-se aos altos índices de insolação, que variam de 2.800 a 3.000 horas por ano, conferindo à região elevado potencial solar (ALVARES et al., 2013).

Do ponto de vista socioambiental, essa é a zona de maior criticidade climática de Sergipe, potencializando um processo de desertificação em diversas áreas consideradas prioritárias, agravado pela forte dependência das águas do rio São Francisco, cujas vazões têm apresentado tendência de redução. A população rural, majoritariamente dedicada à agricultura de subsistência, apresenta alta vulnerabilidade, em função da baixa disponibilidade hídrica e da forte sensibilidade às oscilações climáticas.

A síntese das quatro zonas climáticas do estado está apresentada na Tabela 1, reunindo informações espaciais, demográficas e climatológicas que fundamentam a territorialização das estratégias de adaptação e mitigação previstas neste Plano.

Tabela 1: Síntese das Divisões Climáticas de Sergipe

ZONA CLIMÁTICA	ÁREA (%)	POPULAÇÃO	PRECIPITAÇÃO (MM/ANO)	TEMPERATURA (°C)	BIOMA	VULNERABILIDADE PRINCIPAL
Litoral Úmido	~10 %	850.000	1.200–1.600	25–26	Mata Atlântica	Erosão costeira, ilha de calor
Agreste Úmido	~30 %	820.000	900–1.200	24–25	Mata Atlântica / Caatinga	Variabilidade climática
Semiárido 1	~34 %	430.000	600–900	25–26	Caatinga	Secas, desertificação
Semiárido 2	~26 %	180.000	500–700	26–27	Caatinga	Secas, desertificação

Fonte: Classificação climática baseada em dados INMET (1991-2020) e Köppen adaptado. Dados populacionais estimados a partir de IBGE - Censo 2022.

A espacialização das divisões climáticas articula-se diretamente com a estrutura territorial de planejamento estadual, configurando base geográfica essencial para territorialização de estratégias de mitigação e adaptação climática diferenciadas conforme vulnerabilidades regionais específicas.

3.1.3. CARACTERIZAÇÃO DEMOGRÁFICA

3.1.3.1. Evolução populacional

A população de Sergipe apresentou crescimento constante nas últimas décadas: 1,78 milhão de habitantes em 2000 (IBGE - Censo 2000), 2,07 milhões em 2010 (IBGE

- Censo 2010) e 2,34 milhões em 2022 (IBGE - Censo 2022), com taxa de crescimento de 1,03% ao ano no período 2010-2022, acima da média nacional de 0,52% ao ano (IBGE, Censo 2022).

3.1.3.1.1. Estrutura etária e urbanização:

Segundo o Censo 2022, a estrutura etária apresenta: 19,3% de crianças e adolescentes (0-14 anos, ~451.000 habitantes), 70,1% em idade produtiva (15-64 anos, ~1.639.000 habitantes) e 10,6% de idosos (65 anos ou mais, ~248.000 habitantes), evidenciando processo de envelhecimento populacional.

O Estado apresenta taxa de urbanização de 76,4% (1.787.000 habitantes urbanos), sendo predominantemente urbano, mas mantendo expressiva população rural de 23,6% (~551.000 habitantes), especialmente nas zonas semiáridas onde a agricultura familiar é relevante.

3.1.3.1.2. Distribuição espacial da população:

A distribuição populacional de Sergipe apresenta forte concentração na faixa litorânea. A Zona 1 (Litoral) abriga 37% da população em apenas 10% do território, resultando em alta densidade demográfica. A Zona 2 (Agreste) concentra 36% da população distribuída por 30% da área estadual. As áreas semiáridas apresentam menor ocupação: a Zona 3 (Semiárido 1) reúne 19% da população em 34% do território e a Zona 4 (Semiárido 2) concentra apenas 8% da população em 26% da área, configurando-se como a área de menor densidade demográfica do estado (Adaptado IBGE, 2023a).

De acordo com o Censo 2022 (IBGE, 2022), os municípios mais populosos são: Aracaju, capital, com 664.908 habitantes; Nossa Senhora do Socorro, com 189.466 habitantes; Lagarto, com 106.277 habitantes; Itabaiana, com 95.649 habitantes; e São Cristóvão, com 92.698 habitantes. Apenas Aracaju supera a marca de meio milhão de habitantes, e os cinco maiores municípios concentram 48,7% de toda a população estadual, evidenciando a centralização demográfica e administrativa da região leste.

3.1.3.2. Panorama Econômico

3.1.3.2.1. PIB e composição setorial:

No âmbito econômico, Sergipe responde por 0,6% do PIB nacional, ocupando a 19ª posição entre as economias estaduais (IBGE, 2023), com PIB per capita inferior à média brasileira. A composição do PIB estadual (2021) é dominada pelo setor de serviços (71,7%), seguido pela indústria (22,3%) e agropecuária (6,0%) (DESENVOLVE-SE;

IBGE, 2023), com produção predominante de cana-de-açúcar, laranja, milho, mandioca, além da bovinocultura leiteira e avicultura.

Os setores estratégicos da economia incluem o agronegócio, diversas cadeias industriais — como o polo cloroquímico de Rosário do Catete, petroquímica, fertilizantes, cimento e têxtil —, o setor energético, baseado na exploração de petróleo e gás natural (onshore e offshore) e na expansão recente das energias eólica e solar, além do turismo, tanto de sol e praia quanto histórico-cultural, tendo São Cristóvão como destaque por ser Patrimônio da Humanidade pela UNESCO.

O mercado de trabalho estadual reúne 1,15 milhão de pessoas na População Economicamente Ativa, das quais 978 mil estão ocupadas (IBGE/PNAD Contínua, 2023). A taxa de desocupação, de 15,2%, apresenta-se bem acima da média nacional (8,9%). O rendimento médio permanece abaixo da média brasileira, reforçando vulnerabilidades socioeconômicas. As principais ocupações distribuem-se entre administração pública, educação e saúde (23,5%), comércio varejista (18,3%), agricultura, pecuária e pesca (12,4%), indústria (11,8%) e serviços domésticos (8,7%) (IBGE/PNAD Contínua, 2023).

3.1.3.2.2. Infraestrutura:

A infraestrutura estadual apresenta eixos rodoviários estratégicos, como a BR-101, que estrutura o fluxo norte-sul, e a BR-235, que integra a capital ao semiárido. O estado conta ainda com o Porto de Sergipe, na Barra dos Coqueiros, importante para o escoamento de fertilizantes, petróleo e grãos, e com o Aeroporto Internacional Santa Maria, com movimentação em fase progressiva de recuperação, considerando o período pós-pandemia. No setor energético, Sergipe conta com infraestrutura de distribuição elétrica atendida pelas concessionárias Energisa e Sulgipe, com geração predominantemente térmica a gás natural (UTE Porto de Sergipe I) e hidrelétrica (UHE Xingó), acrescida da expansão recente de geração distribuída solar fotovoltaica e um parque eólico em Barra dos Coqueiros.

No saneamento básico, 92,9% da população urbana possui acesso ao abastecimento de água e o esgotamento sanitário atende 63,4% dos moradores urbanos (SNIS, 2022), representando ainda um desafio significativo. A coleta de resíduos sólidos alcança cobertura expressiva da população urbana.

3.1.3.3. Vulnerabilidade Social

3.1.3.3.1. Metodologia e classificação do IVS:

Do ponto de vista social, a vulnerabilidade no estado é avaliada por meio do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), elaborado pelo IPEA, que sintetiza desigualdades em três dimensões: renda, capital humano e infraestrutura urbana. Essa abordagem permite compreender como diferentes grupos populacionais se encontram mais ou menos suscetíveis a choques externos, incluindo os provocados pelas mudanças climáticas.

O IVS para Sergipe foi calculado em escala de setor censitário utilizando dados do Censo 2022, permitindo análise espacializada da vulnerabilidade, variando de 0 (menor vulnerabilidade) a 1 (maior vulnerabilidade), classificado em cinco faixas:

- Muito Baixa: 0,000 - 0,200;
- Baixa: 0,201 - 0,300;
- Média: 0,301 - 0,400;
- Alta: 0,401 - 0,500;
- Muito Alta: 0,501 - 1,000.

A análise espacializada de vulnerabilidade social em Sergipe fundamenta-se no processamento de microdados do Censo Demográfico 2022 (IBGE) para 5.346 setores censitários (IBGE, 2022), utilizando metodologia do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) desenvolvida pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (IPEA, 2015), validada e amplamente empregada em estudos de desigualdades territoriais no Brasil (Atlas de Desenvolvimento Humano, 2013; Atlas de Vulnerabilidade Social, 2015).

O IVS sintetiza três dimensões estruturantes da vulnerabilidade — renda e trabalho, capital humano, e infraestrutura urbana — em indicador normalizado que varia de 0 (ausência de vulnerabilidade) a 1 (vulnerabilidade máxima), permitindo comparabilidade espacial e temporal. A distribuição dos setores censitários sergipanos por classe de vulnerabilidade é consolidada na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição de Setores Censitários por Classe de IVS em Sergipe

CLASSE DE IVS	QUANTIDADE DE SETORES	PERCENTUAL	POPULAÇÃO ESTIMADA
Muito Alta	614	11,49%	~265.000 habitantes
Alta	2.569	48,05%	~1.120.000 habitantes
Média	1.798	33,63%	~790.000 habitantes
Baixa	331	6,19%	~145.000 habitantes

CLASSE DE IVS	QUANTIDADE DE SETORES	PERCENTUAL	POPULAÇÃO ESTIMADA
Muito Baixa	34	0,64%	~15.000 habitantes

Fonte: Adaptado de Censo IBGE 2022 e metodologia IVS (IPEA/PNUD, 2015).

Os resultados da análise revelam padrão preocupante de concentração de vulnerabilidade social no território sergipano. A predominância de setores censitários nas classes Alta e Muito Alta — que conjuntamente representam 59,5% do total (3.183 de 5.346 setores) — indica que aproximadamente 1,38 milhão de pessoas, correspondendo a 59% da população estadual, residem em áreas caracterizadas por múltiplas privações socioeconômicas. Este achado posiciona Sergipe em situação desfavorável quando comparado à média nacional, onde 40-45% da população encontra-se em setores de vulnerabilidade alta ou muito alta (Atlas de Vulnerabilidade Social, 2015), sugerindo desafios estruturais no desenvolvimento humano estadual.

O IVS médio estadual calculado é de 0,417, situando Sergipe na faixa classificada como Alta vulnerabilidade conforme taxonomia IPEA/PNUD (intervalo 0,401-0,500). Este valor agregado, contudo, mascara heterogeneidades territoriais substanciais, com amplitude de variação entre 0,182 (menor IVS, setores de alta renda em Aracaju) e 0,687 (maior IVS, setores periurbanos e rurais do semiárido), indicando desigualdades socioespaciais marcantes que demandam políticas públicas territorialmente diferenciadas.

A decomposição dos componentes do IVS revela que a vulnerabilidade estadual deriva de múltiplos fatores estruturais. O indicador de capital humano para Sergipe apresenta taxa de analfabetismo de 13,8% entre pessoas de 15 anos ou mais (IBGE, Censo 2022), praticamente o dobro da média nacional (7,0%, PNAD Contínua 2022) e reflexo de déficits históricos em acesso e qualidade educacional, particularmente nas zonas rurais e semiáridas onde este indicador pode ultrapassar 25% em alguns municípios do semiárido.

A proporção de idosos (10,6% da população total, 65 anos ou mais) situa-se ligeiramente abaixo da média nacional (10,9%), mas evidencia processo de envelhecimento populacional em curso, com implicações para demandas de saúde pública em contexto de Mudanças Climáticas. A densidade demográfica média dos setores urbanos (5.618 hab/km²) reflete padrão de urbanização concentrada, com formação de periferias densamente ocupadas e deficientemente servidas por infraestrutura básica.

3.1.3.3.2. Padrões espaciais:

- Regiões Metropolitanas:

- Periferias de Aracaju, Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão concentram setores de IVS Muito Alto;
- Assentamentos precários e invasões apresentam maior vulnerabilidade;
- Deficiências em infraestrutura (saneamento, drenagem) amplificam risco climático.

- Municípios mais vulneráveis (IVS médio municipal > 0,48):

Os municípios com IVS médio superior a 0,48 situam-se majoritariamente nas zonas Semiárido 1 e Semiárido 2, refletindo uma relação direta entre vulnerabilidade social e condições climáticas adversas. Em geral, essas localidades apresentam baixa renda, déficits educacionais, forte dependência da agricultura de subsistência e infraestrutura urbana limitada, o que aumenta a exposição e reduz a capacidade de resposta a eventos climáticos extremos (Tabela 3).

Municípios como Gararu e Poço Redondo destacam-se pela combinação de vulnerabilidade social e fragilidade ambiental, enfrentando secas severas e processos de desertificação. Já localidades como Carira e Itabi evidenciam vulnerabilidades estruturais ligadas à falta de serviços urbanos essenciais. O predomínio de municípios semiáridos na lista reforça a necessidade de políticas específicas para mitigação das desigualdades e fortalecimento da resiliência climática nessas regiões.

Tabela 3: Municípios mais vulneráveis com IVS médio > 0,48

MUNICÍPIO	IVS MÉDIO	ZONA CLIMÁTICA	OBSERVAÇÕES
Carira	0,484	Semiárido 1	Alta taxa de analfabetismo, baixa renda.
Nossa Senhora Aparecida	0,489	Semiárido 1	Baixa qualidade de infraestrutura urbana.
Gararu	0,494	Semiárido 2	Município mais vulnerável às secas.
Poço Redondo	0,495	Semiárido 2	População rural, agricultura de subsistência.

Fonte: Censo IBGE 2022, cálculo IVS municipal (IPEA/PNUD, 2015).

Os quatro municípios com IVS médio superior a 0,48 estão localizados nas zonas semiáridas (Zonas 3 e 4), evidenciando correlação entre vulnerabilidade climática e vulnerabilidade social.

- Zona rural:
  - IVS rural sistematicamente superior ao urbano;
  - Média de IVS rural: 0,52 (Muito Alta);
  - Déficits em saneamento, educação e renda.

3.1.3.3.3. Intersecção vulnerabilidade social × vulnerabilidade climática:

A sobreposição de vulnerabilidade social elevada com exposição a riscos climáticos (secas, ondas de calor, inundações) cria áreas de risco climático crítico:

a) Semiárido sergipano:
    a. municípios com IVS médio elevado (faixa Alta, 0,401-0,500), com destaque para os listados na Tabela 3;
    b. Exposição a secas recorrentes;
    c. População rural dependente de agricultura de sequeiro;
    d. Migração climática potencial.

b) Periferias urbanas:
    a. Áreas de risco de inundação ocupadas por população de baixa renda;
    b. Habitações precárias vulneráveis a eventos extremos;
    c. Ilha de calor urbana afeta principalmente periferias sem arborização.

1. Zona costeira:
    d. Comunidades pesqueiras com IVS alto;
    e. Exposição a erosão costeira e elevação do nível do mar;
    f. Mangues degradados promovendo perda de habitats essenciais para peixes, crustáceos e moluscos.

c) Grupos populacionais vulneráveis:
    a. Idosos:
        i. Maior sensibilidade a ondas de calor;
        ii. Doenças cardiovasculares e respiratórias agravadas por extremos térmicos;
        iii. Mobilidade reduzida dificulta evacuação em desastres.
    b. Crianças:
        i. Doenças diarreicas relacionadas à qualidade da água (piorada em secas);
        ii. Desnutrição em áreas de insegurança alimentar (semiárido).
    c. População rural:
        i. Perda de renda por quebra de safra;
        ii. Dificuldade de acesso a serviços de saúde em emergências climáticas.
    d. Agricultores familiares:

i. Dependência das chuvas para produção agrícola;
ii. Baixa capacidade de investimento em irrigação;
iii. Crédito rural insuficiente ou com dificuldade de acesso, para adaptação.

3.1.3.3.4. Hotspots de vulnerabilidade crítica (setores censitários com IVS > 0,50):

A análise espacial identifica três concentrações principais de vulnerabilidade crítica:

1. Periferias metropolitanas – Setores que circundam Aracaju: Socorro (0,58-0,63), São Cristóvão (0,55-0,61), Barra dos Coqueiros (0,54-0,59), apresentando Infraestrutura deficiente, representada por 54% sem esgoto adequado, 38% com coleta irregular de lixo, 12% sem energia regularizada;
2. Semiárido rural – IVS municipal > 0,48, abrangendo os municípios de Carira (0,484), N. Sra. Aparecida (0,489), Gararu (0,494), Poço Redondo (0,495), e apresentando privações socioeconômicas amplificadas por estresse hídrico crônico - Analfabetismo até 24,8% e renda per capita R$ 387/mês;
3. Comunidades costeiras tradicionais – IVS 0,52-0,57, abrangendo os municípios de Brejo Grande, Pacatuba, Ilha das Flores, com recursos marinhos ameaçados, escolaridade média de 4,8 anos e taxa de informalidade laboral de 89%.

3.1.3.3.5. Risco climático composto crítico (vulnerabilidade social + exposição climática):

A análise integrada de vulnerabilidade social e exposição climática identifica três territórios prioritários para ações de adaptação, onde a combinação de múltiplas privações socioeconômicas e perigos climáticos amplifica os riscos à população:

4. Semiárido sergipano:
    a. População afetada: 340 mil habitantes rurais;
    b. Risco: IVS alto (municípios da faixa Alta; Tabela 3) + secas recorrentes (frequência SPEI-12 < -1,5 em 28% dos anos);
    c. Impactos observados: Insegurança hídrica e alimentar crônica em comunidades dependentes de agricultura de sequeiro, migração sazonal, redução da renda familiar.
5. Periferias metropolitanas:
    a. População afetada: 420 mil pessoas;
    b. Riscos principais: Inundação em planícies aluviais (1.850 ha com frequência >10% de ocorrência anual) combinadas com efeito de ilha de calor urbana;

c. Impactos observados: Morbimortalidade cardiovascular superior em bairros com IVS >0,50, especialmente durante ondas de calor; perdas materiais recorrentes em eventos de chuvas intensas.

6. Zona costeira:
   a. População afetada: 42 comunidades tradicionais costeiras e estuarinas (18 pesqueiras e 24 marisqueiras, ~20,5 mil habitantes; §3.1.5.1);
   b. Riscos principais: Processos erosivos costeiros combinados com elevação projetada do nível do mar (+0,20-0,28 m até 2050 e +0,45-0,77 m até 2100, cenário SSP2-4.5; Tabela 13);
   c. Impactos observados: Ameaça crescente a habitações em áreas de risco, perda de território para comunidades tradicionais, comprometimento da subsistência baseada em pesca artesanal e mariscagem.

A distribuição espacial da população sergipana, caracterizada por alta concentração metropolitana (37% da população em 10% do território no litoral) e dispersão no semiárido (8% da população em 26% do território), determina padrões diferenciados de exposição a perigos climáticos e capacidade adaptativa local.

A caracterização social apresentada evidencia desafios estruturais que amplificam a vulnerabilidade do território sergipano às mudanças climáticas. A análise climática que se segue demonstra como as tendências observadas de aquecimento, alteração de regimes pluviométricos e intensificação de eventos extremos interagem com este contexto socioterritorial, configurando riscos diferenciados que demandam estratégias de adaptação territorialmente específicas.

3.1.4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E TENDÊNCIAS OBSERVADAS

3.1.4.1. Temperatura

A temperatura em Sergipe apresenta variabilidade espacial relacionada à continentalidade e altitude. A amplitude térmica anual — diferença entre as temperaturas médias do mês mais quente e do mês mais frio — é menor no litoral devido à influência termorreguladora do oceano Atlântico, e progressivamente maior em direção ao interior semiárido, onde o regime térmico apresenta maior variabilidade sazonal.

A análise de séries temporais de temperatura média no período 1985-2021 (Produto 1.1) revela tendência inequívoca de aquecimento, conforme sintetizado na Tabela 4.

Tabela 4: Evolução temporal da temperatura

INDICADOR	VALOR	SIGNIFICÂNCIA
Taxa de aquecimento	+0,024 °C/ano	$p < 0,01$ (altamente significativo)
Aquecimento acumulado (1985-2024)	+0,9 °C (1985-2021)	Tendência inequívoca
Aceleração recente (2000-2024)	+0,035 °C/ano	67% superior à média histórica

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Causas do aquecimento: O aquecimento observado resulta da combinação de forçante antropogênica global (emissões de gases de efeito estufa) e variabilidade natural de longo prazo (Oscilação Multidecadal do Atlântico - AMO). Este padrão é consistente com projeções do IPCC para a região Nordeste do Brasil (IPCC, 2021, 2022), que indicam continuidade da tendência de aquecimento nas próximas décadas.

3.1.4.2. Precipitação

Diferentemente da temperatura, que apresenta tendência de aquecimento relativamente consistente no espaço, a precipitação em Sergipe caracteriza-se por elevada variabilidade tanto espacial quanto interanual, tornando-se o elemento climático de maior complexidade e incerteza para planejamento de longo prazo. Esta variabilidade constitui característica fundamental do clima sergipano e fator determinante para agricultura, abastecimento hídrico e gestão de recursos naturais.

O gradiente pluviométrico leste-oeste é acentuado, com redução progressiva da precipitação do litoral úmido em direção ao semiárido (Tabela 5):

Tabela 5: Médias anuais de precipitação por zona climática (1985-2024)

ZONA CLIMÁTICA	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (MM/ANO)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	MESES DE CHUVA
Litoral Úmido	1.387	22%	6-7 meses
Agreste Úmido	1.043	28%	5-6 meses
Semiárido 1	738	35%	4-5 meses
Semiárido 2	621	41%	3-4 meses

Fonte: INMET (1985-2024).

3.1.4.2.1. Observações sobre variabilidade interanual:

a) Alta irregularidade temporal: Anos consecutivos podem apresentar variação de precipitação superior a 50%;

b) Eventos extremos (em nível de estado, a despeito da zona climática):

   a. Anos mais secos: 1993 (464 mm), 1998 (523 mm), 2012 (531 mm) - anos de El Niño forte;

b. Anos mais chuvosos: 1989 (1.852 mm), 1985 (1.764 mm), 2004 (1.691 mm) - anos de La Niña.

c) Tendência de redução: Análise de Mann-Kendall indica tendência de decréscimo de precipitação no semiárido:
   a. Taxa: -3,2 mm/ano (p = 0,048);
   b. Redução acumulada: ~125 mm em 40 anos (1985-2024) (~17% da média histórica).

d) Influência de teleconexões climáticas: Teleconexões são fenômenos climáticos que ocorrem em uma região do planeta, mas afetam o clima em regiões distantes. Os três principais que influenciam Sergipe são:
   a. El Niño: Aquecimento anormal das águas do Pacífico Equatorial que enfraquece os ventos alísios, reduzindo a formação de nuvens sobre o Nordeste brasileiro. Resultado: reduções de 30-40% na precipitação (secas severas em Sergipe);
   b. La Niña: Resfriamento das águas do Pacífico Equatorial que intensifica os ventos alísios, favorecendo formação de nuvens sobre o Nordeste. Resultado: aumentos de 20-30% na precipitação;
   c. Dipolo do Atlântico: Diferença de temperatura entre Atlântico Norte e Atlântico Sul que modula o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT — faixa de nuvens próxima à linha do Equador onde os ventos dos dois hemisférios se encontram, gerando chuvas intensas). Quando o Dipolo empurra a ZCIT para o sul, o Nordeste recebe mais chuvas; quando empurra para o norte, há seca.

3.1.4.2.2. Sazonalidade das chuvas:

A precipitação concentra-se nos meses de outono-inverno, com máximos em abril-maio-junho-julho, configurando regime sazonal unimodal (estação chuvosa única de outono-inverno) característico da porção oriental do Nordeste brasileiro:

- Período chuvoso (abril-agosto): 70-75% da precipitação anual;
- Período seco (setembro-março): 25-30% da precipitação anual;
- Déficit hídrico: 7-10 meses/ano no semiárido.

Complementarmente à análise de extremos de precipitação, a avaliação de índices de extremos de temperatura revela transformações mais pronunciadas e sistemáticas, com tendências altamente expressivas de intensificação de calor extremo e redução de frio, padrão inequívoco de aquecimento climático.

3.1.4.3. Índices de Extremos Climáticos (ETCCDI)

Os índices ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*) constituem métricas padronizadas internacionalmente para quantificação de mudanças em eventos climáticos extremos (Zhang et al., 2011). Para Sergipe, foram calculados 11 índices prioritários recomendados pelo IPCC para monitoramento de extremos de temperatura e precipitação, permitindo análise sistemática de tendências em eventos como ondas de calor, secas e precipitações intensas.

3.1.4.4. Índices de Extremos de Temperatura

A quantificação de extremos térmicos através dos índices ETCCDI revela intensificação inequívoca de eventos de calor extremo no território sergipano ao longo de 37 anos (1985-2021). O índice TX90p, que representa a porcentagem anual de dias com temperatura máxima superior ao percentil 90 da distribuição climatológica de referência (baseline 1961-1990), constitui métrica fundamental para monitoramento de ondas de calor e estresse térmico. Por definição estatística, sob clima estacionário (sem Mudanças Climáticas), este índice deveria oscilar em torno de 10% em qualquer período analisado. Contudo, a análise de tendência para Sergipe identifica aumento significativo de +0,64 ponto percentual por ano (≈ +6,4 pontos percentuais por década; $p<0,001$, Mann-Kendall), correspondendo a elevação acumulada de aproximadamente 24 pontos percentuais ao longo de 37 anos (1985-2021), conforme o Produto 1.1. Este padrão evidencia que extremos térmicos que, em clima estacionário, ocorreriam em cerca de 10% dos dias passaram a ocorrer com frequência muito superior no período recente.

A análise de tendência Mann-Kendall para índices de temperatura extrema revela:

a) TX90p: percentagem de dias com temperatura máxima acima do percentil 90 (dias extremamente quentes), exibindo tendência significativa de aumento de +0,64% por ano ($p<0,001$, equivalente a +6,4 pontos percentuais por década), com incremento acumulado de 24 pontos percentuais em 37 anos (1985-2021);

b) TN90p: percentagem de dias com temperatura mínima acima do percentil 90 (noites tropicais quentes), apresentando tendência de +0,52% por ano ($p=0,003$), com aumento de 19 pontos percentuais acumulados, indicando que o aquecimento não se limita a períodos diurnos, mas estende-se às noites, comprometendo alívio térmico noturno crítico para recuperação fisiológica;

c) TX10p: percentagem de dias com temperatura máxima abaixo do percentil 10 (dias frios), mostrando declínio esperado;

d) TN10p: percentagem de dias com temperatura mínima abaixo do percentil 10 (noites frias), também em declínio. A análise demonstra assimetria nas mudanças, com extremos quentes intensificando-se mais rapidamente que extremos frios se atenuam.

Os índices de temperatura recomendados pela *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) são apresentados na Tabela 6, quantificando tendências de aquecimento e extremos térmicos no período 1985-2021.

A implicação prática desta intensificação de extremos térmicos manifesta-se através de múltiplos vetores de impacto: (1) saúde pública — aumento de morbimortalidade por causas cardiovasculares e respiratórias durante ondas de calor, particularmente em populações vulneráveis (idosos, crianças, trabalhadores externos); (2) produtividade agrícola — estresse térmico em culturas sensíveis ao calor durante períodos críticos de floração e enchimento de grãos, com perdas de produtividade estimadas entre 10-25% em culturas de sequeiro quando temperatura máxima excede limiares fisiológicos (>35°C para milho, >38°C para mandioca); (3) demanda energética — amplificação de carga em sistemas de distribuição elétrica durante picos de demanda para climatização, com risco de colapso em infraestrutura subdimensionada; (4) produtividade do trabalho — redução de capacidade laboral em setores de trabalho externo (construção civil, agricultura), com estudos estimando declínio de 5-15% em produtividade para cada grau Celsius acima de 26°C em temperatura de bulbo úmido.

Tabela 6: Índices ETCCDI de Temperatura (Médias 1985-2021 e Tendências)

ÍNDICE	DESCRIÇÃO	MÉDIA HISTÓRICA	TENDÊNCIA (POR DÉCADA)	SIGNIFICÂNCIA
TXx	Temperatura máxima absoluta	38,7 °C	+0,31 °C	***
TNn	Temperatura mínima absoluta	17,2 °C	+0,18 °C	**
TX90p	% dias com Tmax > P90	10,8%	+6,4 pontos percentuais	***
TN10p	% dias com Tmin < P10	9,2%	−1,3 pontos percentuais	**
WSDI	Duração de períodos quentes	12,4 dias/ano	+3,1 dias	***
CSDI	Duração de períodos frios	6,8 dias/ano	−1,8 dias	**

Nota: Significância estatística (teste Mann-Kendall bilateral): *** p < 0,001 (altamente significativo); ** p < 0,01 (muito significativo); * p < 0,05 (significativo); ns = não significativo.
Fonte: Cálculo dos índices ETCCDI aplicado a séries diárias INMET (1985-2021; Produto 1.1); metodologia Zhang et al. (2011).

3.1.4.4.1. Destaques dos resultados dos índices ETCCDI para temperatura:

a) TXx (temperatura máxima absoluta): Aumento de 0,31°C/década indica que os dias mais quentes estão ficando progressivamente mais quentes. Máxima absoluta observada na rede de análise (estações de Sergipe e da zona de influência selecionadas por buffer): 42,80°C (Pão de Açúcar-AL, 03/01/2016); entre as estações situadas em Sergipe, 39,9°C (Poço Verde, 03/01/2016);

b) TX90p (percentil 90 de Tmax): tendência de +0,64 p.p./ano (+24 p.p. em 37 anos) indica que dias extremamente quentes passaram a ocorrer com frequência muito superior aos ~10% esperados em clima estacionário;

c) WSDI (*Warm Spell Duration Index*): tendência de aumento de +3,1 dias por década (≈ +11 dias ao longo de 37 anos) sobre média histórica de 12,4 dias/ano, conforme Tabela 6.

3.1.4.5. Índices de Extremos de Precipitação

A análise de índices de extremos de precipitação ETCCDI revela alterações relevantes no regime pluviométrico de Sergipe, com particular destaque para intensificação de períodos secos consecutivos.

O índice CDD (*Consecutive Dry Days*), que quantifica a duração máxima anual de sequências ininterruptas de dias com precipitação inferior a 1 mm, apresentou tendência estatisticamente significativa de aumento de +0,85 dias/ano ao longo de 37 anos (p=0,029, teste Mann-Kendall bilateral), correspondendo a prolongamento acumulado de aproximadamente 31 dias adicionais com precipitação inferior a 1 mm — quase um mês inteiro — em períodos secos consecutivos passando de ~74 dias no início da série para ~105 dias no período recente (+42%; Produto 1.1). Esta amplificação de secas meteorológicas tem implicações críticas para agricultura de sequeiro, segurança hídrica e sustentabilidade de ecossistemas do semiárido sergipano, especialmente quando considerada em conjunto com elevação de temperatura e consequente intensificação de demanda evapotranspirativa.

A análise estatística robusta (Mann-Kendall + Theil-Sen) para índices de precipitação revela: CDD (dias secos consecutivos máximos) apresentando tendência significativa de aumento de +0,85 dias/ano (p=0,029), evidenciando prolongamento de estiagens com incremento acumulado de 31 dias em 37 anos.

Os índices de precipitação ETCCDI para Sergipe são consolidados na Tabela 7, revelando mudanças em padrões de chuva total, intensidade e frequência de eventos extremos. A interpretação física desta tendência de prolongamento de períodos secos relaciona-se a múltiplos fatores interagentes: (1) possível deslocamento ou

enfraquecimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema gerador de chuvas no Nordeste brasileiro durante outono-inverno; (2) alterações em padrões de circulação atmosférica regional sob aquecimento global; (3) amplificação de teleconexões climáticas, particularmente eventos El Niño que historicamente suprimem precipitação na região; e (4) feedbacks positivos entre déficit hídrico e aquecimento local, onde redução de umidade do solo intensifica aquecimento superficial e inibe formação de nuvens convectivas.

Tabela 7: Índices ETCCDI de Precipitação (Médias 1985-2021 e Tendências)

ÍNDICE	DESCRIÇÃO	MÉDIA HISTÓRICA	TENDÊNCIA (POR DÉCADA)	SIGNIFICÂNCIA
PRCPTOT	Precipitação total anual em dias úmidos	947 mm	−18,3 mm	*
CDD	Dias consecutivos secos (máximo anual)	98 dias	+8,5 dias	**
CWD	Dias consecutivos úmidos (máximo anual)	9,7 dias	−0,6 dias	ns
R10mm	Dias com precipitação ≥ 10 mm	24,3 dias/ano	−1,1 dias	ns
R95p	Precipitação em dias muito úmidos (> P95)	287 mm	−12,4 mm	ns

Fonte: Cálculo dos índices ETCCDI aplicado a séries diárias INMET (1985-2021; Produto 1.1); metodologia Zhang et al. (2011). Nota: Significância estatística (teste Mann-Kendall bilateral): *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; ns = não significativo*.

3.1.4.5.1. Destaques dos resultados dos índices ETCCDI para precipitação:

a) CDD (Consecutive Dry Days): Aumento significativo indica prolongamento de períodos secos, passando de ~74 dias para ~105 dias entre o início e o final da série 1985-2021 (+31 dias). Implicação direta para segurança hídrica e agrícola;

b) PRCPTOT: Redução de 18,3 mm/década equivale a perda de ~2% por década na precipitação anual;

c) R10mm: Tendência marginal de redução na frequência de dias com chuva moderada (≥10 mm), sugerindo alteração no regime pluviométrico.

3.1.4.5.2. Interpretação integrada:

A análise dos índices ETCCDI revela padrão coerente de mudança climática em Sergipe:

- Extremos de temperatura: Tendências inequívocas de aquecimento, com aumento tanto em frequência quanto em intensidade de eventos quentes;
- Extremos de precipitação: Sinais de aridização, especialmente no prolongamento de períodos secos;
- Assimetria: Mudanças mais pronunciadas em temperatura (consistentes) do que em precipitação (maior variabilidade natural).

Este padrão é consistente com a assinatura de Mudanças Climáticas antropogênicas sobreposta à variabilidade natural, conforme identificado pelo IPCC AR6 para regiões tropicais.

3.1.4.6. Ondas de Calor: Análise de 39 Anos (1985-2023)

Ondas de calor constituem o evento climático extremo de maior risco direto à saúde humana, infraestrutura urbana e sistemas socioeconômicos, conforme amplamente documentado em literatura científica internacional (Perkins & Alexander, 2013; Russo et al., 2019) e relatórios do IPCC sobre impactos de Mudanças Climáticas em sistemas humanos (IPCC AR6 WGII, 2022).

Para o território sergipano, foi conduzida análise abrangente de ondas de calor no período 1985-2023 (39 anos), utilizando dados de temperatura máxima diária provenientes de 10 estações meteorológicas do INMET e da ANA selecionadas para a análise (incluindo estações do entorno do estado; não se confundem com a rede estadual de 9 estações de referência do §2.2.2), distribuídas espacialmente para cobrir os quatro domínios climáticos estaduais (litoral úmido, agreste úmido, semiárido 1, semiárido 2), aplicando metodologia padronizada recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2015) para detecção e caracterização de extremos térmicos.

A metodologia de detecção de ondas de calor emprega definição operacional baseada em limiares percentuais relativos à climatologia local, abordagem que permite comparabilidade entre regiões com regimes térmicos distintos.

Uma onda de calor foi definida como sequência de pelo menos 3 dias consecutivos com temperatura máxima diária superior ao percentil 95 (P95) da distribuição de frequências da série completa de cada estação (1985-2023). O percentil 95, por definição estatística, representa o limiar térmico excedido em apenas 5% dos dias em clima estacionário (aproximadamente 18 dias por ano), caracterizando eventos genuinamente extremos do ponto de vista probabilístico. O P95 calculado para Sergipe apresenta valor médio estadual de 34,88°C, com heterogeneidade espacial refletindo gradientes climáticos: varia de 31,84°C em Aracaju (litoral, forte moderação oceânica) a

37,80°C em Pão de Açúcar-AL (semiárido do Baixo São Francisco, estação da zona de influência selecionada por buffer).

Foram identificadas 404 ondas de calor no período 1985-2023 (39 anos) no Estado de Sergipe, apresentando o seguinte detalhamento:

- Frequência média: 10,4 eventos/ano;
- Duração média: 11,9 dias/evento (mediana de 6 dias);
- Duração total acumulada: 4.827 dias sob estresse térmico extremo;
- Temperatura média durante eventos: 37,12°C ± 1,84°C;
- Temperatura máxima absoluta em ondas: 42,80°C (03/jan/2016, estação de Pão de Açúcar-AL, selecionada pelo buffer da zona de influência climática de Sergipe); entre as estações situadas no território sergipano, a máxima foi de 39,9°C (Poço Verde, 03/jan/2016);
- Evento mais prolongado: cerca de 68 dias (15/out a 21/dez/2015; El Niño 2015-2016), pelo critério agregado estadual (ao menos uma estação acima do P95 estadual), com uma única interrupção de um dia (01/nov).

A evolução decanal das ondas de calor em Sergipe é quantificada na Tabela 8, evidenciando aumento em frequência, duração e intensidade nas últimas quatro décadas.

Tabela 8: Ondas de Calor em Sergipe por Década

DÉCADA	Nº DE EVENTOS	EVENTOS/ANO	DURAÇÃO MÉDIA (DIAS)	VARIAÇÃO PERCENTUAL
1985-1994	82	8,2	7,1	Baseline
1995-2004	94	9,4	7,8	+14,6%
2005-2014	108	10,8	8,5	+31,7%
2015-2024	120	12,0	9,4	+46,3%

Fonte: Identificação de ondas de calor baseada em metodologia WMO aplicada a dados INMET (1985-2024).

3.1.4.6.1. Tendência de intensificação de Ondas de calor:

- Taxa de aumento: ≈ +0,18 eventos/ano, estimada pela diferença entre as médias dos períodos 1985-2010 (9,2 eventos/ano) e 2011-2023 (12,8 eventos/ano);
- Aumento percentual: +39% na frequência média comparando períodos inicial (1985-2010) e recente (2011-2023);
- Duração: Aumento de 32% na duração média dos eventos.

3.1.4.6.2. Anos críticos (maior frequência de eventos):

1. 2015: 19 ondas de calor (recorde histórico);
2. 1998: 17 ondas de calor;

3. 2012: 16 ondas de calor;
4. 1987: 15 ondas de calor;
5. 2002: 15 ondas de calor.

Notavelmente, os anos críticos estão fortemente associados a eventos El Niño (2015, 1998, 1987) e secas plurianuais (2012), demonstrando influência de teleconexões climáticas.

3.1.4.6.3. Distribuição espacial:

Análise de interpolação espacial de alta resolução (100 m) revelou padrões geográficos consistentes:

- Áreas de maior frequência de ondas de calor:
  - Baixo São Francisco e semiárido do noroeste: maior frequência de dias acima do limiar estadual (4.189 dias em Pão de Açúcar-AL, zona de influência, e 1.227 em Propriá, 1985-2023);
  - Litoral (Aracaju): menor frequência da rede (49 dias na estação convencional 83096), em razão da moderação oceânica; o efeito de ilha de calor urbana deve ser caracterizado pela temperatura de superfície (LST), e não pelas séries de estações;
  - Sertão Sergipano: Eventos de menor frequência, mas maior intensidade térmica. Temperaturas máximas absolutas superiores durante eventos.
  - Nota de validação: na camada de estações utilizada para a interpolação dos mapas de ondas de calor da Etapa 1 (mapas_ondas_calor/estacoes_freq_ondas_calor.shp), nomes e coordenadas não correspondem aos códigos INMET — por exemplo, a estação 82990 (Pão de Açúcar-AL, zona de influência, 4.189 dias acima do limiar) foi posicionada em Aracaju, e a estação 83096 (Aracaju, 49 dias) em outro ponto. Os valores por estação permanecem válidos. Os mapas foram reformulados com as coordenadas corretas (Etapa 1, 04_OUTPUTS/mapas_ondas_calor_corrigido, período 2008-2023): a frequência de dias acima de 34,88 °C varia de 0,1% em Aracaju a 13,5% em Carira e 43,3% em Pão de Açúcar-AL, e as ondas de calor, de 0 a 6,1 eventos/ano no território sergipano. O risco ao calor foi recalculado (Etapa 1, 04_MAPAS/PRODUTOS_FINAIS, mapas R1-R3), com a população do Censo 2022 (o raster de densidade anterior representava domicílios, cerca de 761 mil, e não pessoas): cerca de 303 mil pessoas (13,7%) residem em áreas de risco crítico e 822 mil (37,2%) em risco alto a crítico.
- Impactos observados: as ondas de calor apresentam risco significativo para:
  - População urbana: Maior exposição em áreas com efeito de ilha de calor;
  - Grupos vulneráveis: Idosos, crianças, trabalhadores externos e população em situação de vulnerabilidade social;

- Saúde pública: Aumento de internações por causas respiratórias e cardiovasculares durante eventos extremos;
- Infraestrutura: Maior demanda energética para climatização e sobrecarga de sistemas de distribuição.

- Implicações para adaptação climática: a tendência inequívoca de intensificação de ondas de calor exige medidas urgentes de adaptação:
  - Sistema de Alerta Precoce: Implementação de sistema de monitoramento e alerta com antecedência mínima de 48-72h;
  - Plano de Contingência: Protocolos de emergência para serviços de saúde durante eventos extremos;
  - Infraestrutura Verde: Expansão de arborização urbana e criação de áreas de sombreamento;
  - Regulação de trabalho: Restrições a trabalhos externos em horários de pico térmico;
  - Eficiência energética: Programas de isolamento térmico de edificações e acesso a climatização eficiente.

O mapeamento do perigo de ondas de calor em Sergipe é apresentado, baseado em análise de temperatura superficial terrestre (LST) no período 2013-2023, identificando áreas urbanas e do semiárido com maior frequência de eventos extremos

3.1.5. VULNERABILIDADE COSTEIRA E RISCOS DE INUNDAÇÃO

3.1.5.1. Diagnóstico de Vulnerabilidade Costeira (CVI, 1985-2023)

A Zona costeira no Estado de Sergipe concentra 850.000 habitantes (37% da população estadual) em 163 km de litoral. Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI – Coastal Vulnerability Index; Gornitz et al., 1991) identifica 68 km (41,7%) em categoria Alta/Muito Alta de vulnerabilidade, concentrada em três segmentos críticos:

a) Litoral Norte (Brejo Grande, Pacatuba, Pirambu, 32 km): Taxa de erosão -1,2 m/ano, 18 comunidades pesqueiras (12.000 hab.) com 127 domicílios atingidos (1985-2023);

b) Região Metropolitana (Aracaju, Barra dos Coqueiros, 24 km): Taxa variável -0,4 a -2,1 m/ano, 420.000 hab expostos, infraestrutura crítica (Aeroporto 4m altitude, Terminal Portuário);

c) Estuários Sul (Estância, Itaporanga, 12 km): 24 comunidades marisqueiras (8.500 hab.), ocorrência de manguezais degradados.

3.1.5.2. Análise de inundação fluvial em Sergipe (1985-2023)

Dados derivados da coleção MapBiomas Water Frequency v2.0 apresentam frequência percentual de detecção de água superficial em série temporal de 468 imagens Landsat (39 anos, resolução 30 m), classificado em 6 categorias: Água Permanente (>75%), Sazonal Alta (50-75%), Sazonal Baixa (25-50%), Ocasional Alta (10-25%), Ocasional Baixa (2-10%) e Raro (<2%).

A análise identifica 1.850 ha de planícies aluviais com frequência de inundação >10% (categorias Ocasional a Permanente excluindo rios e reservatórios mapeados), dos quais 1.480 ha apresentam ocupação humana consolidada (identificada por cruzamento com imagens de alta resolução Google Earth 2023 e dados Censo IBGE 2022), totalizando 28.400 habitantes residentes em áreas de risco significativo de inundação (população em setores censitários com >5% da área em zona de frequência >10%). Três zonas críticas destacam-se: (1) Baixo São Francisco (Brejo Grande, Ilha das Flores, Neópolis, Propriá) — 820 ha de várzeas ribeirinhas ocupadas por 12.800 habitantes em 38 comunidades, frequência de inundação 15-45% dependendo do trecho, regime fluvial alterado por barragens a montante resultando em padrão irregular com cheias súbitas (enchentes flash) durante aberturas de comportas de Xingó (vazão turbinada pode variar de 800 m³/s para 6.000 m³/s em <6 horas sem aviso prévio adequado a comunidades de jusante), evento de jun/2004 resultou em 18 mortes e desalojamento de 8.200 pessoas em Sergipe e Alagoas; (2) Planície do rio Sergipe (Aracaju, Nossa Senhora do Socorro, São Cristóvão, Laranjeiras) — 420 ha de ocupação irregular em margens, 9.600 habitantes em bairros periféricos (Bugio, Porto Dantas, Santa Maria), frequência de inundação 12-28%, agravada por assoreamento do leito (redução de 35% na seção transversal média entre ponte João Alves e foz no período 1985-2020 segundo batimetrias comparativas DHN), combinação de maré de enchente (regime estuarino até 18 km da foz) com precipitação intensa causa inundação bidirecional; (3) Planície do rio Piauí (Estância, Indiaroba) — 240 ha ocupados, 6.000 habitantes, frequência 10-22%, inundação agravada por maré alta em estuário, eventos recentes abr/2022 (120 mm/dia, 1.800 famílias afetadas) e mai/2020 (142 mm/dia + maré sizígia, 2.400 deslocados).

3.1.5.3. Alagamento pluvial urbano

O risco de alagamento pluvial urbano na Região Metropolitana de Aracaju é espacializado, considerando déficit de drenagem e impermeabilização do solo. São 4.280 ha com área em risco Alto/Crítico e 182.000 habitantes expostos (nota de validação: no mapa de perigo de alagamento pluvial da Etapa 1, com a população corrigida pelo Censo

2022, as classes alta e crítica somam 12.143 ha e cerca de 295 mil habitantes na RMA; a origem dos valores de 4.280 ha e 182 mil habitantes deve ser conferida, pois o raster de densidade original representava domicílios, e não pessoas). Frequência aumentou 88% (de 8,5 para 16,0 eventos/ano em Aracaju). Como principais causas, têm-se: impermeabilização (+68%), drenagem subdimensionada, ocupação de fundos de vale.

As Zonas críticas são: Aracaju Centro-Sul (1.680 ha, 78.000 hab, de 2010-2023), Periferia Metropolitana (1.320 ha, 64.000 hab., IVS 0,52), Lagarto, Estância, Itabaiana. São 42 comunidades prioritárias (18 pesqueiras costeiras + 24 marisqueiras estuarinas), 31.200 habitantes com IVS>0,45 + exposição alta = risco climático composto crítico.

3.1.5.4. Estratégias integradas de adaptação

- Proteção: Obras de contenção erosiva, diques, drenagem sustentável, restauração de manguezais;
- Redução de exposição: Relocação assistida (áreas de altíssimo risco), restrição novas ocupações, ordenamento territorial;
- Capacidade adaptativa: Sistemas de alerta precoce, seguros climáticos, diversificação de subsistência.

3.1.6. PROJEÇÕES CLIMÁTICAS (2030-2100)

As projeções climáticas para Sergipe baseiam-se em simulações de Modelos Climáticos Globais (GCMs) da sexta fase do Projeto de Intercomparação de Modelos Climáticos Acoplados - CMIP6 (Eyring et al., 2016), que subsidiaram o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC - AR6 (IPCC, 2021-2023). Foram analisadas projeções de 2 modelos CMIP6 para a região do Nordeste brasileiro, abrangendo quatro cenários de Trajetórias Socioeconômicas Compartilhadas (SSP) e três horizontes temporais: curto prazo (2030-2050), médio prazo (2051-2070) e longo prazo (2071-2100).

3.1.6.1. Metodologia de Projeções Climáticas

3.1.6.1.1. Modelos climáticos globais (GCMs):

Utilizou-se a reunião de 2 modelos do CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6; Eyring et al., 2016), selecionados por desempenho no Nordeste brasileiro conforme análises do INPE (Avila-Diaz et al., 2020) e literatura internacional (Alves et al., 2021). O uso de dois modelos permite avaliar a coerência do sinal de mudança e

fornecer uma faixa de variação entre modelos, embora não substitua um conjunto multimodelo amplo; recomenda-se ampliar o conjunto nas revisões do Plano (Quadro 7).

Quadro 7: Principais modelos do CMIP6 utilizados

MODELO	RESOLUÇÃO ATMOSFÉRICA	REFERÊNCIA
MRI-ESM2-0	~100 km	Eyring et al., 2016
EC-Earth3-Veg	~100 km	Eyring et al., 2016

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

3.1.6.1.2. Critérios de seleção dos modelos:

a) Disponibilidade de variáveis climáticas essenciais (temperatura, precipitação, umidade, vento);

b) Desempenho satisfatório na simulação do clima histórico do Nordeste (RMSE temperatura <2°C, precipitação <25%);

c) Capacidade de representar sistemas atmosféricos regionais (ZCIT, ZCAS, sistemas frontais);

d) Participação em exercícios de intercomparação CMIP6 com dados validados.

3.1.6.1.3. Validação dos modelos climáticos globais:

A confiabilidade de projeções climáticas futuras fundamenta-se criticamente na capacidade dos modelos de reproduzir fidedignamente o clima observado no período histórico recente. Os 2 modelos CMIP6 selecionados foram submetidos a protocolo rigoroso de validação, comparando simulações históricas do período 1985-2014 com dados observacionais de alta qualidade provenientes de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Sergipe e buffer regional (5 estações principais: Aracaju, Propriá, Itabaiana, Paulo Afonso, Pão de Açúcar). A validação empregou múltiplas métricas estatísticas para avaliar tanto médias climatológicas quanto variabilidade temporal e extremos.

Para “temperatura média anual”, os dois modelos demonstraram desempenho satisfatório, com Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) entre 0,5°C e 0,7°C quando comparadas simulações históricas com observações. Este erro, inferior a 4% da temperatura média absoluta (~25°C), situa-se dentro de margens aceitáveis para modelos climáticos globais operando em resolução espacial de ~100 km.

A diferença de desempenho entre os dois modelos (RMSE de 0,5°C a 0,7°C) reflete diferenças em esquemas de parametrização física, resolução atmosférica e representação de processos de superfície. O viés sistemático identificado nas simulações brutas — subestimação da temperatura máxima média em cerca de 1,5°C em relação ao

BR-DWGD no período jan/2015-mar/2024 (Produto 1.2, Tabela 3) — foi corrigido mediante aplicação de técnicas de downscaling estatístico (Quantile Delta Mapping), preservando o sinal de mudança climática projetado enquanto ajustando a climatologia de referência.

A validação de "precipitação anual" revelou desempenho moderado, com RMSE médio do conjunto de 18% (variação entre modelos individuais: 12-24%), refletindo desafios conhecidos de modelos climáticos globais na representação de processos convectivos de pequena escala e interações complexas entre circulação atmosférica, topografia e heterogeneidade de superfície. Modelos climáticos globais com resolução de ~100 km não resolvem explicitamente nuvens convectivas individuais (escala de 1-10 km), dependendo de esquemas de parametrização que introduzem incertezas substanciais. A análise de "sazonalidade" demonstrou que modelos reproduzem adequadamente o ciclo anual de temperatura (coeficiente de correlação médio = 0,82 indicando boa concordância temporal), mas com maior dificuldade para precipitação (correlação média = 0,68), especialmente na representação da transição entre estação chuvosa e seca.

A capacidade dos modelos em reproduzir "eventos extremos" quantificados através de índices ETCCDI apresentou desempenho diferenciado: extremos de temperatura são razoavelmente bem capturados (coeficiente de determinação $R^2 = 0,71$ para TX90p, dias quentes), enquanto extremos de precipitação mostram concordância moderada a baixa ($R^2 = 0,48$ para CDD, dias secos consecutivos), refletindo a natureza estocástica e fortemente não-linear de eventos extremos de precipitação. Esta limitação implica que projeções de extremos pluviométricos devem ser interpretadas com maior cautela, com ênfase em sinais robustos de consenso inter-modelos em detrimento de valores absolutos de modelos individuais.

Abordagem de pesos iguais: Utilizou-se conjunto com pesos iguais para todos os modelos (média aritmética simples), conforme prática padrão do IPCC AR6. Embora modelos apresentem desempenho variável, não há consenso científico sobre metodologia ótima de ponderação, e estudos demonstram que conjuntos simples frequentemente superam conjuntos ponderados em termos de robustez estatística;

Modelos com melhor desempenho para Sergipe: MRI-ESM2-0 e EC-Earth3-Veg apresentaram RMSE <0,7°C para temperatura e <15% para precipitação.

3.1.6.1.4. Cenários de Trajetórias Socioeconômicas Compartilhadas (SSP):

Os cenários SSP (Shared Socioeconomic Pathways) utilizados nas projeções climáticas para Sergipe são descritos na Tabela 9, representando trajetórias de

desenvolvimento socioeconômico e ambições de mitigação global. Os cenários SSP (SSP; O'Neill et al., 2016; Riahi et al., 2017) representam trajetórias plausíveis de desenvolvimento socioeconômico global que resultam em diferentes níveis de forçamento radiativo e consequentes mudanças climáticas. Substituem os cenários RCP (Representative Concentration Pathways) utilizados no IPCC AR5, integrando dimensões socioeconômicas (população, PIB, desigualdade, tecnologia) com trajetórias de emissões de gases de efeito estufa.

Tabela 9: Cenários SSP Utilizados nas Projeções para Sergipe

CENÁRIO	FORÇAMENTO RADIATIVO 2100	AQUECIMENTO GLOBAL PROJETADO	DESCRIÇÃO NARRATIVA
SSP1-2.6	2,6 W/m²	+1,5–2,0 °C	Mitigação agressiva, pico de emissões antes de 2050, remoção ativa de CO_2. Alinhado com meta de 1,5 °C do Acordo de Paris. **Cenário prioritário do PEMAMC-SE.**
SSP2-4.5	4,5 W/m²	+2,0–3,0 °C	Mitigação parcial, estabilização de emissões até meados do século.
SSP3-7.0	7,0 W/m²	+3,0–4,5 °C	Políticas climáticas fracas.
SSP5-8.5	8,5 W/m²	+4,0–6,0 °C	Crescimento baseado em combustíveis fósseis, adaptação tecnológica sem mitigação. Cenário de pior caso.

Fonte: IPCC AR6 (2021); O'Neill et al. (2016).

3.1.6.1.5. Justificativa para seleção dos cenários:

O PEMAMC-SE adota o **SSP1-2.6** como cenário de referência principal para planejamento de ações climáticas em Sergipe, alinhado com a meta de 1,5°C do Acordo de Paris e os compromissos da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira atualizada em 2024, que estabelece redução de 59% a 67% das emissões líquidas até 2035 em relação a 2005 (e de 53% até 2030) e neutralidade climática até 2050. Ressalte-se que a meta estadual de -60% até 2035 (§2.2.2) tem como referência o ano-base 2024 do inventário estadual, e não 2005; por isso, os percentuais não são diretamente equivalentes.

Esta escolha reflete três fundamentos estratégicos:

1. Imperativo de mitigação ambiciosa: O SSP1-2.6 representa a trajetória necessária — não apenas desejável — para evitar os impactos climáticos mais severos e irreversíveis. As projeções do IPCC AR6 demonstram que aquecimento superior a 1,5-2,0°C resulta em cascata de pontos de

inflexão climáticos (*tipping points*) que comprometem sistemas naturais e humanos;

2. Alinhamento institucional: O Brasil ratificou o Acordo de Paris e estabeleceu compromissos legais vinculantes através da Lei 12.187/2009 (Política Nacional sobre Mudança do Clima) e Lei 14.902/2024 (Plano Nacional de Ação Climática). O planejamento estadual deve refletir esses compromissos nacionais;
3. Viabilidade técnica e econômica: Estudos do IPCC AR6 e da Agência Internacional de Energia demonstram que a trajetória SSP1-2.6 é tecnologicamente viável com tecnologias disponíveis (energias renováveis, eficiência energética, eletrificação de transportes, agricultura de baixo carbono) e economicamente competitiva, especialmente considerando custos evitados de impactos climáticos.

3.1.6.1.6. SSP2-4.5 — Cenário de Referência Comparativa:

O SSP2-4.5 é mantido como cenário de referência comparativa, representando trajetória intermediária com esforços moderados de mitigação global. Embora seja frequentemente citado como "cenário mais provável" dadas as políticas atuais, essa classificação é temporária e reflete a inércia política, não a necessidade ou viabilidade. Este cenário serve para:

- Quantificar os impactos adicionais resultantes de mitigação insuficiente;
- Demonstrar os custos de adaptação crescentes sob políticas intermediárias;
- Ilustrar a diferença entre trajetórias atuais e necessárias.

3.1.6.1.7. SSP3-7.0 e SSP5-8.5 — Cenários de Análise de Sensibilidade:

Os cenários SSP3-7.0 e SSP5-8.5 são mantidos exclusivamente para análise de sensibilidade e gestão de riscos extremos. Representam trajetórias cada vez menos prováveis devido ao declínio acelerado de custos de energia renovável, compromissos internacionais crescentes e pressão social. No entanto, permanecem informativos para:

- Avaliar limite superior de impactos climáticos;
- Dimensionar capacidade adaptativa necessária em cenários pessimistas;
- Planejamento de contingência para riscos catastróficos;
- Demonstrar consequências de falha na mitigação global.

3.1.6.2. Projeções de Temperatura

As projeções de temperatura para o território sergipano derivam de análise robusta de conjunto envolvendo 2 modelos climáticos globais da sexta fase do Projeto de

Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6), submetidos a técnicas de downscaling estatístico para resolução espacial de 10 km.

O conjunto multi-modelo revela sinal inequívoco de aquecimento em todos os cenários de trajetórias socioeconômicas compartilhadas (SSP) e horizontes temporais analisados, com magnitude da anomalia térmica fortemente dependente da trajetória de emissões globais de gases de efeito estufa.

As projeções de aquecimento para Sergipe sob quatro cenários SSP são apresentadas na Tabela 10, quantificando anomalias de temperatura para horizontes de curto (2030-2050), médio (2051-2070) e longo prazo (2071-2100). O aquecimento projetado para Sergipe segue padrão consistente com projeções para o Nordeste brasileiro apresentadas no Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6, 2021-2022), embora com particularidades regionais relacionadas à influência oceânica no litoral e características continentais no semiárido.

A análise de consenso inter-modelos indica concordância de 100% dos 2 modelos quanto ao sinal de aquecimento (alta confiança), com dispersão (spread) inter-modelos concentrada primariamente na magnitude da resposta térmica em horizontes distantes (pós-2070) e cenários extremos (SSP5-8.5). A incerteza associada às projeções, expressa pela faixa de variação entre os dois modelos do conjunto (valores mínimo e máximo após correção de viés), reflete tanto incertezas na sensibilidade climática dos modelos quanto nas trajetórias socioeconômicas futuras.

Tabela 10: Projeções de Aquecimento para Sergipe (Anomalias em relação a 1985-2014)

HORIZONTE	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
2030–2050	+1,2 °C (0,9–1,5 °C)	+1,5 °C (1,2–1,8 °C)	+1,7 °C (1,4–2,1 °C)	+1,9 °C (1,5–2,3 °C)
2051–2070	+1,4 °C (1,0–1,8 °C)	+2,1 °C (1,7–2,5 °C)	+2,8 °C (2,3–3,4 °C)	+3,2 °C (2,6–3,9 °C)
2071–2100	+1,5 °C (1,1–2,0 °C)	+2,7 °C (2,2–3,2 °C)	+4,1 °C (3,4–4,9 °C)	+5,3 °C (4,4–6,4 °C)

Nota: Valores entre parênteses indicam a faixa de variação entre os dois modelos do conjunto (mínimo–máximo); com apenas dois modelos não é possível estimar percentis ou intervalos de confiança estatísticos.
Fonte: Conjunto MRI-ESM2-0 e EC-Earth3-Veg (CMIP6) com correção de viés via Quantile Delta Mapping.

SSP1-2.6 representa trajetória de mitigação ambiciosa consistente com meta de 1,5°C do Acordo de Paris (requer ação climática global coordenada). SSP2-4.5 representa mitigação parcial. SSP3-7.0 e SSP5-8.5 representam cenários de altas emissões, cada vez menos prováveis, mas mantidos para análise de sensibilidade e riscos extremos.

A interpretação física e socioambiental das trajetórias projetadas revela gradiente substancial de impactos conforme a ambição climática global materializada em cada cenário SSP. A análise prioriza o cenário SSP1-2.6, trajetória adotada pelo PEMAMC-SE como referência para planejamento de ações climáticas.

O cenário SSP1-2.6, que representa trajetória de mitigação ambiciosa consistente com a meta do Acordo de Paris de limitar o aquecimento global a 1,5°C, projeta estabilização da anomalia térmica em Sergipe em aproximadamente +1,5°C (intervalo 1,1-2,0°C) até o final do século XXI. Esta trajetória pressupõe ação climática global coordenada e sustentada, com emissões globais líquidas de CO_2 atingindo zero entre 2070-2080 e subsequente período de emissões negativas líquidas (remoção ativa de carbono atmosférico).

Mesmo neste cenário mais favorável, Sergipe experimentará aquecimento inequívoco de 1,5°C em relação ao período de referência 1985-2014, magnitude suficiente para produzir alterações mensuráveis em regime térmico, extremos de temperatura e demanda adaptativa de sistemas naturais e humanos. Os impactos no cenário apresentado se apresentam de formas variadas nos diversos setores:

- Agricultura: Necessidade de ajustes em calendários agrícolas, seleção de cultivares mais tolerantes ao calor, ampliação de sistemas de irrigação eficientes;
- Recursos hídricos: Redução de 5-8% na precipitação anual requer gestão otimizada de reservatórios e uso eficiente da água;
- Saúde pública: Aumento moderado de ondas de calor (frequência +30-50% até 2050) demanda sistemas de alerta precoce e infraestrutura de resfriamento em áreas urbanas;
- Ecossistemas: Deslocamento gradual de espécies sensíveis, mas com tempo para adaptação natural e assistida;
- Zona costeira: Elevação do nível do mar de 0,38-0,55 m até 2100 (Tabela 13) gerenciável com obras de proteção costeira e ordenamento territorial.

A estabilização projetada após 2060 reflete o equilíbrio entre forçamento radiativo residual de GEE de longa vida atmosférica e resposta inercial do sistema climático demonstrando que ação climática rápida e ambiciosa pode estabilizar o aquecimento em níveis administráveis.

3.1.6.2.1. Cenário SSP2-4.5 — Referência Comparativa:

O cenário SSP2-4.5 projeta aquecimento de +2,7°C (intervalo 2,2-3,2°C) até 2100 para Sergipe. Esta trajetória assume esforços moderados de mitigação global, com

pico de emissões entre 2040-2050 e subsequente declínio gradual, porém insuficiente para evitar forçamento radiativo substancial.

3.1.6.2.2. Impactos ampliados sob SSP2-4.5 comparados ao SSP1-2.6:

O aquecimento projetado neste cenário implica alterações profundas e potencialmente irreversíveis em sistemas agrícolas (perda de aptidão de culturas sensíveis ao calor), recursos hídricos (amplificação de evapotranspiração e déficit hídrico), saúde pública (multiplicação de ondas de calor letais) e ecossistemas (contração de distribuição geográfica de espécies).

3.1.6.2.3. Projeção de extremos de temperatura (SSP1-2.6 vs SSP2-4.5):

A comparação de extremos térmicos entre os dois cenários evidencia os benefícios quantificáveis da mitigação ambiciosa:

- Horizonte 2030-2050 sob SSP1-2.6:
  - Ondas de calor: aumento de +40-60% na frequência (14-17 eventos/ano vs 10,4 histórico);
  - Dias com Tmax > 35°C: aumento de +25 dias/ano (de 28 para 53 dias);
  - Temperatura máxima absoluta: elevação de +1,2-1,6°C (picos de 42-43°C);
  - Noites tropicais (Tmin > 20°C): aumento de +20 dias/ano (de 170 para 190 dias).
- Horizonte 2030-2050 sob SSP2-4.5:
  - Ondas de calor: aumento de +80-120% na frequência (19-23 eventos/ano vs 10,4 histórico);
  - Dias com Tmax > 35°C: aumento de +45 dias/ano (de 28 para 73 dias);
  - Temperatura máxima absoluta: elevação de +1,8-2,4°C (picos de 43-44°C);
  - Noites tropicais (Tmin > 20°C): aumento de +30 dias/ano (de 170 para 200 dias).
- Horizonte 2071-2100 sob SSP1-2.6:
  - Ondas de calor: aumento de +50-80% (16-19 eventos/ano) — estabilizado;
  - Dias com Tmax > 35°C: aumento de +35 dias/ano (de 28 para 63 dias - 17% do ano);
  - Temperatura máxima absoluta: elevação de +1,5-2,0°C (picos de 42-43°C);
  - Noites tropicais: aumento de +25 dias/ano (de 170 para 195 dias - 53% do ano).

- Horizonte 2071-2100 sob SSP2-4.5:
  - Ondas de calor: aumento de +150-200% (26-31 eventos/ano) — deterioração contínua;
  - Dias com Tmax > 35°C: aumento de +90 dias/ano (de 28 para 118 dias - 32% do ano).
  - Temperatura máxima absoluta: elevação de +3,5-4,2°C (picos de 45-46°C);
  - Noites tropicais: aumento de +60 dias/ano (de 170 para 230 dias - 63% do ano).

Análise comparativa: A mitigação ambiciosa (SSP1-2.6) reduz em aproximadamente 50-60% a intensidade e frequência de extremos térmicos comparado ao cenário intermediário (SSP2-4.5), demonstrando que cada 0,1°C de aquecimento evitado resulta em benefícios mensuráveis para saúde pública, agricultura e economia.

3.1.6.2.4. Síntese das Trajetórias Térmicas e Implicações para Planejamento:

A compreensão das trajetórias térmicas futuras sob diferentes cenários socioeconômicos constitui fundamento essencial para dimensionamento adequado de medidas de adaptação e para comunicação efetiva de riscos climáticos a tomadores de decisão e público geral. A representação visual das projeções de temperatura mediante séries temporais estendidas de 2025 a 2100 permite visualização imediata de três aspectos críticos: (i) divergência progressiva entre cenários conforme função das trajetórias de emissões globais assumidas em cada SSP; (ii) incerteza associada às projeções, expressa através de envelopes representando intervalos de confiança derivados da dispersão inter-modelos do conjunto CMIP6; (iii) irreversibilidade parcial do aquecimento, evidenciada pela persistência de anomalias térmicas significativas mesmo no cenário mais otimista (SSP1-2.6) que pressupõe mitigação agressiva global.

As projeções de temperatura para Sergipe foram derivadas de conjunto robusto de modelos climáticos com destaque para os modelos climáticos globais de alta performance: MRI-ESM2-0 (Meteorological Research Institute Earth System Model) e EC-Earth3-Veg. O MRI-ESM2-0 foi classificado como modelo de melhor desempenho para simulações de temperatura sobre território brasileiro, apresentando redução substancial de vieses sistemáticos em relação a gerações anteriores de modelos (Firpo et al., 2022). O EC-Earth3-Veg complementa o conjunto através de sua representação avançada de interações dinâmicas entre vegetação e clima via módulo LPJ-GUESS, aspecto particularmente relevante para Sergipe dado mosaico de biomas coexistentes (Mata Atlântica e Caatinga).

As simulações brutas dos modelos foram submetidas a técnica de correção de viés denominada *Quantile Delta Mapping* (QDM), que ajusta distribuições estatísticas das projeções para corresponder a características observacionais do período de calibração 2015-2024, derivadas do Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD). O QDM preserva sinais de mudança climática projetados pelos modelos enquanto elimina vieses sistemáticos nas estatísticas de ordem da distribuição, garantindo que as caudas da distribuição (extremos térmicos) sejam representadas além das médias. O conjunto final atribui pesos idênticos aos dois modelos, refletindo avaliação de desempenho comparável, e fornece estimativa central (média dos dois modelos) e a faixa de variação entre eles.

As projeções revelam padrão de divergência progressiva entre cenários, com trajetórias térmicas permanecendo sobrepostas até aproximadamente 2040 (período em que aquecimento comprometido por emissões históricas domina sobre diferenças entre cenários), após o qual diferenças tornam-se pronunciadas. No cenário SSP5-8.5 (desenvolvimento fóssil-intensivo), a temperatura máxima média anual em Sergipe atinge aproximadamente 34,6°C em 2100, representando anomalia de +3,0°C relativa ao baseline de 2030 (31,6°C). Esta magnitude de aquecimento posicionaria Sergipe em regime térmico sem análogo histórico na era moderna, com temperaturas máximas rotineiramente excedendo 37-39°C em vastas áreas do Sertão durante estação seca, ultrapassando limiares críticos para saúde humana, produtividade laboral e funcionamento de ecossistemas. O SSP3-7.0 (rivalidades regionais) exibe trajetória similar ao SSP5-8.5 até 2080, divergindo ligeiramente no final do século com aquecimento de aproximadamente +2,8°C, refletindo emissões cumulativas ligeiramente menores, porém capacidade adaptativa reduzida devido a governança fragmentada.

O cenário SSP2-4.5 (meio do caminho), posiciona temperatura máxima média em aproximadamente 33,1°C. Esta magnitude de aquecimento, embora substancialmente menor que cenários mais pessimistas, ainda implica alterações profundas em sistemas agrícolas (perda de aptidão de culturas sensíveis ao calor como feijão e milho de sequeiro), recursos hídricos (amplificação de evapotranspiração potencial e déficit hídrico), e saúde pública (multiplicação de ondas de calor com risco de mortalidade).

Apenas o cenário SSP1-2.6 (sustentabilidade - caminho verde), que pressupõe ação climática global coordenada e agressiva com emissões líquidas de CO_2 atingindo zero entre 2070-2080, projeta estabilização do aquecimento em magnitude relativamente moderada de aproximadamente +0,8°C até 2100 em relação ao baseline de 2030 (temperatura máxima média de 32,4°C). Mesmo neste cenário mais favorável, Sergipe experimentará aquecimento inequívoco suficiente para produzir alterações mensuráveis

em regime térmico e demanda adaptativa. A estabilização após 2060 visível neste cenário reflete equilíbrio entre forçamento radiativo residual de GEE de longa vida atmosférica (especialmente CO_2 e N_2O) e resposta inercial do sistema climático.

Nota de compatibilização: as anomalias deste trecho (Produto 1.2) referem-se à temperatura máxima média anual em relação ao baseline de 2030 (31,6°C), enquanto as Tabelas 10 e 15 expressam anomalias em relação ao período 1985-2014. Como o aquecimento já ocorrido entre 1985-2014 e 2030 é da ordem de +0,7°C a +0,9°C (Produto 1.1), os valores são compatíveis entre si — por exemplo, SSP1-2.6: +0,8°C sobre 2030 ≈ +1,5°C sobre 1985-2014; SSP2-4.5: +1,5°C sobre 2030 (33,1°C) ≈ +2,3°C a +2,7°C sobre 1985-2014. Para comunicação das metas e comparações entre cenários, adota-se a Tabela 10 (referência 1985-2014).

A incerteza associada às projeções, representada por envelopes sombreados (mostra o intervalo de confiança ou a variabilidade entre modelos climáticos), amplifica-se progressivamente com horizonte temporal e é maior para cenários de altas emissões (SSP5-8.5 e SSP3-7.0), refletindo incertezas tanto na sensibilidade climática dos modelos quanto em possíveis feedbacks não-lineares do sistema terrestre sob aquecimento severo (degelo de permafrost com liberação de metano, alterações em circulação oceânica termohalina, mudanças em cobertura de nuvens). Para SSP2-4.5, a incerteza na temperatura projetada para 2100 é de aproximadamente ±0,5°C (intervalo 32,6-33,6°C), magnitude considerável que demanda estratégias de adaptação robustas capazes de lidar com faixa de resultados possíveis.

3.1.6.3. Projeções de Precipitação

3.1.6.3.1. Redução de precipitação projetada

Projeções de precipitação apresentam maior incerteza que projeções de temperatura (spread inter-modelos de 40%), mas consenso crescente aponta para aridização do Nordeste brasileiro.

As mudanças projetadas em precipitação anual para Sergipe são consolidadas na Tabela 11, indicando tendências de redução mais pronunciadas no semiárido sob cenários de altas emissões.

ATENÇÃO - Nota sobre incertezas: As projeções de precipitação têm incerteza substancialmente maior que as de temperatura. A discordância entre modelos CMIP6 é elevada: enquanto a maioria projeta redução, alguns modelos indicam estabilidade ou ligeiro aumento, especialmente em horizontes distantes. Modelos

climáticos globais têm limitações conhecidas na representação do regime de chuvas do Nordeste brasileiro devido à complexa interação entre sistemas atmosféricos regionais (ZCIT, ZCAS, sistemas frontais) e teleconexões oceânicas (El Niño, Dipolo do Atlântico). O nível de confiança para projeções de precipitação é classificado como médio pelo IPCC AR6.

Tabela 11: Projeções de Mudança em Precipitação para Sergipe (% em relação a 1985-2014)

HORIZONTE	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
2030–2050	−5% (−12 a +3%)	−8% (−15 a −2%)	−12% (−20 a −5%)	−10% (−18 a −3%)
2051–2070	−7% (−15 a +2%)	−13% (−22 a −5%)	−18% (−28 a −9%)	−16% (−26 a −7%)
2071–2100	−8% (−17 a +1%)	−17% (−27 a −8%)	−25% (−36 a −15%)	−23% (−34 a −13%)

Nota: Valores negativos indicam redução de precipitação. Intervalos representam a faixa de variação entre os dois modelos do conjunto (mínimo–máximo). Nível de confiança: médio (IPCC AR6). SSP1-2.6 é o cenário prioritário do PEMAMC-SE, com redução moderada e gerenciável de 5-8% até 2100. SSP2-4.5 representa cenário intermediário com redução significativa de 17%. Fonte: Conjunto MRI-ESM2-0 e EC-Earth3-Veg (CMIP6) com correção de viés via Quantile Delta Mapping.

3.1.6.3.2. Cenário SSP1-2.6 — Trajetória Prioritária (Redução Moderada):

Sob o cenário prioritário SSP1-2.6, Sergipe enfrentará redução moderada e gerenciável de precipitação, estabilizando em aproximadamente -8% (intervalo -17 a +1%) até o final do século XXI. Esta redução é significativamente menor que cenários de emissões elevadas, demonstrando benefícios tangíveis da mitigação climática ambiciosa para segurança hídrica.

- **Implicações sob SSP1-2.6 por zona climática:**
  - Zona Litoral: De 1.387 mm/ano para ~1.276 mm/ano (-111 mm, -8%) — regime ainda confortável para agricultura de sequeiro;
  - Zona Agreste: De 1.043 mm/ano para ~960 mm/ano (-83 mm, -8%) — ajustes moderados em calendário agrícola necessários;
  - Semiárido 1: De 738 mm/ano para ~679 mm/ano (-59 mm, -8%) — gestão hídrica intensificada, porém viável;
  - Semiárido 2: De 621 mm/ano para ~571 mm/ano (-50 mm, -8%) — permanece acima do limiar de aridez extrema (500 mm).
- **Capacidade adaptativa sob SSP1-2.6:** A redução de 8% na precipitação, embora significativa, pode ser gerenciada através de medidas de adaptação já disponíveis:
  - Recursos hídricos: Ampliação moderada (+10-15%) da capacidade de reservação e eficiência no uso da água;
  - Agricultura: Ajustes em calendário agrícola (antecipação de plantio em 10-15 dias), introdução de cultivares melhoradas tolerantes ao déficit hídrico moderado;

- Abastecimento urbano: Investimentos em redução de perdas na distribuição (atualmente ~40% em Sergipe), reuso de água, captação de água de chuva;
- Ecossistemas: Velocidade de mudança permite adaptação natural de espécies e regeneração assistida de áreas degradadas.

3.1.6.3.3. Cenário SSP2-4.5 — Referência Comparativa (Redução Significativa):

O cenário SSP2-4.5 projeta redução substancial de -17% (intervalo -27 a -8%) até 2100, com impactos significativamente mais severos:

- **Implicações ampliadas sob SSP2-4.5:**
  - Zona Litoral: De 1.387 mm/ano para ~1.151 mm/ano (-236 mm);
  - Zona Agreste: De 1.043 mm/ano para ~866 mm/ano (-177 mm);
  - Semiárido 1: De 738 mm/ano para ~613 mm/ano (-125 mm);
  - Semiárido 2: De 621 mm/ano para ~515 mm/ano (-106 mm) - limiar de hiperaridez (500 mm).

3.1.6.3.4. Diferença entre cenários SSP1-2.6 e SSP2-4.5:

A mitigação ambiciosa evita redução adicional de 9 pontos percentuais (17% - 8% = 9%), equivalente a evitar a redução de cerca de 85 mm/ano na média estadual (947 mm) — ou 125 mm/ano na Zona Litoral (1.387 mm) e 56 mm/ano no Semiárido 2 (621 mm) — volume crítico para manutenção de atividades agrícolas e abastecimento hídrico no semiárido.

Análise de consenso entre modelos: os dois modelos do conjunto projetam redução de precipitação para Sergipe até 2100 nos cenários SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5, conferindo confiança média nesta tendência geral de aridização. Para horizontes mais próximos (2030-2050) e para o SSP1-2.6, a faixa entre modelos inclui valores próximos de zero ou levemente positivos (ex.: −12% a +3%), refletindo maior incerteza devido à variabilidade climática natural.

- Mudanças na sazonalidade (comum a todos os cenários, mais pronunciada sob SSP2-4.5):
  - Encurtamento da estação chuvosa: Redução de 1-2 meses no período com precipitação > 100 mm/mês;
  - Atraso no início das chuvas: Início da estação chuvosa 10-20 dias mais tardio;
  - Concentração de chuvas: Aumento de +15-25% na precipitação horária máxima (eventos extremos), apesar de redução total;

- Prolongamento de estiagem: aumento do período seco consecutivo (CDD) de +10 dias no SSP1-2.6 em 2030-2050 (Tabela 12), podendo alcançar +20-35 dias sob SSP2-4.5 no final do século.

- Implicação paradoxal: Menos chuva total, mas eventos de chuva intensa mais frequentes → maior risco de enchentes localizadas + secas prolongadas.

3.1.6.4. Projeções de extremos de precipitação (SSP1-2.6, 2030-2050)

A Tabela 12 apresenta as projeções de extremos de precipitação considerando o cenário SSP1-2.6, no período de 2030 a 2050.

Tabela 12: Projeções de extremos de precipitação

ÍNDICE ETCCDI	MUDANÇA PROJETADA	INTERPRETAÇÃO
PRCPTOT (Precipitação total anual)	-5% (-47 mm/ano)	Redução moderada e gerenciável
CDD (Dias consecutivos secos)	+10 dias	De 98 para 108 dias (~3,5 meses)
CWD (Dias consecutivos úmidos)	-0,8 dias	De 9,7 para 8,9 dias
R10mm (Dias com chuva ≥10 mm)	-2 dias/ano	De 24,3 para 22,3 dias
R95p (Chuva em dias muito úmidos)	-3%	Leve redução de eventos extremos
Rx1day (Precipitação máxima em 1 dia)	+4%	Intensidade moderadamente aumentada

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

3.1.6.4.1. Mecanismos físicos da mudança

As projeções de aridização do Nordeste brasileiro estão associadas a múltiplos processos físicos sob aquecimento global:

a) Alterações na circulação oceânica: Modelos projetam possível enfraquecimento da Circulação Meridional de Revolvimento do Atlântico (AMOC), com reduções variando entre 10-40% até 2100 conforme o modelo e cenário, afetando o transporte de calor e umidade para o Atlântico Tropical;

b) Mudanças em padrões de temperatura superficial do mar: Alterações no gradiente térmico entre oceanos tropicais podem influenciar o posicionamento médio da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com deslocamento preferencial para norte reduzindo precipitação sobre o Nordeste brasileiro;

c) Expansão da circulação de Hadley: Sob aquecimento global, células de Hadley tendem a se expandir em direção aos polos e intensificar subsidência (movimento descendente de ar) nos subtrópicos, inibindo formação de nuvens e precipitação;

d) Feedbacks solo-atmosfera: Redução inicial de chuva diminui umidade do solo, reduzindo evapotranspiração e reciclagem local de umidade, amplificando déficit hídrico;

e) Enfraquecimento de ventos alísios: Mudanças na circulação atmosférica tropical podem enfraquecer transporte de umidade do Atlântico para o continente.

Limitações: Estes mecanismos apresentam incertezas significativas e variam substancialmente entre modelos CMIP6, refletindo a complexidade da interação entre processos de múltiplas escalas espaciais e temporais.

3.1.6.5. Análise de Risco Climático Integrado – Impactos Setoriais Projetados (SSP1-2.6, 2071-2100):

3.1.6.5.1. Recursos Hídricos:

- Redução de vazão de rios: Declínio de 8-12% na vazão média anual do Rio São Francisco e afluentes;
- Rio Sergipe: Redução de 23 m³/s para 20,5 m³/s (-11%);
- Rio Vaza-Barris: Redução de 11 m³/s para 9,9 m³/s (-10%);
- Recarga de aquíferos: Diminuição de 10-15%;
- Disponibilidade hídrica per capita: Redução para 1.520 m³/hab/ano, abaixo do limiar de estresse hídrico de Falkenmark (1.700 m³/hab/ano) — isto é, em condição de estresse hídrico —, porém acima do limiar de escassez (1.000 m³/hab/ano);
- Gap hídrico: Déficit de 340 milhões de m³/ano até 2100 (gerenciável com medidas de adaptação).

3.1.6.5.2. Agricultura e Segurança Alimentar:

- Culturas de sequeiro (semiárido)2:
  - Milho: Redução de 12-18% na produtividade (de 3.200 kg/ha para 2.650 kg/ha);
  - Feijão: Redução de 15-20% (de 950 kg/ha para 770 kg/ha);
  - Mandioca: Redução de 8-12% (de 18 t/ha para 16 t/ha).
- Pecuária:
  - Capacidade de suporte: Redução de 10-15% (de 0,8 para 0,7 UA/ha);

[2] Nota metodológica: Projeções baseadas em revisão de estudos de modelagem agroclimática para o Nordeste brasileiro (Assad et al., 2019; Pinto et al., 2020; EMBRAPA, 2021), ajustadas para condições edafoclimáticas de Sergipe. As faixas de redução refletem cenário SSP1-2.6 (mitigação ambiciosa). Valores consideram cultivo de sequeiro sem irrigação ou adaptações tecnológicas, representando cenário de vulnerabilidade máxima.

- Gado leiteiro: Redução de 8-10% na produção por estresse térmico;
- População rural afetada: 120.000 agricultores familiares em alta vulnerabilidade.

3.1.6.5.3. Saúde Pública:

- Mortalidade por calor: Aumento de +60-80%:
  - Óbitos anuais por causas cardiovasculares: Elevação de 45 para 72-81 óbitos/ano.
- Dengue: Expansão de áreas de transmissão por +15%:
  - Incidência projetada: Aumento de 70% até 2050.
- Segurança alimentar: 22.000 crianças em risco de desnutrição crônica.

3.1.6.5.4. Biodiversidade:

- Bioma Caatinga:
  - Perda de área: Redução de 8-12% em caatinga funcional;
  - Espécies endêmicas: Risco de extinção local de 15-22% de espécies.
- Ecossistemas costeiros:
  - Manguezais: Risco de perda de 4-8% de área por inundação permanente e erosão;
  - Recifes de coral: Projeção de 46-60% de perda de cobertura até 2100 por branqueamento e acidificação oceânica.

3.1.6.5.5. Zona Costeira e Elevação do Nível do Mar:

Contexto: Sergipe possui 163 km de litoral onde se concentram 37% da população estadual (aproximadamente 850.000 habitantes), incluindo a capital Aracaju e municípios adjacentes. A zona costeira abriga infraestrutura crítica como o Porto de Sergipe, rodovias federais (BR-101), sistemas de abastecimento de água, áreas turísticas e ecossistemas sensíveis (manguezais, restingas, dunas). A Tabela 13 apresenta projeções de elevação do nível do mar.

Tabela 13: Projeções de elevação do nível do mar (IPCC AR6)

CENÁRIO	2050	2100
SSP1-2.6	+0,18-0,25 m	+0,38-0,55 m
SSP2-4.5	+0,20-0,28 m	+0,45-0,77 m
SSP5-8.5	+0,23-0,32 m	+0,63-1,02 m

Nota: Valores de referência relativos ao período 1995-2014. Intervalos representam incerteza de 5-95% do conjunto CMIP6.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

- Erosão costeira acelerada:

- Recuo médio da linha de costa: 20-30 metros até 2100;
- Perda estimada de área territorial: 4-7 km²;
- Municípios mais afetados: Aracaju (praias urbanas), Barra dos Coqueiros, Pirambu, Pacatuba.

- Inundação de áreas baixas:
  - População exposta a inundação permanente (+0,55 m): 10.000-14.000 habitantes;
  - População exposta a inundação por maré de tempestade (evento 1:100 anos): 48.000-65.000 habitantes;
  - Áreas urbanas críticas: Atalaia (Aracaju), orla de Barra dos Coqueiros, povoados costeiros.
- Intrusão salina em aquíferos costeiros:
  - Avanço de cunha salina: 0,8-1,8 km para interior;
  - Comprometimento de poços de abastecimento em municípios costeiros;
  - Salinização de solos agrícolas em planícies costeiras (cultivos de coco, hortaliças).
- Infraestrutura em risco:
  - Porto de Sergipe: Necessidade de adaptação de estruturas portuárias e dragagem adicional;
  - BR-101: Trechos costeiros vulneráveis a inundação e erosão;
  - Sistemas de saneamento: Estações de tratamento e redes coletoras em cotas baixas;
  - Turismo: Perda de faixa de praia, danos a equipamentos turísticos.
- Ecossistemas costeiros:
  - Manguezais: 8-15% de área pode ser perdida por "*coastal squeeze*" (compressão entre mar e barreiras artificiais);
  - Restingas e dunas: Retração e fragmentação de habitats;
  - Tartarugas marinhas: Perda de áreas de desova.
- Limitações e incertezas:
  - Projeções não incluem colapso potencial de geleiras da Antártica Ocidental (cenário de baixa probabilidade, mas alto impacto);
  - Subsidência local (afundamento de terrenos) não foi quantificada, mas pode amplificar efeitos;
  - Interação entre elevação do nível do mar e mudanças em regime de ondas e tempestades adiciona incertezas;
  - Dados batimétricos de alta resolução limitados para modelagem detalhada de inundação.
- Necessidades de estudos adicionais:

- Mapeamento de alta resolução de áreas vulneráveis por município;
- Modelagem integrada de inundação considerando marés, ondas e tempestades;
- Avaliação econômica de danos potenciais a infraestrutura;
- Planejamento de reassentamento de comunidades em áreas de alto risco.

3.1.6.5.6. Economia

Impactos Econômicos sob SSP1-2.6 são apresentados na Tabela 14. É dado que sob o cenário prioritário de mitigação ambiciosa, as perdas econômicas projetadas são moderadas e gerenciáveis (1,6-2,2% do PIB), significativamente inferiores aos 3,2-4,4% do cenário SSP2-4.5. Isso demonstra que cada 0,1°C de aquecimento evitado resulta em benefícios econômicos mensuráveis, com a mitigação global evitando aproximadamente R$ 718-1.001 milhões/ano em perdas até 2100.

Tabela 14: Perdas econômicas agregadas (SSP1-2.6, 2071-2100)

SETOR	PERDA ANUAL	% DO PIB SETORIAL
Agricultura	340-460	9-13%
Pecuária	115-170	8-11%
Recursos hídricos	90-125	-
Energia	70-100	1,5-2,5%
Saúde	32-43	-
Infraestrutura	48-68	-
Turismo	23-35	4-6%
TOTAL	**718-1.001**	**1,6-2,2% do PIB estadual**

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Necessidade de Investimentos em Adaptação: Investimentos em infraestrutura resiliente, sistemas de alerta precoce e fortalecimento da capacidade adaptativa são necessários para reduzir vulnerabilidades remanescentes. Sob SSP1-2.6, medidas de adaptação incremental são suficientes, evitando transformações sistêmicas profundas requeridas em cenários de altas emissões. O planejamento financeiro detalhado será desenvolvido em articulação com o Plano Plurianual (PPA) e orçamento estadual.

Vulnerabilidade climática futura (2071-2100, SSP1-2.6): Os municípios sergipanos de maior vulnerabilidade climática futura são identificados na Tabela 15, integrando projeções de aquecimento, redução de chuvas, exposição populacional e IVS.

Tabela 15: Municípios de Maior Vulnerabilidade Climática Futura

MUNICÍPIO	AQUECIMENTO (°C)	REDUÇÃO PRECIPITAÇÃO (%)	IVS	VULNERABILIDADE
Carira	+1,8	-11%	0,495	Alta
Nossa Senhora Aparecida	+1,7	-12%	0,494	Alta
Gararu	+1,7	-11%	0,489	Alta
Riachão do Dantas	+1,9	-10%	0,484	Alta
Canindé de São Francisco	+1,8	-13%	0,482	Alta
Poço Redondo	+1,7	-12%	0,476	Alta
Porto da Folha	+1,7	-11%	0,473	Alta
Monte Alegre de Sergipe	+1,7	-11%	0,468	Alta

Fonte: Projeções CMIP6 (SSP1-2.6, conjunto de 2 modelos) + IVS municipal (IPEA/PNUD, 2015). Nota: aquecimento municipal em relação a 1985-2014 (mesma base da Tabela 10); os valores superiores à média estadual (+1,5°C) refletem a maior continentalidade do Semiárido. Classes de vulnerabilidade conforme faixas do IVS do §3.1.3.2 (Alta: 0,401-0,500).

3.1.6.5.7. Síntese das projeções climáticas

1. Aquecimento moderado: +1,5°C (intervalo 1,1-2,0°C) até 2100 sob mitigação ambiciosa;
2. Redução moderada de precipitação: -8% (intervalo -17 a +1%) — gerenciável com adaptação;
3. Extremos intensificados, mas contidos: +60-80% em frequência de ondas de calor, +10 dias no período seco;
4. Impactos multisetoriais moderados: Perdas de 1,6-2,2% do PIB anual até 2100 (50% menores que SSP2-4.5);
5. Vulnerabilidade diferencial reduzida: Semiárido e populações com IVS alto sofrerão impactos significativamente menores que em cenários de altas emissões;
6. Adaptação incremental suficiente: Investimentos moderados em infraestrutura resiliente e fortalecimento da capacidade adaptativa até 2050 são suficientes para evitar perdas irreversíveis, sem necessidade de transformações sistêmicas profundas.

3.1.7. INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE

O Inventário de Emissões de GEE de Sergipe é instrumento técnico-científico fundamental para diagnóstico, planejamento e monitoramento de ações de mitigação (Lei 9.364/2024, Art. 21). Possui como objetivo contabilizar sistematicamente todas as fontes

antrópicas de GEE em unidade padronizada (CO_2e), aplicando Potenciais de Aquecimento Global (GWP) específicos conforme metodologia IPCC.

Importância da elaboração de inventários subnacionais:

- Desagregam espacialmente emissões nacionais;
- Identificam peculiaridades regionais de perfis setoriais;
- Permitem políticas de mitigação territorialmente diferenciadas;
- Implementam NDC brasileira em escala estadual.

Base jurídica: A Constituição Federal confere a competência concorrente dos Estados em matéria ambiental (art. 24, incisos VI, VII e VIII), que autoriza a edição de normas suplementares ou plenas, conforme a existência de normas gerais federais.

Compromisso internacional: Sergipe é signatário da Declaração Under2 Coalition (limitar aquecimento a 2 °C).

O presente inventário adota rigorosa base metodológica fundamentada nas Diretrizes do IPCC 2006 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), com incorporação do Refinamento de 2019 (2019 Refinement) que atualiza fatores de emissão, métodos de cálculo e tratamento de incertezas à luz de conhecimento científico mais recente.

Complementarmente, utiliza-se metodologia do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG Brasil), desenvolvido pelo Observatório do Clima em parceria com instituições científicas nacionais, que adapta diretrizes IPCC para realidades brasileiras mediante emprego de fatores de emissão regionalizados, dados de atividade de fontes oficiais nacionais e tratamento específico de peculiaridades de uso da terra e agricultura tropicais. O inventário cobre período de 1970 a 2024[3] (55 anos), utilizando dados consolidados do SEEG (1970-2023) e dados preliminares para 2024 baseados em taxas de crescimento setorial observadas, conformando série temporal robusta que permite análise de tendências evolutivas históricas, identificação de trajetórias estruturais de emissões e projeções futuras até 2030.

[3] Nota sobre escopo temporal: A série histórica completa de 1970-2024 possibilita contextualizar magnitude das emissões atuais, identificar pontos de inflexão associados a políticas públicas ou choques econômicos, e estabelecer linha de base robusta para metas de redução do PEMAMC-SE. Para o presente relatório detalhado (Produto 1.3), o foco metodológico concentra-se no período 2020-2024, enquanto análises evolutivas utilizam a série completa SEEG (1970-2023).

3.1.7.1. Níveis metodológicos (tiers) aplicados:

Adotou-se abordagem hierárquica conforme recomendações IPCC, priorizando métodos de maior precisão (Tier 2 e 3) para fontes dominantes e métodos simplificados (Tier 1) para fontes menores (Tabela 16).

Tabela 16: Níveis metodológicos (tiers), dados de atividade e fatores de emissão por setor/subsetor do inventário de GEE de Sergipe

SETOR/ SUBSETOR	TIER	DADOS DE ATIVIDADE	FATORES DE EMISSÃO
Agropecuária - Fermentação entérica	Tier 2	Rebanho por categoria (PPM/IBGE, 2023)	Regionalizados Nordeste (EMBRAPA, 2020)
Agropecuária - Solos agrícolas	Tier 2	Consumo fertilizantes N (ANDA, 2023)	FE ajustado Brasil (MCTIC, 2020)
Agropecuária - Manejo dejetos	Tier 1	Rebanho (PPM/IBGE)	Default IPCC 2019
Energia - Transporte rodoviário	Tier 2	Frota detalhada (DENATRAN, 2023)	Nacionais BEN (EPE, 2023)
Energia - Geração elétrica	Tier 2	Consumo combustíveis (EPE, 2023)	Nacionais Inventário (MCTIC, 2020)
Energia - Outros	Tier 1	Balanço estadual energia	Default IPCC 2006
MUTF - Desmatamento	Tier 3	Dados espaciais PRODES (INPE, 2023)	Estoque C local (Fearnside, 1997; Tiepolo et al., 2002)
MUTF - Remoções	Tier 2	MapBiomas vegetação secundária	Taxa crescimento regionalizada
Resíduos - Aterros	Tier 2	Disposição resíduos (SNIS, 2023)	Modelo decay IPCC + composição local
Processos Industriais - Cimento	Tier 1	Produção clínquer (SNIC, 2023)	Default IPCC 2019

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

- Dados de atividade - fontes primárias:
  - Agropecuária: Pesquisa Pecuária Municipal - PPM (IBGE, 2023), Produção Agrícola Municipal - PAM (IBGE, 2023), Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA (2023);
  - Energia: Balanço Energético Nacional (EPE, 2023), Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN (2023), Agência Nacional do Petróleo - ANP (2023);
  - MUTF: Programa de Monitoramento do Desmatamento - PRODES/INPE (2023), Projeto MapBiomas (2023), Inventário Florestal Nacional (IBGE/SFB);
  - Resíduos: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2023), Censo Demográfico IBGE;

- IPPU (Processos Industriais): Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC (2023), Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio - MDIC (2023).

- Fatores de emissão principais utilizados:
  - Fermentação entérica bovinos: 57 kg CH_4/cabeça/ano (gado de corte), 68 kg CH_4/cabeça/ano (gado leiteiro) - fatores regionalizados para Nordeste brasileiro (EMBRAPA, 2020);
  - Solos agrícolas (emissões diretas N_2O): Fator de emissão = 0,82% do N aplicado (intervalo IPCC 0,3-3%, valor médio Brasil);
  - Combustíveis fósseis: Fatores nacionais do III Inventário Nacional de Emissões (MCTIC, 2020);
  - Desmatamento: Estoque médio de carbono Caatinga = 35 tC/ha, Mata Atlântica = 120 tC/ha (Fearnside, 1997; Tiepolo et al., 2002).
- Escopo temporal:
  - Ano-base: 2024 (referência para metas de redução);
  - Série histórica completa: 1970-2024 (dados SEEG 1970-2023 + estimativas 2024);
  - Série detalhada: 2020-2024 (5 anos com metodologia aprofundada);
  - Periodicidade futura: Bienal (anos pares), conforme a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 9.364/2024).
- Escopo geográfico:
  - Território do Estado de Sergipe (21.938 km²);
  - Emissões territoriais (produção) + importação líquida de eletricidade.

Foram levantados e contabilizados os GEE, sua contribuição no aquecimento global, assim como as suas principais fontes no Estado de Sergipe (Tabela 17).

Tabela 17: Gases de Efeito Estufa (GEE) contabilizados

GÁS	FÓRMULA QUÍMICA	POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP-100)	PRINCIPAIS FONTES EM SERGIPE
Dióxido de carbono	CO_2	1 (referência)	Combustíveis fósseis, desmatamento, processos industriais
Metano	CH_4	27,2 (não fóssil) / 29,8 (fóssil)	Fermentação entérica (gado), arroz irrigado, resíduos sólidos, efluentes
Óxido nitroso	N_2O	Averbação de Tempo de Contribuição273	Fertilizantes nitrogenados, queima de combustíveis, efluentes

GÁS	FÓRMULA QUÍMICA	POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP-100)	PRINCIPAIS FONTES EM SERGIPE
Hidrofluorocarbonos	HFCs	164-14.600	Sistemas de refrigeração e ar-condicionado
Perfluorocarbonos	PFCs	7.380-12.400	Não significativo em Sergipe
Hexafluoreto de enxofre	SF_6	24.300	Equipamentos elétricos de alta tensão

Nota sobre GWP (Potencial de Aquecimento Global): O GWP-100 expressa o impacto climático de cada gás de efeito estufa em relação ao CO_2 ao longo de 100 anos. Por exemplo, 1 tonelada de CH_4 de origem não fóssil equivale a 27,2 toneladas de CO_2 em termos de aquecimento. Valores conforme 6º Relatório de Avaliação do IPCC - AR6 (IPCC, 2021), adotados na consolidação 2020-2024 do Produto 1.3 e nas Tabelas 18 a 21. O Produto 1.3 utiliza GWP-AR5 (CH_4=28, N_2O=265) para compatibilidade com séries históricas SEEG (1970-2023), e GWP-AR6 (CH_4=29,8, N_2O=273) para dados mais recentes (2020-2024), conforme atualização científica do IPCC 2021.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

- Conversão para CO_2 equivalente (CO_2e):

$$\text{Emissões } CO_2e = \sum_{i=1}^{n} (\text{Emissões do gás}_i \times \text{GWP}_i)$$

- Setores do inventário, seguindo estrutura do SEEG Brasil adaptada para realidades estaduais (Observatório do Clima, 2023):
  i. Agropecuária: Fermentação entérica, manejo de dejetos, solos agrícolas, queima de resíduos agrícolas, cultivo de arroz;
  ii. Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUTF): Desmatamento, degradação florestal, queimadas, remoções por vegetação secundária;
  iii. Energia: Geração elétrica, transporte rodoviário, consumo industrial, residencial e comercial;
  iv. IPPU: Produção de cimento, cal, petroquímica, uso de HFCs;
  v. Resíduos: Disposição em aterros, efluentes domésticos e industriais.
- Incertezas e limitações: Conforme boas práticas do IPCC para inventários subnacionais, as emissões agregadas apresentam intervalo de incerteza de ±25% (nível de confiança 95%), derivado de:
  - Incertezas em fatores de emissão: ±10-40% dependendo do setor (maiores em agropecuária, menores em energia);
  - Incertezas em dados de atividade: ±5-20% (estimativas amostrais, extrapolações);
  - Propagação de erros: Análise por métodos de Monte Carlo conforme IPCC GPG (2000).

3.1.7.2. Emissões por Setor (2020-2024)

As emissões brutas de Sergipe em 2024 totalizaram 9,866 $MtCO_2e$/ano (9.866 mil tCO_2e) e as emissões líquidas, 8,958 $MtCO_2e$/ano, após remoções de 0,908 $MtCO_2e$. O perfil setorial das emissões de GEE em Sergipe para o ano de 2024 é detalhado na Tabela 18, baseada na metodologia SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa), evidenciando predominância da energia (36,4%) e agropecuária (25,5%).

Tabela 18: Emissões de GEE por Setor em Sergipe (2024)

SETOR	EMISSÕES ($MTCO_2E$/ANO)	% DO TOTAL	PRINCIPAIS FONTES
Agropecuária	2,511	25,5%	Fermentação entérica (1,545), solos agrícolas (0,610), manejo de dejetos (0,300), arroz irrigado (0,056)
Energia	3,589	36,4%	Transporte rodoviário (1,293), geração térmica UTE (0,845), indústria (1,231), residencial/comercial (0,192), produção de combustíveis e outros (0,028)
MUT	1,158	11,7%	Alterações de uso da terra (1,054), carbono orgânico do solo (0,047), resíduos florestais (0,057)
Resíduos	0,898	9,1%	Aterros sanitários (0,570), efluentes domésticos (0,268), efluentes industriais (0,060)
IPPU	1,710	17,3%	Produção química fertilizantes (0,953), cimento (0,540), cal/cerâmica (0,147), HFCs (0,070)
TOTAL BRUTO	9,866	100%	—
(−) Remoções MUT	−0,908	—	Vegetação secundária (0,892), áreas protegidas (0,011), regeneração natural, carbono solo
TOTAL LÍQUIDO	8,958	—	Emissões líquidas oficiais

Nota: MUT = Mudança de Uso da Terra e Florestas; IPPU = Processos Industriais e Uso de Produtos. Valores em $MtCO_2e$/ano (milhões de toneladas CO_2 equivalente), GWP-AR6. Fonte: Produto 1.3 (Inventário Estadual de GEE, consolidação 2020-2024), suplementado com dados do SEEG 12 (Observatório do Clima, 2024) nos setores de Energia e IPPU. Nota de validação: valores reproduzidos do Produto 1.3, elaborado por equipe distinta; a decomposição por subfonte deve ser validada pelos responsáveis pelo inventário antes da versão final.

3.1.7.3. Evolução histórica das emissões de GEE em Sergipe (1970-2023)

Análise de 54 anos (1970-2023) de dados SEEG 12 (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima, 2024) revela três padrões fundamentais para o planejamento de mitigação. Eventos críticos na série histórica incluem: (1) 1990-1991: Plano Collor - recessão econômica abrupta com queda

de emissões industriais e energéticas; (2) 1994: Plano Real - estabilização monetária e retomada econômica gradual; (3) 2001: Racionamento elétrico - redução temporária de emissões energéticas; (4) 2008-2009: Crise financeira global - retração setorial múltipla; (5) 2020: Pandemia COVID-19 - queda dramática em transportes e atividades industriais; (6) 2021: Crise hídrica - expansão de geração termelétrica fóssil.

3.1.7.4. Projeções de emissões até 2030 (cenário business-as-usual)

Análise baseada em regressão linear por setor aplicada à série histórica 2015-2024 indica que, na ausência de novas políticas de mitigação, as emissões totais atingirão 10,8 $MtCO_2e$ em 2030 (+9,5% relativo a 2024), com contribuições setoriais projetadas:

- Agropecuária: 2,74 $MtCO_2e$ (+9%) — crescimento proporcional à expansão do rebanho bovino;
- Energia: 4,06 $MtCO_2e$ (+13%) — motorização contínua e demanda energética crescente;
- MUTF: 1,03 $MtCO_2e$ (-11%) — estabilização de desmatamento por políticas em vigor;
- Resíduos: 1,07 $MtCO_2e$ (+19%) — expansão populacional urbana;
- IPPU: 1,90 $MtCO_2e$ (+11%) — expansão de produção de cimento e fertilizantes.

3.1.7.5. Padrões identificados nas emissões

I. Expansão acelerada do setor Energia:

Crescimento de 195% entre 2000-2024, impulsionado por motorização crescente (frota multiplicada por 3,5×) e entrada em operação da termoelétrica Porto de Sergipe I (1.516 MW, 2020). Atualmente lidera as emissões com 3,589 $MtCO_2e$ (36,4%), sendo transporte rodoviário a principal subfonte (1,293 $MtCO_2e$, 36% do setor).

II. Dominação persistente da Agropecuária:

O setor mantém-se entre os dois maiores emissores ao longo de toda série (25-52% do total), refletindo centralidade da bovinocultura e agricultura na economia sergipana. Em 2024, responde por 2,511 $MtCO_2e$ (25,5%), sendo a fermentação entérica bovina a maior fonte individual estadual (1,545 $MtCO_2e$).

III. Expansão expressiva do setor IPPU:

Crescimento de 2.037% entre 2018-2024 (de 0,08 para 1,710 $MtCO_2e$), impulsionado pela expansão da produção química de fertilizantes (0,953 $MtCO_2e$) e

cimento (0,540 $MtCO_2e$). Atualmente representa 17,3% do total estadual, consolidando-se como terceiro maior emissor, refletindo industrialização do estado e melhor quantificação metodológica.

3.1.7.5.1. Implicações estratégicas

Os três setores dominantes — Energia (36,4%), Agropecuária (25,5%), e IPPU (17,3%) — concentram 79,2% das emissões estaduais. O setor MUTF responde por 11,7% e Resíduos por 9,1%. Qualquer meta ambiciosa de mitigação deve prioritariamente abordar estas fontes. O PEMAMC-SE deverá concentrar ações em eletrificação de transportes, expansão de renováveis, eficiência energética, intensificação sustentável de pastagens, sistemas ILPF, tecnologias de baixo GWP na indústria e controle de desmatamento com restauração florestal.

3.1.7.5.2. Implicação crítica

Na ausência de intervenções do PEMAMC-SE, Sergipe distancia-se de compromissos climáticos:

- NDC nacional: -59% a -67% até 2035 (base 2005) — Sergipe caminha para +9,5% até 2030 (cenário BAU);
- Meta PEMAMC-SE: -60% até 2035 (base 2024) — requer reversão da tendência atual.

3.1.7.5.3. Estratégias de mitigação prioritárias

Intensificação de pastagens bem manejadas (150.000 ha, -0,6 $MtCO_2e$/ano), mobilidade elétrica (60.000 VEs até 2035, -0,18 $MtCO_2e$/ano), expansão solar (+1000 MW até 2035, -0,50 $MtCO_2e$/ano), controle total do desmatamento ilegal (até -1,16 $MtCO_2e$/ano evitadas, limitado às emissões brutas do setor MUT), restauração de 115.000 ha (-0,575 $MtCO_2e$/ano acumuladas), eficiência industrial máxima (-0,76 $MtCO_2e$/ano).

3.1.7.5.4. Implicação estratégica crítica

Intervenções focadas exclusivamente em Resíduos e IPPU (10% combinados) são insuficientes para alcançar reduções compatíveis com compromissos climáticos. O portfólio de ações do PEMAMC-SE concentra-se nos três setores dominantes — Agropecuária, Energia e Uso da Terra e Florestas.

3.1.7.6. Análise setorial detalhada

3.1.7.6.1. Energia (3,589 $MtCO_2e$ - 36,4%)

Maior emissor estadual, dominado por combustíveis fósseis no transporte e termoelétricas. As principais subfontes são:

- Transporte rodoviário (1,293 $MtCO_2e$ - 13,1% do total estadual; 36,0% do setor):
  - Combustão de combustíveis fósseis em veículos automotores;
  - Predominância de gasolina e diesel;
  - Maior fonte de emissão no setor energético.
- Geração térmica (0,845 $MtCO_2e$ - 8,6% do total estadual; 23,5% do setor):
  - Termoelétricas: Sergipe I (1.516 MW, gás natural), Termomacaíba (103 MW, biomassa parcial);
  - Fator de emissão gás natural: 0,49 tCO_2/MWh;
  - Geração térmica complementar em períodos de déficit hídrico nacional.
- Indústria (1,231 $MtCO_2e$ - 12,5% do total estadual; 34,3% do setor):
  - Consumo de diesel, óleo combustível e gás natural em indústria de transformação;
  - Principais setores: Alimentos e bebidas (43%), têxtil (22%), cerâmica (18%), outros (17%).
- Residencial e comercial (0,192 $MtCO_2e$ - 1,9% do total estadual; 5,3% do setor):
  - GLP (gás de cozinha): 48.000 toneladas/ano
  - Lenha residual: 15.000 toneladas/ano (zonas rurais)
  - Emissões indiretas de eletricidade importada (fator de emissão 0,09 tCO_2/MWh).

Implicações: Transição para veículos elétricos, biocombustíveis avançados e expansão de energias renováveis (solar, eólica) têm potencial de reduzir emissões em 30-40% até 2030, condicionado a: (1) redução de custos de tecnologias (veículos elétricos atualmente 2-3x mais caros que combustão), (2) desenvolvimento de infraestrutura de recarga (atualmente inexistente em escala), (3) políticas de incentivo fiscal e tarifário, (4) aceitação e adesão de consumidores e empresas. Experiências internacionais indicam que transição energética requer 10-15 anos para atingir escala significativa mesmo com políticas agressivas.

3.1.7.6.2. Agropecuária (25,5%, 2,511 $MtCO_2e$)

Segundo maior emissor estadual, refletindo centralidade da bovinocultura e agricultura na economia sergipana. As principais subfontes de emissões são:

- Fermentação entérica bovina: 1,545 $MtCO_2e$ (61,5% do setor, 15,7% do total estadual) — maior fonte individual de Sergipe. Rebanho: 1,35 milhão de cabeças em 802.000 ha de pastagens com manejo predominantemente extensivo (taxa de lotação média: ~1,7 cab/ha);
- Solos agrícolas (fertilização): 0,610 $MtCO_2e$ (24,3%) — aplicação de 32.000 t N/ano em cana-de-açúcar, milho e mandioca, com emissões de N_2O por processos microbianos;
- Manejo de dejetos: 0,300 $MtCO_2e$ (11,9%) — deposição direta em pastagens sem tratamento (85% dos casos), ausência de biodigestores;
- Cultivo de arroz irrigado: 0,056 $MtCO_2e$ (2,2%) — 9.200 ha no vale do Rio Betume, emissões de CH_4 por decomposição anaeróbica em solos alagados.

Potencial de mitigação: Alta dependência de sistemas extensivos torna o setor simultaneamente o maior desafio e maior oportunidade. Adoção em escala de práticas de intensificação sustentável tem potencial de reduzir emissões em 15-25% (380-630 mil tCO_2e/ano) até 2030 e em cerca de 39% (0,97 $MtCO_2e$/ano) até 2035 (§4.6.2.2.1), com cobenefícios de aumento de produtividade (+20-35% ganho de peso) e diversificação de renda.

Contexto de implementação: Experiências nacionais com programas similares (Plano ABC 2010-2020) indicam taxa de adoção de 30-40% das metas estabelecidas, destacando importância de superação de barreiras (acesso a crédito, assistência técnica, capacitação) para atingimento das metas do PEMAMC-SE.

Estratégias prioritárias para a mitigação:

I. Sistemas ILPF (Integração Lavoura Pecuária Floresta): expansão para 150 mil ha até 2035 (potencial: -0,60 $MtCO_2e$/ano, a 4,0 tCO_2e/ha.ano; §4.6.2.2.1);
    - Cronograma de implantação (área nova por ano): 2027=10k, 2028=20k, 2029=25k, 2030=30k, 2031=25k, 2032=20k, 2033=15k, 2034=5k ha (acumulado de 150 mil ha, conforme §4.6.2.2.1);
- Recuperação de pastagens degradadas: ~378,4 mil ha via cercamento e suplementação (potencial: -0,703 $MtCO_2e$/ano);
- Biodigestores: 120 unidades em propriedades leiteiras e suinícolas (100 novas + 20 existentes; potencial: -0,18 $MtCO_2e$/ano);

- Cronograma faseado de novas unidades: 2027=8, 2028=10, 2029=12, 2030=14, 2031=14, 2032=13, 2033=11, 2034=10, 2035=8 unidades (total: 100 novas + 20 existentes = 120; §4.6.2.2.1);

- Manejo eficiente de fertilizantes: técnicas 4R (fonte, dose, época e local corretos) em ~135,2 mil ha (potencial: -0,162 $MtCO_2e$/ano).

3.1.7.6.3. Processos Industriais (1,710 $MtCO_2e$ – 17,3%)

Terceiro maior emissor estadual, com fontes específicas de difícil redução. Suas principais subfontes são:

- Produção química de fertilizantes (0,953 $MtCO_2e$ - 9,7% do total, 55,7% do setor):
  - Emissões de processo na síntese de fertilizantes nitrogenados;
  - Setor em crescimento devido à demanda agrícola.
- Produção de cimento (0,540 $MtCO_{2e}$ – 5,5% do total, 31,6% do setor):
  - Emissões de processo por calcinação de calcário;
  - Reação química: $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$.
- Produção de cal e cerâmica (0,147 $MtCO_2e$ - 1,5% do total, 8,6% do setor):
  - Processo de calcinação similar ao cimento.
- Uso de HFCs (0,070 $MtCO_2e$ - 0,7% do total, 4,1% do setor):
  - Sistemas de refrigeração e ar-condicionado;
  - Vazamento de gases refrigerantes com alto potencial de aquecimento global.

Implicações: Substituição de clínquer por materiais cimentícios alternativos (cinzas, escórias) pode reduzir 20-30%. Transição para refrigerantes naturais (R-290, R-744) reduz GWP em 99%.

3.1.7.6.4. Mudança de Uso da Terra – MUT (1,158 $MtCO_2e$ – 11,7%)

Quarto maior emissor, mas setor com maior potencial de reversão (transformação em sumidouro). Suas principais subfontes são:

- Alterações de uso da terra – desmatamento e conversão (1,054 $MtCO_2e$ – 10,7% do total estadual; 91,0% do setor):
  - Conversão de vegetação nativa para uso agropecuário (desmatamento e mudança de uso da terra);
  - Biomas afetados: Mata Atlântica (litoral e agreste, 22% da área estadual) e Caatinga (sertão, 49% da área estadual);
  - Principal causa: Expansão agropecuária, com 78% do desmatamento concentrado em 3 territórios: Alto Sertão, Médio Sertão e Sul Sergipano.

- Resíduos florestais, degradação e carbono do solo (0,104 $MtCO_2e$ - 1,1% do total estadual; 9,0% do setor):
  - Extração seletiva de madeira e incêndios de baixa intensidade;
  - Perda parcial do estoque de carbono.

Quanto às remoções, têm-se:

- Crescimento de vegetação secundária (-0,908 $MtCO_2e$ removidos):
  - Regeneração natural em áreas abandonadas: vegetação secundária (0,892 $MtCO_2e$/ano), áreas protegidas (0,011 $MtCO_2e$), reflorestamento, APPs;
  - Offset de 78,4% das emissões brutas de MUTF.

Implicações: Zerar desmatamento ilegal e restaurar 115.000 hectares até 2035 pode transformar setor em sumidouro líquido de -1,15 $MtCO_2e$/ano.

3.1.7.6.5. Resíduos (0,898 $MtCO_2e$ - 9,1%)

Quinto emissor, com crescimento proporcional à urbanização e consumo. Suas principais subfontes são:

- Aterros sanitários e lixões (0,570 $MtCO_2e$ - 5,8% do total, 63,5% do setor):
  - Disposição de resíduos sólidos urbanos;
  - Emissões de CH_4 por decomposição anaeróbica de matéria orgânica;
  - Potencial de captura e geração de energia não explorado.
- Efluentes domésticos (0,268 $MtCO_2e$ - 2,7% do total, 29,8% do setor):
  - População urbana: 1,78 milhão (76% do total);
  - Cobertura de esgotamento: 68,4% (coleta), 42% (tratamento);
  - Emissões de CH_4 e N_2O em fossas sépticas, estações de tratamento e lançamento in natura.
- Efluentes industriais (0,06 $MtCO_2e$ - 0,6% do total; 6,7% do setor):
  - Principais fontes: Indústria de alimentos (frigoríficos, laticínios), têxtil, papel/celulose;
  - Tratamento anaeróbico gera CH_4.

Implicações: Captura de biogás em aterros pode reduzir 60-80% das emissões e gerar energia. Expansão de tratamento de esgoto reduz emissões em 40-50%.

3.1.7.7. Tendências e Evolução Temporal

As emissões de GEE em Sergipe apresentam tendência de crescimento moderado no período 2020-2024, refletindo a expansão das atividades econômicas,

particularmente no setor agropecuário e energético. O setor de MUTF oscila no período, com alta em 2024, o que reforça a prioridade das ações de controle do desmatamento. A série temporal completa de emissões brutas por setor é apresentada na Tabela 19.

Tabela 19: Evolução das Emissões de GEE em Sergipe (2020-2024)

ANO	EMISSÕES BRUTAS ($MTCO_2E$)	VARIAÇÃO ANUAL	AGROPECUÁRIA	ENERGIA	MUTF	RESÍDUOS	IPPU	PER CAPITA (TCO_2E/HAB)
2020	8,66	—	2,14	2,88	0,86	0,86	1,92	3,70
2021	10,34	+19,4%	2,07	4,54	1,00	0,87	1,87	4,42
2022	8,71	−15,7%	2,12	2,89	1,10	0,86	1,75	3,73
2023	8,53	−2,1%	2,41	2,66	0,96	0,87	1,62	3,65
2024	9,866	+15,7%	2,511	3,589	1,158	0,898	1,710	4,22

Nota: MUTF = Mudança de Uso da Terra e Florestas; IPPU = Processos Industriais e Uso de Produtos. Fonte: Produto 1.3 (Inventário Estadual de GEE, consolidação 2020-2024), suplementado com SEEG 12 nos setores de Energia e IPPU; GWP-AR6. Per capita calculado com a população de 2,34 milhões (Censo 2022). Nota de validação: série a ser confirmada pelos responsáveis pelo Produto 1.3.

A distinção entre emissões brutas e emissões líquidas (descontadas remoções) constitui conceito fundamental para compreensão de contribuição efetiva de Sergipe ao forçamento radiativo global e para dimensionamento realista de potencial de mitigação.

Balanço de emissões e remoções (2020-2024): Enquanto emissões brutas representam total de gases liberados para atmosfera por atividades antrópicas, emissões líquidas incorporam remoções através de crescimento de vegetação secundária, reflorestamento e regeneração natural, processos que sequestram CO_2 atmosférico e armazenam carbono em biomassa. Remoções anuais em 2024: 908 mil tCO_2e, correspondendo a offset de 9,2% das emissões brutas totais. Principais fontes de remoções: vegetação secundária em regeneração (98,3%, 0,892 $MtCO_2e$), áreas protegidas (0,011 $MtCO_2e$), plantios florestais comerciais eucalipto, considerando o MUTF no período de 2020-2024. Emissões brutas 2024: 9,866 $MtCO_2e$; emissões líquidas 2024: 8,958 $MtCO_2e$.

A análise do balanço líquido revela três implicações estratégicas críticas:

1. Potencial de amplificação de remoções como estratégia de mitigação custo-efetiva — a meta do PEMAMC-SE de restaurar 115.000 hectares de vegetação nativa até 2035 nos biomas Mata Atlântica e Caatinga pode ampliar remoções anuais de 0,908 $MtCO_2e$ (2024) para 1,48 $MtCO_2e$ (2035), magnitude equivalente a 15% das emissões brutas projetadas, representando contribuição substantiva para meta de redução de 60% até 2035;
2. Necessidade de abordagem dual: simultaneamente reduzir emissões brutas (mitigação de fontes) e ampliar remoções (sumidouros), uma vez que a dependência exclusiva de remoções é insustentável a longo prazo devido às

limitações biogeofisicas (disponibilidade de terras, taxas de crescimento florestal, saturação de estoques de carbono);

3. Possibilidade teórica de transformação de Sergipe em estado carbono-neutro mediante combinação de reduções drásticas de emissões (zerar desmatamento, eletrificar 80% da frota, intensificar pastagens em 300.000 ha) com amplificação massiva de remoções (restaurar 115.000 ha, converter 20% de pastagens degradadas em sistemas silvipastoris), cenário ambicioso, porém tecnicamente viável sob trajetória de descarbonização profunda alinhada à meta nacional de neutralidade climática até 2050.

3.1.7.7.1. Análise de tendências

- Taxa de crescimento: Emissões brutas cresceram +13,9% no período 2020-2024 (de 8,66 para 9,87 $MtCO_2e$), com média de +3,3%/ano;
- Variação expressiva em 2021: Aumento de +19,4% (8,66→10,34 $MtCO_2e$) reflete crise hídrica que intensificou despacho termelétrico nacional, elevando emissões da UTE Porto de Sergipe I. Setor Energia saltou de 2,88 para 4,54 $MtCO_2e$ (+57,5%);
- Normalização 2022: Redução de -15,7% (10,34→8,71 $MtCO_2e$) com retorno das condições hidrológicas e menor acionamento térmico;
- Setores em crescimento (2020-2024):
  - Agropecuária: +17,5% (2,14→2,51 $MtCO_2e$) - expansão do rebanho bovino e do uso de fertilizantes nitrogenados;
  - Energia: +24,6% (2,88→3,59 $MtCO_2e$) - crescimento da frota veicular + expansão termelétrica;
  - MUTF: +34,6% (0,86→1,16 $MtCO_2e$) - aumento das alterações de uso da terra e dos resíduos florestais.
- Setores em redução (2020-2024):
  - IPPU: -10,9% (1,92→1,71 $MtCO_2e$) - redução da produção química de fertilizantes (hibernação da Fafen-SE).
- Setores estáveis (2020-2024):
  - Resíduos: +4,3% (0,86→0,90 $MtCO_2e$) - crescimento populacional moderado e infraestrutura estável.
- Projeção tendencial (Business as Usual - BAU):
  - Mantida a tendência 2020-2024 (excluindo anomalia 2021), emissões alcançariam:
    - 2030: 10,8 $MtCO_2e$ (+9,5% vs. 2024);
    - 2040: 12,5 $MtCO_2e$ (+26,7% vs. 2024);
    - 2050: 14,5 $MtCO_2e$ (+47,0% vs. 2024).

Esta trajetória é incompatível com metas de neutralidade climática e requer intervenção via implementação do PEMAMC-SE.

3.1.7.8. Emissões *Per Capita*

As emissões per capita de Sergipe são calculadas dividindo-se as emissões totais pela população do estado. Sergipe apresenta emissões per capita inferiores à média brasileira, refletindo um perfil econômico baseado principalmente em agropecuária de menor escala e menor industrialização.

3.1.7.9. Comparação Regional

No contexto regional nordestino, de acordo com o SEEG (coleção 12, ano de 2023, GWP-AR5), Sergipe é o menor emissor bruto do Nordeste (cerca de 10 $MtCO_2e$; 9ª posição entre 9 estados), e sua emissão bruta per capita (~4,5 tCO_2e/hab, com a população do Censo 2022) é a 4ª maior da região, inferior à média regional (~8,3 tCO_2e/hab), elevada pelas emissões por desmatamento no Maranhão (173 $MtCO_2e$), na Bahia (135 $MtCO_2e$) e no Piauí (36 $MtCO_2e$). Estados com maior desmatamento, como Maranhão e Bahia, têm perfil de emissões dominado pelo setor MUTF, enquanto em Pernambuco a Energia é o principal setor. No inventário estadual, o perfil de Sergipe tem maior participação da Energia (36,4%), seguida pela Agropecuária (25,5%) e por IPPU (17,3%).

3.1.7.10. Trajetórias Futuras e Cenários de Mitigação

O Estado de Sergipe precisa estabelecer metas de redução de emissões alinhadas com compromissos nacionais e globais, considerando sua capacidade econômica e potencial de mitigação em cada setor. A transição para uma economia de baixo carbono requer investimentos significativos em tecnologias limpas, práticas agropecuárias sustentáveis e proteção dos recursos naturais.

Áreas Prioritárias para Mitigação:

1. Agropecuária: Intensificação de áreas de pastagens sustentáveis, sistemas integrados (ILPF), manejo adequado de dejetos;
2. Energia: Transição para fontes renováveis, eficiência energética, mobilidade sustentável;
3. MUTF: Combate ao desmatamento ilegal, restauração de áreas degradadas;
4. Resíduos: Reciclagem, compostagem, captura de biogás em aterros;
5. Processos Industriais: Substituição de materiais e processos de alto carbono.

3.1.7.11.Análise Territorial das Emissões de GEE

A compreensão espacialmente detalhada das emissões e remoções de gases de efeito estufa constitui requisito fundamental para formulação de políticas públicas climáticas territorializadas e identificação de oportunidades diferenciadas de mitigação.

O Estado de Sergipe apresenta heterogeneidade territorial pronunciada nas características geográficas, estruturas produtivas e padrões de uso da terra que resultam em perfis de emissões distintos entre suas oito regiões administrativas. Esta análise territorial baseia-se nos dados municipais do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG 12), que disponibiliza séries históricas 2007-2023 com desagregação municipal para todos os setores IPCC (Energia, Agropecuária, IPPU, Mudança de Uso da Terra, Resíduos), permitindo agregação por territórios de planejamento estadual e comparação de perfis emissores.

A análise territorial revela padrões claros de especialização setorial: territórios urbano-industriais (Grande Aracaju, Leste Sergipano) apresentam dominância do setor Energia devido à concentração de atividades de transporte, indústrias e exploração de petróleo/gás, enquanto territórios rurais (Alto Sertão, Médio Sertão, Sul) exibem predomínio de emissões agropecuárias associadas à bovinocultura de leite e corte. Esta diferenciação territorial possui implicações estratégicas para implementação do PEMAMC-SE: permite direcionar ações de mitigação conforme vocações regionais (eletrificação de transporte e eficiência energética em áreas urbanas e sistemas ILPF em áreas rurais), otimizar alocação de recursos limitados priorizando territórios com maior potencial técnico de redução, e desenhar mecanismos de compensação interterritorial reconhecendo contribuições diferenciadas de cada região para meta estadual.

3.1.7.12.Emissões territorializadas de GEE (2007-2023)

A decomposição setorial das emissões acumuladas para cada um dos oito territórios sergipanos identifica categorias emissoras dominantes e quantifica contribuição relativa de cada setor, evidenciando especialização produtiva regional:

Territórios por volume de emissões acumuladas:

- Grande Aracaju: 48,3 $MtCO_2e$ (27,4% do total estadual);
- Leste Sergipano: 31,7 $MtCO_2e$ (18,0%);
- Agreste Central: 22,8 $MtCO_2e$ (12,9%);
- Sul Sergipano: 18,4 $MtCO_2e$ (10,4%);

- Alto Sertão: 16,2 $MtCO_2e$ (9,2%);
- Centro Sul: 14,7 $MtCO_2e$ (8,3%);
- Médio Sertão: 12,5 $MtCO_2e$ (7,1%);
- Baixo São Francisco: 11,8 $MtCO_2e$ (6,7%).

Os dados são expressos em $MtCO_2e$ acumuladas em 17 anos (total estadual de 176,4 $MtCO_2e$ no período 2007-2023), utilizando potenciais de aquecimento global do AR5 (CH_4=28, N_2O=265) para compatibilidade com série histórica SEEG. Esta base territorial subsidiará o Capítulo 4 (Eixos Estratégicos) e o Sistema MRV ao permitir estabelecimento de metas regionalizadas, identificação de municípios prioritários para intervenção e desenho de arranjos institucionais adequados às especificidades de cada território.

3.1.7.12.1. Grande Aracaju

Região metropolitana do Estado de Sergipe, concentrando 38,2% da população estadual (894 mil habitantes) em 11,4% do território. Acumulou 48,3 $MtCO_2e$ (27,4% do total estadual) no período 2007-2023, com perfil urbano-industrial:

- Energia (72,5%, 35,0 $MtCO_2e$): Transporte rodoviário intensivo (587 mil veículos, 56% da frota estadual) + consumo industrial + geração térmica distribuída;
- IPPU - Processos Industriais (9,8%, 4,7 $MtCO_2e$): Fertilizantes (Fafen-SE), cimento (Votorantim), cerâmica;
- Resíduos (8,2%, 4,0 $MtCO_2e$): Aterro sanitário + efluentes domésticos;
- Agropecuária (7,0%, 3,4 $MtCO_2e$): Bovinocultura periurbana.

Municípios principais: Aracaju (65%, 31,4 $MtCO_2e$), Laranjeiras (13%, 6,3 $MtCO_2e$), São Cristóvão (9%, 4,3 $MtCO_2e$).

Estratégias territoriais: Eletrificar frota de transporte público (100% até 2030, -0,18 $MtCO_2e$/ano), eficiência energética em edificações comerciais, captura de biogás em aterro (-75 mil tCO_2e/ano), descarbonização industrial via gás natural e solar fotovoltaica.

3.1.7.12.2. Leste Sergipano

Território dominado pela indústria de Petróleo/Gás (Polo Carmópolis-Japaratuba). Acumulou 31,7 $MtCO_2e$ (18,0% do total estadual, 2007-2023):

- Energia (88,4%, 28,0 $MtCO_2e$): Emissões fugitivas de 412 poços ativos (47,2%, 15,0 $MtCO_2e$) + combustão industrial (32,1%, 10,2 $MtCO_2e$) + transporte (9,1%, 2,8 $MtCO_2e$);

- Agropecuária (7,8%, 2,5 $MtCO_2e$): Bovinocultura leiteira em Capela e Siriri;
- MUTF (2,1%, 0,7 $MtCO_2e$): Desmatamento residual.

Municípios principais: Carmópolis (42%, 13,3 $MtCO_2e$), Japaratuba (28%, 8,9 $MtCO_2e$).

Estratégias territoriais: Programa LDAR (Leak Detection and Repair) para reduzir vazamentos em 40% (-0,30 $MtCO_2e$/ano), aproveitar gás de flares para geração elétrica (18 MW, -0,48 $MtCO_2e$/ano), intensificar pastagens leiteiras em Capela (12.000 ha, -0,22 $MtCO_2e$/ano).

3.1.7.12.3. Agreste Central

Economia mista agrícola-comercial com Itabaiana como polo logístico. Acumulou 22,8 $MtCO_2e$ (12,9% do total estadual, 2007-2023):

- Energia (54,3%, 12,4 $MtCO_2e$): Transporte intenso (47 mil veículos, 1.200 caminhões/dia no mercado atacadista) + cerâmicas (42 olarias, lenha);
- Agropecuária (38,7%, 8,8 $MtCO_2e$): 87 mil cabeças bovinas (4.200 propriedades familiares) + cultivos de milho (12.800 ha), feijão (8.000 ha), hortaliças (3.800 ha);
- Resíduos (4,8%, 1,1 $MtCO_2e$): Aterros municipais;
- IPPU (1,6%, 0,4 $MtCO_2e$): Cerâmica vermelha

Município principal: Itabaiana (58%, 13,2 $MtCO_2e$).

Estratégias territoriais: Modernizar frota de cargas (280 caminhões para Euro VI/GNV, -0,24 $MtCO_2e$/ano), converter 70% das olarias para biomassa certificada (-0,18 $MtCO_2e$/ano), intensificar 18.000 ha de pastagens (-0,35 $MtCO_2e$/ano), ILPF em 3.200 ha.

3.1.7.12.4. Sul Sergipano

Território rural-costeiro com economia agropecuária diversificada. Destaca-se a contribuição da agropecuária (pecuária leiteira e cultivo de arroz irrigado). Acumulou 18,4 $MtCO_2e$ (10,4% do total, 2007-2023):

- Agropecuária (61,4%, 11,3 $MtCO_2e$): 105 mil cabeças bovinas + citros em Boquim (8.200 ha) + cana em Estância (5.600 ha);
- Energia (28,7%, 5,3 $MtCO_2e$): Cerâmica em Itabaianinha (38 olarias) + transporte;
- Resíduos (6,1%, 1,1 $MtCO_2e$): Lixões em fase de encerramento;

- MUTF (3,0%, 0,6 $MtCO_2e$): Desmatamento residual.

Municípios principais: Estância (32%, 5,9 $MtCO_2e$), Boquim (24%, 4,4 $MtCO_2e$), Itabaianinha (18%, 3,3 $MtCO_2e$).

Estratégias territoriais: Recuperar 22.000 ha de pastagens degradadas (lotação 0,9→2,4 UA/ha, -0,52 $MtCO_2e$/ano), converter 70% das olarias para biomassa certificada/GLP (-0,16 $MtCO_2e$/ano), ILPF em 4.500 ha, cogeração com bagaço de cana em Estância (12 MW, -65 mil tCO_2e/ano).

3.1.7.12.5. Alto Sertão

Território semiárido com pecuária extensiva. Acumulou 16,2 $MtCO_2e$ (9,2% do total, 2007-2023) — maior participação relativa de Agropecuária entre todos os territórios:

- Agropecuária (78,4%, 12,7 $MtCO_2e$): 92 mil cabeças bovinas em sistema extensivo (lotação 0,6 UA/ha, Caatinga degradada) + caprino-ovinocultura + milho/feijão sequeiro;
- Energia (15,8%, 2,6 $MtCO_2e$): Transporte rural + consumo residencial diesel/GLP;
- MUTF (3,2%, 0,5 $MtCO_2e$): Desmatamento residual Caatinga→pastagem;
- Resíduos (2,2%, 0,4 $MtCO_2e$): Disposição inadequada em lixões.

Municípios principais: N.Sra. da Glória (polo leiteiro, 38%, 6,2 $MtCO_2e$), Canindé de São Francisco (24%, 3,9 $MtCO_2e$), Gararu (16%, 2,6 $MtCO_2e$).

Estratégias territoriais: Intensificar 28.000 ha de pastagens (lotação 0,6→2,0 UA/ha, -0,68 $MtCO_2e$/ano — maior potencial relativo), ILPF semiárido com palma forrageira e gliricídia (5.800 ha, -0,14 $MtCO_2e$/ano), biodigestores em 32 propriedades leiteiras (-18 mil tCO_2e/ano), recuperação de 8.500 ha de Caatinga (sequestro de 0,09 $MtCO_2e$/ano).

3.1.7.12.6. Médio Sertão

Transição agreste-sertão com pecuária mista. Acumulou 12,5 $MtCO_2e$ (7,1% do total, 2007-2023):

- Agropecuária (72,8%, 9,1 $MtCO_2e$): 68 mil cabeças bovinas (lotação 0,7 UA/ha) + cultivos milho/feijão/mandioca (8.200 ha);
- Energia (21,4%, 2,7 $MtCO_2e$): Transporte + cerâmica artesanal;
- Resíduos (3,4%, 0,4 $MtCO_2e$): Lixões municipais;

- MUTF (2,0%, 0,3 $MtCO_2e$): Desmatamento residual.

Municípios principais: N.Sra. das Dores (28%, 3,5 $MtCO_2e$), Aquidabã (22%, 2,8 $MtCO_2e$).

Estratégias territoriais: Recuperar 16.000 ha de pastagens (-0,42 $MtCO_2e$/ano), ILPF em 2.800 ha, biodigestores em 18 propriedades leiteiras (-12 mil tCO_2e/ano).

3.1.7.12.7. Centro Sul

Economia mista com forte indústria de cal. Acumulou 14,7 $MtCO_2e$ (8,3% do total, 2007-2023):

- IPPU - Processos Industriais (32,1%, 4,7 $MtCO_2e$): Produção de cal em Simão Dias (18 fornos, 420 mil t/ano) — maior participação relativa de IPPU entre territórios;
- Agropecuária (38,8%, 5,7 $MtCO_2e$): Bovinocultura mista (72 mil cabeças) + agricultura familiar;
- Energia (24,5%, 3,6 $MtCO_2e$): Transporte + combustão em fornos de cal;
- Resíduos (3,4%, 0,5 $MtCO_2e$): Aterros municipais.

Municípios principais: Lagarto (maior do interior, 105 mil hab, 42%, 6,2 $MtCO_2e$), Simão Dias (polo industrial, 35%, 5,1 $MtCO_2e$).

Estratégias territoriais: Eficiência energética em 60% dos fornos de cal (recuperação de calor, -0,28 $MtCO_2e$/ano), substituir combustíveis por biomassa certificada/GNL em 50% dos fornos (-0,35 $MtCO_2e$/ano), intensificar 12.000 ha de pastagens (-0,30 $MtCO_2e$/ano).

3.1.7.12.8. Baixo São Francisco

Território ribeirinho-estuarino. Acumulou 11,8 $MtCO_2e$ (6,7% do total, 2007-2023):

- Agropecuária (58,5%, 6,9 $MtCO_2e$): 52 mil cabeças bovinas + rizicultura irrigada (2.400 ha, emissões de CH_4 por alagamento) + coco-da-baía (3.800 ha);
- Energia (28,8%, 3,4 $MtCO_2e$): Transporte fluvial/terrestre + pesca artesanal motorizada;
- Resíduos (8,5%, 1,0 $MtCO_2e$): Lixões ribeirinhos + efluentes sem tratamento;
- MUTF (3,4%, 0,4 $MtCO_2e$): Desmatamento em matas ciliares.

Municípios principais: Propriá (32%, 3,8 $MtCO_2e$), Neópolis (22%, 2,6 $MtCO_2e$), Brejo Grande (15%, 1,8 $MtCO_2e$).

Estratégias territoriais: Manejo intermitente de irrigação em 60% dos arrozais (redução de 40% CH_4, -0,12 $MtCO_2e$/ano), captura de biogás em ETEs (2,8 MW, -32 mil tCO_2e/ano), intensificar 8.500 ha de várzea, restaurar 1.200 ha de matas ciliares e manguezais (sequestro + proteção hídrica).

4. EIXOS ESTRATÉGICOS

4.1. APRESENTAÇÃO

O presente capítulo define a arquitetura estratégica do Plano Estadual de Ações para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe (PEMAMC-SE), conforme preconizado pela Lei Estadual nº 9.364, de 2024.

A concepção destes eixos estratégicos fundamenta-se nos princípios e diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187, de 2009). Alinha-se, também, aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris e da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira. A organização do PEMAMC-SE em eixos temáticos busca clareza conceitual, viabilidade operacional e mensurabilidade dos resultados — elementos essenciais para efetividade das políticas públicas climáticas em escala subnacional.

4.2. ESTRUTURA DOS CINCO EIXOS ESTRATÉGICOS

O PEMAMC-SE estrutura-se em cinco eixos estratégicos integrados, estabelecidos pela Lei nº 9.364, de 2024 (Art. 5º) e alinhados com Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187, de 2009):

1. Eixo 1 – Monitoramento Climático e Fortalecimento da Base Diagnóstica;
2. Eixo 2 – Governança Climática Participativa;
3. Eixo 3 – Mitigação e Adaptação Climática Integradas;
4. Eixo 4 – Financiamento Climático e Instrumentos Econômicos;
5. Eixo 5 – Justiça Climática e Inclusão Socioambiental.

Esses eixos são interdependentes e formam uma abordagem integrada conforme diretrizes da NDC brasileira (Contribuição Nacionalmente Determinada) e do Acordo de

Paris. Este capítulo estabelece visão de longo prazo, missão institucional, princípios norteadores e metas quantitativas que orientarão as políticas climáticas de 2026 a 2050.

Estrutura de Governança Climática: O PEMAMC-SE opera através de arquitetura institucional em 4 níveis hierárquicos estabelecida pela Lei nº 9.364, de 2024. O nível deliberativo é composto pelo CEEMC-SE (Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas), com composição definida no decreto regulamentador da Lei nº 9.364/2024 (Produto 2.4). A coordenação técnica é exercida pelo GTMC (Grupo Técnico) com 18 órgãos estaduais. A execução temática é realizada por 4 Macro-Câmaras Temáticas especializadas. A implementação envolve órgãos executores, 75 municípios, setor privado e sociedade civil. O Sistema MRV (Monitoramento, Relato e Verificação) transversal monitora 48 indicadores bienalmente.

Em tempo, a *Estrutura de Governança Climática* dialoga com princípios estruturantes do Acordo de Paris, especialmente: i. Governança multinível e participativa: a articulação entre instâncias deliberativas, técnicas, temáticas e executoras, envolvendo Estado, municípios, setor privado e sociedade civil, está alinhada ao princípio de cooperação multiescalar previsto no Acordo; ii. Arranjos institucionais permanentes: a existência de comitês, grupos técnicos e macro-câmaras temáticas reforça a ideia de institucionalização da ação climática, algo fortemente incentivado pelo Acordo e iii. Sistema MRV: o Monitoramento, Relato e Verificação transversal, com indicadores periódicos, é um ponto-chave de alinhamento com o Marco de Transparência Reforçado, um dos pilares centrais do Acordo de Paris.

Sistema de Monitoramento (MRV): O PEMAMC-SE estabelece sistema integrado de Monitoramento, Relato e Verificação com 48 indicadores, com periodicidade de atualização própria de cada indicador (38 de coleta contínua, mensal ou trimestral – Tipos 1 a 3; 6 anuais – Tipo 4; e 4 bienais – Tipo 5; §4.4.8.2). Os 9 indicadores-chave prioritários incluem: Mitigação (Emissões totais: baseline 2024 = 8,96 $MtCO_2e$ (líquidas), meta 2035 = 3,58 $MtCO_2e$ [-60%], Energia renovável 42%→55%, Eficiência energética 8,2%→15%), Adaptação (Vulnerabilidade climática 60%→30%, Perdas hídricas 60%→25%, Municípios engajados 0→75).

Gestão de Riscos Climáticos: O PEMAMC-SE identifica 8 riscos principais que podem impactar a implementação das políticas climáticas, classificados por probabilidade e impacto. Os riscos críticos incluem restrição orçamentária e eventos climáticos extremos, que requerem estratégias de mitigação prioritárias. Riscos de alta prioridade incluem resistência setorial, mudança política e capacidade técnica

insuficiente. A matriz de riscos orienta a alocação de recursos gerenciais para priorizar ações preventivas nos riscos mais críticos.

4.3. PRINCÍPIOS NORTEADORES

O PEMAMC-SE rege-se por 14 princípios fundamentais, em conformidade com Lei 9.364/2024 (Art. 4º) e alinhados com Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal 12.187/2009):

I. Precaução e prevenção:

Adotar medidas preventivas diante de riscos graves ao clima. Agir mesmo sem certeza científica absoluta. Não aguardar evidências definitivas para implementar ações.

II. Equidade intergeracional:

Garantir que gerações futuras tenham condições climáticas equivalentes às atuais. As decisões de hoje devem considerar impactos de longo prazo. Proteger o futuro das próximas gerações.

III. Responsabilidades comuns, porém, diferenciadas:

Todos os setores têm responsabilidade na ação climática. Porém, as contribuições devem ser proporcionais. Consideram-se capacidades técnicas, financeiras e responsabilidade histórica nas emissões.

IV. Justiça climática:

Priorizar proteção de populações vulneráveis. Incluem-se famílias de baixa renda, crianças, idosos e trabalhadores rurais. Essas populações sofrem impactos desproporcionais. Contribuíram menos historicamente para o problema. As ações devem reduzir desigualdades socioambientais.

V. Desenvolvimento sustentável:

Integrar crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental. A transição para economia de baixo carbono deve gerar empregos verdes, renda e qualidade de vida. Não pode comprometer a capacidade de suporte dos ecossistemas.

VI. Participação social e democracia climática:

Garantir participação ampla e efetiva da sociedade civil. Incluem-se comunidades tradicionais, setor privado, academia e movimentos sociais. A participação

ocorre em todas as etapas: elaboração, implementação e monitoramento de políticas climáticas. As decisões devem ser transparentes e acessíveis.

VII. Transversalidade:

Integrar a dimensão climática em todas as políticas públicas setoriais. Setores incluídos: agricultura, energia, transporte, saúde, educação e infraestrutura. Esta integração supera abordagens fragmentadas. Promove coerência entre políticas.

VIII. Cooperação e articulação interinstitucional:

Coordenação entre órgãos estaduais, municipais, federais, setor privado e terceiro setor para maximizar sinergias, evitar duplicação de esforços e potencializar recursos disponíveis.

IX. Melhor conhecimento científico disponível:

Fundamentar políticas climáticas em evidências científicas robustas. Utilizar dados atualizados e metodologias reconhecidas internacionalmente (IPCC, SEEG, INPE). Promover pesquisa e monitoramento contínuos.

X. Mitigação e adaptação integradas:

Reconhecer que mitigação (redução de emissões) e adaptação (redução de vulnerabilidades) são complementares. Ambas devem ser implementadas simultaneamente. É necessário buscar sinergias.

XI. Economia circular e eficiência de recursos:

Promover modelos de produção e consumo que minimizem a geração de resíduos. Esses modelos devem maximizar reuso e reciclagem de materiais. Devem reduzir pressão sobre recursos naturais finitos.

XII. Abordagem de múltiplos benefícios (cobenefícios):

Priorizar ações climáticas que gerem benefícios adicionais à redução de emissões ou vulnerabilidades. Benefícios incluem: melhoria da qualidade do ar, conservação da biodiversidade, segurança hídrica e alimentar, geração de empregos e saúde pública.

XIII. Proibição de retrocesso ambiental em matéria climática:

Impedir que os direitos e níveis de proteção já conquistados sejam diminuídos ou suprimidos por novas leis ou atos, assegurando a progressividade na tutela do meio ambiente.

XIV. Poluidor Pagador:

Estabelecer que quem causa poluição ou degradação ambiental deve arcar com os custos da prevenção, controle e reparação dos danos, internalizando os custos ambientais em suas atividades, evitando que a sociedade os absorva.

4.4. EIXO 1 – MONITORAMENTO CLIMÁTICO E FORTALECIMENTO DA BASE DIAGNÓSTICA

O Eixo 1 constitui a fundação informacional do PEMAMC-SE, estabelecendo infraestrutura robusta de dados, indicadores e processos de avaliação que permitam monitorar continuamente o progresso das políticas climáticas, identificar desvios de trajetória, subsidiar ajustes adaptativos baseados em evidências e assegurar transparência e accountability (envolve responsabilidade + prestação de contas) perante sociedade, órgãos de controle e financiadores nacionais e internacionais.

4.4.1. OBJETIVO GERAL DO EIXO 1

Estabelecer e operar sistema integrado de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) de classe internacional, capaz de mensurar com precisão, reportar de forma transparente e submeter a verificação independente os avanços de Sergipe no cumprimento de suas metas climáticas de mitigação, adaptação e governança para os horizontes 2030, 2035 e 2050.

4.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram traçados os seguintes objetivos específicos para o Eixo 1:

- Monitoramento contínuo: Coletar, processar e consolidar dados dos 48 indicadores-chave segundo a periodicidade própria de cada um, com consolidação trimestral dos indicadores de alta frequência;
- Avaliação de progresso: Mensurar anualmente o avanço em relação às metas 2035 e trajetória 2050;
- Transparência pública: Disponibilizar dados atualizados em plataforma digital acessível;

- Suporte à decisão: Fornecer informações técnicas para ajustes de políticas e alocação de recursos;
- Prestação de contas: Relatar resultados ao CEEMC-SE, Assembleia Legislativa, sociedade e órgãos federais;
- Verificação externa: Submeter dados e processos a auditoria independente bienal;
- Aprendizagem adaptativa: Identificar lições aprendidas e aprimorar continuamente o sistema.

4.4.3. ALINHAMENTO COM MARCOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

- Marcos Nacionais:
  - Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE, Lei nº 15.042/2024): Compatibilidade de inventários e indicadores;
  - Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE/MCTI, Decreto nº 9.172/2017): Integração de dados estaduais;
  - NDC brasileira: Contribuição rastreável para metas nacionais (-53% emissões 2030, -59% a -67% emissões 2035, neutralidade 2050, base 2005);
  - PNMC: Conformidade com diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima.
- Marcos Internacionais:
  - Acordo de Paris (Artigo 13): Estrutura de transparência aprimorada (Enhanced Transparency Framework - ETF), que estabelece regras comuns para que os países meçam, reportem e tenham verificado (MRV) o que estão fazendo em relação ao clima;
  - IPCC Guidelines (2006/2019 Refinement): Metodologias para inventários de GEE;
  - GHG Protocol: Padrões para quantificação e reporte corporativo e subnacional (GPC – Global Protocol for Community-Scale GHG Inventories);
  - ISO 14064: Normas de verificação e validação de emissões de GEE.

4.4.4. ESTRUTURA DE INDICADORES: SISTEMA MRV DE 48 INDICADORES

O sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) do Estado de Sergipe foi concebido a partir de uma estrutura hierárquica que contempla três dimensões fundamentais da ação climática: mitigação, adaptação e governança. Esta arquitetura informacional baseia-se em 48 indicadores cuidadosamente selecionados, os quais

permitem mensurar de forma objetiva e verificável o progresso das políticas públicas climáticas estaduais.

A Tabela 20 apresenta a distribuição quantitativa dos indicadores por dimensão, evidenciando a abordagem integrada que caracteriza o PEMAMC-SE. A seleção do número total de indicadores considerou o equilíbrio entre abrangência temática, viabilidade operacional de coleta de dados e capacidade institucional de processamento das informações.

Tabela 20: Distribuição dos indicadores do Sistema MRV por dimensão temática

DIMENSÃO	NÚMERO DE INDICADORES	FOCO
Mitigação	18	Emissões de GEE, intensidade de carbono, implementação de medidas
Adaptação	22	Vulnerabilidade, resiliência, impactos climáticos, capacidade adaptativa
Governança	8	Institucionalidade, capacitação, participação, transparência
TOTAL	48	Cobertura abrangente da agenda climática estadual

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Como justificativa desse quantitativo de indicadores, destaca-se que o número proposto de indicadores se fundamenta na busca de um equilíbrio entre a abrangência analítica, necessária para captar as dimensões essenciais do objeto de monitoramento, e a praticidade operacional, relacionada à viabilidade de coleta, sistematização e processamento das informações. Ademais, priorizaram-se indicadores cujos dados já se encontram disponíveis ou cuja produção seja factível no curto prazo, considerando as limitações temporais e técnicas existentes.

O quantitativo também foi definido em consonância com a capacidade institucional de monitoramento, envolvendo dezesseis órgãos estaduais e os entes municipais, de modo a evitar sobrecarga administrativa. Por fim, buscou-se assegurar a compatibilidade metodológica com sistemas de monitoramento adotados por outros estados brasileiros, os quais, em média, operam com um conjunto de aproximadamente 40 a 60 indicadores.

4.4.5. PERIODICIDADE DE MONITORAMENTO E REPORTE

A operacionalização do sistema MRV requer estabelecimento de rotinas periódicas de coleta, consolidação, análise e comunicação de dados. O Quadro 8 apresenta o cronograma de atividades de monitoramento (medição) e reporte (relato), especificando responsabilidades institucionais e prazos de entrega, com base em práticas

internacionalmente reconhecidas de transparência climática (UNFCCC - *Enhanced Transparency Framework*).

Quadro 8: Cronograma de atividades do Sistema MRV: periodicidade, responsabilidades e prazos de entrega

ATIVIDADE	PERIODICIDADE	RESPONSÁVEL	PRAZO DE ENTREGA
Coleta de dados	Trimestral	Órgãos setoriais do GTMC (16 órgãos)	Até dia 15 do mês seguinte
Consolidação de dados	Trimestral	Secretaria Executiva CEEMC-SE	Até dia 30 do mês seguinte
Relatório de progresso	Trimestral	Secretaria Executiva CEEMC-SE4	Até 45 dias após fim do trimestre
Inventário de emissões	Bienal (anos pares)	SEMAC + Painel Científico	Até junho do ano seguinte
Relatório anual completo	Anual	Secretaria Executiva CEEMC-SE	Até 31 de março do ano seguinte
Verificação externa	Bienal (anos ímpares)	Auditoria independente	Até setembro do ano de verificação
Revisão do sistema MRV	Quinquenal	CEEMC-SE + Painel Científico	2030, 2035, 2040, 2045, 2050

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.4.6. RESPONSABILIDADE POR GRUPOS DE INDICADORES

A gestão descentralizada dos 48 indicadores do sistema MRV demanda articulação institucional envolvendo 16 órgãos estaduais, além de parceiros federais e municipais. O Quadro 9 apresenta a matriz de responsabilidades por grupos de indicadores, designando órgãos coordenadores e colaboradores para cada conjunto temático. Esta estrutura busca clareza de atribuições, evita sobreposições de competências e garante fluxo eficiente de informações entre as instâncias responsáveis.

Quadro 9: Matriz de responsabilidades institucionais por grupos de indicadores do Sistema MRV

GRUPO DE INDICADORES	ÓRGÃO COORDENADOR	ÓRGÃOS COLABORADORES
M1-M6 (Emissões GEE)	SEMAC	SEAGRI, SEDURBS, SEDETEC, Painel Científico
M7-M10 (Intensidades)	SEMAC	SEAGRI, SEDURBS, SEDETEC, IBGE
M11-M12 (Florestas)	SEMAC	ADEMA, INPE, EMDAGRO
M13-M14 (Energia limpa)	SEMAC	SEDURBS, SEDETEC, ANEEL, SETC, ARSET
M15-M16 (Resíduos/esgoto)	SEMAC	ADEMA, SEDURBS, DESO, Municípios, cooperativas

[4] CEEMC-SE (Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas).

GRUPO DE INDICADORES	ÓRGÃO COORDENADOR	ÓRGÃOS COLABORADORES
M17-M18 (Indústria/energia)	SEDETEC	SEMAC, SEDURBS, SNIC, EPE
A1-A4 (Vulnerabilidade)	SEMAC	SEDURBS, IBGE, Painel Científico
A5-A7 (Água)	SEMAC	DESO, CODERSE, Comitês de Bacias
A8-A9 (Agricultura)	SEAGRI	SEMAC, EMDAGRO, CODERSE, ADEMA, IBGE
A10-A12 (Saúde)	SES	DATASUS, SINAN, Vigilância Epidemiológica
A13-A15 (Cidades)	SEDURBS	Municípios, SEMAC
A16-A18 (Ecossistemas)	SEMAC	ADEMA, ICMBio, MapBiomas, ONGs
A19-A22 (Defesa Civil)	Defesa Civil Estadual	SEMAC, SECOM, SEDURBS, SES, CEMADEN, Municípios
G1-G2 (Institucionalização)	SEMAC	Municípios, SEPLAG
G3 (Capacitação)	Secretaria Executiva do CEEMC-SE	SEDUC, SECOM, FAPITEC, universidades
G4 (Recursos)	Unidade Gestão Projetos	SEMAC, SEFAZ
G5-G6 (Transparência)	CEEMC-SE	SEMAC, SECOM, EMGETIS, avaliadores externos
G7-G8 (Participação)	CEEMC-SE	SEMAC, SEDUC, Municípios

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Designação formal: Portarias específicas da Secretaria Executiva do CEEMC-SE designarão pontos focais em cada órgão responsável, com atribuições detalhadas e prazos de entrega.

4.4.7. SISTEMA DE REPORTE (RELATO)

4.4.7.1. Relatórios Trimestrais de Progresso

Os relatórios trimestrais constituem instrumentos essenciais para acompanhamento operacional de curto prazo, permitindo identificação precoce de desvios de trajetória e subsidiando decisões gerenciais ágeis. Estes documentos consolidam a atualização dos 38 indicadores de coleta contínua, mensal ou trimestral (Tipos 1 a 3) com dados do trimestre encerrado; para os 6 indicadores anuais (Tipo 4) e os 4 bienais (Tipo 5), reporta-se o último valor disponível, sinalizado como tal.

A análise comparativa examina tanto a evolução temporal (comparação com trimestre anterior) quanto os padrões sazonais (comparação com mesmo trimestre do ano

anterior), identificando indicadores que apresentem desvio significativo em relação à trajetória esperada. Complementam este diagnóstico quantitativo um resumo executivo das ações efetivamente implementadas no período por setor, a identificação dos principais desafios e riscos encontrados, e recomendações técnicas de ajustes operacionais necessários.

Os relatórios são disponibilizados em formato PDF sintético (10-15 páginas), acompanhados de *dashboard* interativo digital atualizado no Portal clima.se.gov.br e apresentação executiva em slides para discussão nas reuniões ordinárias do CEEMC-SE. O público prioritário inclui os membros do CEEMC-SE, os órgãos setoriais responsáveis pela implementação de ações climáticas e os gestores estaduais e municipais envolvidos na política climática.

4.4.7.2. Relatórios Anuais Completos

Os relatórios anuais representam o principal instrumento de prestação de contas abrangente, avaliação estratégica de médio prazo e comunicação ampla à sociedade sobre os avanços do PEMAMC-SE. Elaborados até 31 de março do ano seguinte ao ano-base, estes documentos consolidam o balanço completo dos 48 indicadores do sistema MRV, apresentando não apenas os dados do ano encerrado, mas também a análise de tendências multianuais desde o início da implementação do Plano. A avaliação do cumprimento de metas intermediárias estabelecidas é complementada, nos anos pares, pelo inventário bienal de emissões de GEE do estado, enquanto nos anos ímpares são apresentadas projeções atualizadas de emissões.

Cada relatório anual inclui síntese detalhada das políticas, programas e ações efetivamente implementadas por setor, acompanhada da prestação de contas dos recursos financeiros mobilizados e executados no período. A avaliação de efetividade das ações prioritárias examina criticamente os resultados alcançados, enquanto a análise de co-benefícios identifica impactos positivos secundários nas dimensões econômica, social e ambiental. O processo de aprendizagem adaptativa materializa-se na sistematização das lições aprendidas ao longo do ano e na formulação de recomendações para o ciclo seguinte, complementadas por seção prospectiva sobre perspectivas e desafios previstos para o ano subsequente.

Estes relatórios destinam-se primariamente ao CEEMC-SE, à Assembleia Legislativa de Sergipe, ao Governo Federal, às organizações da sociedade civil e ao setor privado, constituindo também importante fonte de informação para públicos secundários como mídia, academia, organizações internacionais e cidadãos em geral.

4.4.7.3. Inventários Bienais de Emissões de GEE

Os inventários bienais de emissões de gases de efeito estufa constituem obrigação legal estabelecida pela Lei nº 9.364, de 2024, visando quantificação precisa e verificável das emissões estaduais e contribuição sistemática para o inventário nacional. Elaborados nos anos pares (2024, 2026, 2028, 2030 e subsequentes) com prazo de entrega até junho do ano seguinte ao ano-base, estes documentos técnicos seguem rigorosamente as IPCC Guidelines 2006 com Refinamento 2019, priorizando fatores de emissão nacionais disponíveis na 4ª Comunicação Nacional do Brasil e utilizando fatores default do IPCC apenas quando dados nacionais não estiverem disponíveis.

Cada inventário quantifica as emissões por setor conforme metodologia IPCC, abrangendo Energia (combustão estacionária e móvel), Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), Agropecuária (fermentação entérica, solos agrícolas e manejo de dejetos), Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUTF), e Resíduos (disposição de resíduos sólidos e tratamento de efluentes). A desagregação por gás (CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs e SF_6, conforme Tabela 17) permite identificar as principais fontes emissoras, enquanto o cálculo de incertezas conforme diretrizes IPCC (Tier 1 ou Tier 2) assegura rigor metodológico.

A análise de tendências temporais desde o inventário anterior contextualiza a evolução das emissões estaduais, complementada pela comparação com o inventário nacional para determinar a participação relativa de Sergipe no total brasileiro. A identificação de fontes prioritárias (hotspots) orienta o direcionamento de ações de mitigação, enquanto as projeções de emissões para 2030 e 2050 sob diferentes cenários socioeconômicos e tecnológicos subsidiam o planejamento estratégico de longo prazo.

4.4.7.4. Relatórios de Verificação Externa

A verificação externa independente constitui mecanismo fundamental de garantia de qualidade e credibilidade do sistema MRV estadual, assegurando que os dados reportados atendam aos mais elevados padrões técnicos e científicos. Conduzida bienalmente nos anos ímpares (2027, 2029, 2031 e subsequentes) por entidade certificadora independente credenciada, preferencialmente acreditada pelo INMETRO ou organismo internacional equivalente, esta auditoria técnica examina criticamente os procedimentos de coleta, processamento, análise e reporte de dados climáticos.

O escopo da verificação abrange cinco dimensões principais: validação de metodologias aplicadas nos inventários de GEE (incluindo fatores de emissão, dados de

atividade, cálculos e incertezas), verificação amostral de 15-20 indicadores do sistema MRV selecionados por criticidade, avaliação da conformidade dos processos de coleta e consolidação com protocolos estabelecidos, auditoria da integridade e segurança dos sistemas de informação, e análise da conformidade dos relatórios produzidos com padrões internacionais de comunicação. Esta verificação fundamenta-se nas normas ISO 14064-3 (Verificação e validação de declarações de GEE), GHG Protocol para Governos e diretrizes IPCC para inventários nacionais aplicadas à escala subnacional.

Os produtos da verificação incluem relatório técnico detalhado com achados, não conformidades identificadas e oportunidades de melhoria, declaração pública sintética atestando o nível de conformidade do sistema MRV, e lista priorizada de recomendações de aprimoramento. Os documentos são entregues até setembro do ano de verificação, assegurando tempo hábil para implementação de ajustes antes da elaboração dos relatórios anuais subsequentes.

4.4.8. PROTOCOLOS DE COLETA DE DADOS DOS 48 INDICADORES DO SISTEMA MRV

A operacionalização efetiva do sistema MRV requer padronização metodológica para coleta, validação e consolidação de dados. Os protocolos definem:

4.4.8.1. Estrutura dos Protocolos por Indicador:

Cada um dos 48 indicadores possui protocolo específico contendo:

a) Definição operacional: Descrição técnica precisa do que é mensurado;
b) Fonte de dados primária: Instituição responsável pela geração dos dados brutos;
c) Método de coleta: Técnicas e instrumentos utilizados (sensoriamento remoto, questionários, medições diretas, registros administrativos);
d) Frequência de atualização: Periodicidade da coleta (mensal, trimestral, anual, bienal);
e) Unidade de medida: Padronização métrica (tCO_2e, hectares, %, número absoluto);
f) Fórmula de cálculo: Equações matemáticas quando aplicável;
g) Nível de desagregação: Espacial (municipal, regional, estadual) e temporal (mensal, anual);
h) Critérios de qualidade: Parâmetros de completude, consistência e acurácia mínimos;
i) Procedimentos de validação: Checagens automáticas e revisão técnica;

j) Fluxo de transmissão: Cadeia de responsabilidades desde coleta até consolidação final.

4.4.8.2. Categorização dos 48 Indicadores por Tipo de Coleta:

- Tipo 1 – Sensoriamento Remoto (12 indicadores):
  - Exemplos: Desmatamento, cobertura vegetal, temperatura superficial, áreas de cultivo;
  - Fonte: INPE, MapBiomas, Sentinel-2, Landsat-8/9;
  - Processamento: Software QGIS 3.28+, Google Earth Engine, TerrSet;
  - Periodicidade: Trimestral (detecção de desmatamento) ou anual (mapas de uso do solo).
- Tipo 2 – Registros Administrativos Digitalizados (18 indicadores):
  - Exemplos: Licenças ambientais, consumo energético, matrículas de veículos, produção agropecuária;
  - Fonte: Sistemas corporativos dos órgãos setoriais;
  - Coleta: APIs automatizadas, extração de bancos de dados relacionais;
  - Periodicidade: Mensal ou trimestral.
- Tipo 3 – Medições Diretas com Instrumentação (8 indicadores):
  - Exemplos: Temperatura atmosférica, precipitação, vazão hídrica, qualidade do ar;
  - Fonte: Estações meteorológicas automáticas, sensores IoT;
  - Tecnologia: Dataloggers Campbell Scientific CR1000X, telemetria via LoRaWAN;
  - Periodicidade: Contínua (dados horários agregados mensalmente).
- Tipo 4 – Inquéritos e Levantamentos Amostrais (6 indicadores):
  - Exemplos: Percepção de risco, acesso a serviços de adaptação, capacitação;
  - Fonte: Pesquisas telefônicas (CATI), questionários online, grupos focais;
  - Periodicidade: Anual.
- Tipo 5 – Modelagem e Estimativas (4 indicadores):
  - Exemplos: Emissões de GEE por setor, projeções de vulnerabilidade;
  - Método: Modelos matemáticos (IPCC Tier 1/2), simulações computacionais;
  - Software: IPCC Inventory Software, R 4.3+, Python 3.11+;
  - Periodicidade: Bienal.

4.4.8.3. Plataforma SISGEE-Sergipe: software, módulos e segurança

- Plataforma Central Integrada:
  - Software: SISGEE-Sergipe (Sistema Integrado de Gestão de Emissões e Estatísticas);
  - Arquitetura: Cloud híbrida (servidores EMGETIS on-premise + backup AWS S3);
  - Capacidade: Armazenamento de séries históricas desde 1970 (série estadual SEEG) e séries territoriais desde 2007, processamento de 2 TB de dados geoespaciais.

4.4.8.4. Módulos do SISGEE-Sergipe

O SISGEE-Sergipe será estruturado nos seguintes módulos:

a) Módulo de Coleta (*Data Ingestion Layer*):
   a. ETL automatizado (*Extract-Transform-Load*) via *Apache Airflow;*
   b. Conectores API REST para integração com os sistemas corporativos dos 16 órgãos do GTMC;
   c. Interface web para inserção manual de dados não-digitalizados.

b) Módulo de Validação (*Quality Assurance Layer*):
   a. Checagens automáticas: Valores fora de intervalo esperado, inconsistências temporais, duplicatas;
   b. Alertas via e-mail para pontos focais quando anomalias detectadas;
   c. Dashboard de completude de dados (% de indicadores atualizados).

c) Módulo de Análise (*Analytics Layer*):
   a. Cálculo automatizado de trajetórias, taxas de variação, gaps de metas;
   b. Visualizações interativas: Gráficos de séries temporais, mapas coropléticos, *heatmaps*;
   c. Exportação para relatórios em formatos Word, PDF, HTML.

d) Módulo de Publicação (*Public Interface Layer*):
   a. Portal clima.se.gov.br (*frontend em React*.js 18);
   b. API pública de dados abertos (RESTful JSON);
   c. Download de datasets em CSV, GeoJSON, Shapefile.

O SISGEE-Sergipe contará, ainda, com as seguintes ferramentas:

- Software e Ferramentas Complementares:
  - Inventários de GEE: IPCC Inventory Software v2.91, planilhas customizadas Excel/VBA;
  - Geoprocessamento: QGIS 3.28 LTR, ArcGIS Pro 3.1 (licenças institucionais), Google Earth Engine;
  - Análise estatística: R 4.3.2 (pacotes: tidyverse, sf, raster, ggplot2), Python 3.11 (pandas, geopandas, matplotlib);
  - Business Intelligence: Power BI Desktop (*dashboards* executivos);
  - Documentação: Confluence (base de conhecimento dos protocolos).
- Segurança e Backup:
  - Certificado SSL/TLS para criptografia de dados em trânsito;
  - Backup incremental diário, backup completo semanal (retenção 7 anos);
  - Controle de acesso baseado em perfis (RBAC - Role-Based Access Control);
  - Logs de auditoria de todas as operações de inserção/edição de dados.

4.4.9. PORTAL DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA (CLIMA.SE.GOV.BR)

O Portal de Transparência Climática representa instrumento fundamental para democratização do acesso a informações sobre ações climáticas estaduais, promoção do controle social e facilitação do uso de dados por diferentes públicos. A plataforma integra cinco funcionalidades principais que asseguram ampla disponibilidade de informações climáticas em formatos acessíveis e interoperáveis.

O dashboard interativo permite visualização em tempo real dos 48 indicadores do sistema MRV através de gráficos de séries temporais e sistema semáforo (verde/amarelo/vermelho) que indicam o status de cada meta. Os usuários podem aplicar filtros por dimensão (mitigação/adaptação/financiamento), setor econômico e município, além de acessar mapas temáticos georreferenciados que espacializam os indicadores territoriais. A biblioteca de documentos consolida o acervo completo do PEMAMC-SE, incluindo relatórios trimestrais e anuais, inventários de emissões, legislação vigente e estudos técnicos de referência.

A seção de dados abertos operacionaliza o princípio da transparência ativa, disponibilizando todos os dados em formatos abertos (CSV, JSON, XML) acompanhados de metadados completos sob licença *Creative Commons* CC-BY 4.0. Uma API REST permite acesso programático aos dados, facilitando seu reuso por desenvolvedores, pesquisadores e jornalistas. Os mecanismos de participação social incluem ouvidoria

climática específica, agenda atualizada de eventos participativos e espaço dedicado a consultas públicas em andamento.

A dimensão educativa do portal manifesta-se na disponibilização de conteúdos em linguagem acessível ao público não-especializado, vídeos explicativos sobre conceitos climáticos fundamentais, infográficos sobre as principais ações do PEMAMC-SE e integração com redes sociais para ampliação do alcance comunicacional. Os requisitos técnicos asseguram responsividade para diferentes dispositivos (desktop, tablet, mobile), acessibilidade conforme WCAG 2.1 nível AA, segurança mediante certificado SSL/TLS, desempenho otimizado com tempo de carregamento inferior a 3 segundos e atualização automatizada vinculada ao sistema SISGEE-Sergipe.

- Participação social:
  - Ouvidoria climática;
  - Agenda de eventos participativos;
  - Espaço para consultas públicas.
- Educação:
  - Conteúdos em linguagem acessível;
  - Vídeos explicativos;
  - Infográficos;
  - Integração com redes sociais.
- Requisitos técnicos:
  - Responsividade (desktop, tablet, mobile);
  - Acessibilidade WCAG 2.1 nível AA;
  - Segurança SSL/TLS;
  - Desempenho (<3s carregamento);
  - Atualização automatizada.

4.4.10. INFRAESTRUTURA TECNOLÓGICA DO SISTEMA MRV

- Arquitetura de dados: Sistema estruturado em 4 camadas hierarquizadas:
  - CAMADA DE APRESENTAÇÃO (Interface do Usuário):
    - Portal Web Público (clima.se.gov.br);
    - Dashboard Gestão Interna - API Aberta (JSON/REST).
  - CAMADA DE PROCESSAMENTO (Lógica de Negócio):
    - Cálculos IPCC (inventários GEE);
    - Scripts Python/R (processamento estatístico);

        - Validação automática (regras consistência);
        - Geração de relatórios (LaTeX/Markdown → PDF);
        - Visualizações (Plotly, D3.js).
    - CAMADA DE DADOS (Armazenamento e Gestão):
        - PostgreSQL 15+ (dados relacionais);
        - PostGIS (dados geoespaciais - mapas, SIG);
        - TimescaleDB (séries temporais - clima, emissões);
        - Backup diário automático;
        - Redundância geográfica (servidor secundário).
    - CAMADA DE COLETA (Fontes de Dados Externas):
        - INMET API (clima);
        - IBGE API (dados SE);
        - DENATRAN (frota);
        - SEEG (emissões);
        - 16 órgãos do GTMC (setoriais);
        - PRODES/MapBiomas (desmatamento);
        - Municípios (75 PMMC).
- Stack tecnológico: Priorização de código aberto (open-source) para evitar aprisionamento tecnológico e promover transparência metodológica.

4.4.11. GESTÃO ADAPTATIVA E APRENDIZAGEM CONTÍNUA

O sistema MRV não constitui artefato técnico estático, mas infraestrutura institucional dinâmica que deve evoluir adaptativamente em resposta a avanços científicos, lições da prática, demandas emergentes de stakeholders e mudanças no contexto político-institucional. Sistemas de monitoramento efetivos incorporam rotinas sistemáticas de aprendizagem organizacional, permitindo identificação proativa de oportunidades de melhoria metodológica, tecnológica e processual. O PEMAMC-SE adota modelo de gestão adaptativa que prevê quatro mecanismos complementares de aprendizagem contínua do sistema MRV: revisões anuais participativas que incorporam feedback de usuários internos e externos, integração sistemática de avanços científicos oriundos da comunidade acadêmica internacional, análise comparativa (benchmarking) com sistemas MRV de outros estados e países, e revisões quinquenais abrangentes que avaliam a arquitetura geral do sistema. Estes mecanismos asseguram que o sistema de monitoramento climático sergipano mantenha relevância, credibilidade e utilidade ao longo dos 25 anos de implementação do Plano.

Em síntese, o sistema deve evoluir em resposta a:

- Lições aprendidas derivadas de experiência prática;
- Avanços metodológicos e tecnológicos em ciência climática;
- Novas demandas informacionais de stakeholders;
- Mudanças contextuais exógenas (políticas nacionais, acordos internacionais).

4.4.11.1.Mecanismos de Aprendizagem

4.4.11.1.1. Revisão Anual do Sistema MRV

A revisão anual do Sistema MRV ocorrerá por meio do seguinte processo:

1. Avaliação interna (jan.-fev.);
2. Consulta a usuários (fev.): Questionário online sobre qualidade dos dados;
3. Reunião de avaliação (mar): Discussão de resultados e proposição de ajustes;
4. Aprovação (abr): Deliberação sobre mudanças no sistema;
5. Implementação (ao longo do ano): Ajustes aprovados gradualmente implementados.

4.4.11.1.2. Integração de Avanços Científicos

- Acompanhamento de relatórios IPCC (AR7 previsto para 2028-2030);
- Participação em redes: Rede Clima (MCTI), Observatório do Clima, GHG Protocol Brasil;
- Capacitação de equipe técnica em novos métodos;
- Pilotos de metodologias inovadoras (machine learning, sensoriamento remoto).

4.4.11.1.3. Análise Comparativa e Intercâmbio

- Participação em Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas
- Análise anual de indicadores de estados de referência: São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Ceará
- Visitas a sistemas MRV de referência nacional e internacional
- Participação em eventos internacionais (*Compact of States and Regions*)

4.4.11.1.4. Revisão Quinquenal Abrangente

Alinhamento com revisão do PEMAMC-SE: Sistema MRV será objeto de revisão abrangente em 2030, simultaneamente à primeira grande revisão do PEMAMC-SE.

Algumas questões devem permear as revisões necessárias para o PEMAMC-SE, como relacionadas à Avaliação de efetividade:

- Sistema cumpriu objetivos?
- Análise de custos: Recursos proporcionais aos benefícios?
- Adequação de indicadores: 48 indicadores continuam relevantes?
- Alinhamento com NDC: Sistema segue alinhado à NDC brasileira;
- Inovações tecnológicas: Quais novas tecnologias incorporar (IA, big data, IoT, blockchain)?
- Capacitação institucional: Equipe possui capacidades adequadas?

4.4.12. METAS DO EIXO 1 PARA 2030

O Eixo 1 estabelece conjunto de metas quantitativas específicas para 2030 que operacionalizam os objetivos estratégicos de fortalecimento da base diagnóstica e monitoramento climático estadual. Estas metas abrangem desde expansão da infraestrutura física de coleta de dados até fortalecimento institucional das equipes técnicas responsáveis pelo sistema MRV. O Quadro 10 sintetiza os principais componentes do Eixo 1 e suas respectivas metas quantitativas para o horizonte 2030, constituindo compromissos verificáveis que permitirão avaliação objetiva do progresso na consolidação do sistema de monitoramento climático de Sergipe.

Quadro 10: Metas quantitativas do Eixo 1 (Monitoramento Climático) para 2030

COMPONENTE	META QUANTITATIVA 2030
Estações meteorológicas	Ampliação da rede de estações automáticas[5] 9 para 22 unidades operacionais, vinculando sua expansão à criação de mecanismo de financiamento contínuo
Indicadores MRV	48 indicadores atualizados conforme a periodicidade própria de cada um (contínua/mensal/trimestral, anual ou bienal)
Inventários GEE	3 inventários bienais publicados (anos-base 2024, 2026 e 2028)

[5] Considerar as 50 estações climatológicas instaladas em 2024, somadas a mais 10 estações instaladas em 2025, pela Defesa Civil do estado de Sergipe para uma melhor robustez na coleta de dados para monitoramento.

COMPONENTE	META QUANTITATIVA 2030
Verificações externas	2 auditorias independentes realizadas (2027, 2029)
Portal clima.se.gov.br	100% operacional com dados abertos (2027)
Relatórios anuais	5 relatórios completos publicados (2026-2030)
Transparência climática	Alcançar 90 pontos em índice nacional de transparência
Capacitação MRV	150 técnicos estaduais/municipais capacitados em MRV (parte da meta de 1.500 do Eixo 2)

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.4.13. RECURSOS NECESSÁRIOS NO EIXO 1

Para viabilizar a implementação do Eixo 1, serão necessários os seguintes componentes principais:

- Fortalecimento da Secretaria Executiva CEEMC-SE;
- Portal clima.se.gov.br;
- Inventários bienais de GEE;
- Verificações externas;
- Infraestrutura tecnológica;
- Capacitação de equipes.

4.5. EIXO 2 – GOVERNANÇA CLIMÁTICA PARTICIPATIVA

O Eixo 2 estabelece a arquitetura institucional e os mecanismos de coordenação intersetorial necessários para implementar, monitorar e ajustar adaptativamente as políticas climáticas de Sergipe, assegurando integração horizontal entre órgãos estaduais, descentralização vertical para municípios, participação democrática de atores não-governamentais (sociedade civil, setor privado, academia, comunidades tradicionais) e accountability mediante transparência, controle social e prestação de contas a instâncias legislativas e de fiscalização.

4.5.1. OBJETIVO GERAL DO EIXO 2

Consolidar governança climática multinível, participativa e efetiva, estruturada em instâncias deliberativas, consultivas e executivas que articulem Estado, municípios e sociedade para implementação coordenada do PEMAMC-SE, garantindo que 100% dos 75 municípios sergipanos possuam estruturas locais de gestão climática até 2030.

4.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A operacionalização do objetivo geral de governança climática multinível desdobra-se em oito objetivos específicos que estruturam os pilares institucionais, os mecanismos de articulação intersetorial e os processos participativos necessários à implementação coordenada do PEMAMC-SE. Estes objetivos específicos estabelecem as condições habilitadoras para que o Estado de Sergipe consolide arquitetura de governança capaz de articular verticalmente os três níveis federativos (União, Estado e municípios) e horizontalmente os diferentes setores governamentais, promovendo simultaneamente participação efetiva de atores não-governamentais e fortalecimento contínuo das capacidades técnico-institucionais requeridas para gestão climática de qualidade.

- Coordenação estratégica: Operar o CEEMC-SE como instância deliberativa máxima da política climática estadual;
- Articulação técnica: Criação do GTMC como núcleo executivo de coordenação intersetorial permanente;
- Especialização temática: Ativar 4 Macro-Câmaras Temáticas para aprofundamento técnico-científico setorial;
- Descentralização municipal: Apoiar criação de 75 Planos Municipais de Mudanças Climáticas até 2030;
- Capacitação institucional: Formar 1.500 gestores e técnicos públicos estaduais e municipais em políticas climáticas (meta consolidada dos quatro níveis do §4.5.4.4);
- Participação social: Assegurar representação da sociedade civil em todas as instâncias, com composição paritária nos Comitês Municipais e nas Macro-Câmaras Temáticas;
- Assessoria científica: Institucionalizar Painel Científico Consultivo com universidades e institutos de pesquisa;
- Transparência: Operar Portal clima.se.gov.br com dados abertos e prestação de contas pública.

4.5.3. ARQUITETURA INSTITUCIONAL: 4 NÍVEIS HIERÁRQUICOS

A governança climática de Sergipe opera através de estrutura estabelecida pela Lei nº 9.364, de 2024:

4.5.3.1. Nível Deliberativo – CEEMC-SE (Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas)

De acordo com o parágrafo 1° do art. 42 da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, instituída pela Lei n° 9.364, de 5 de janeiro de 2024, a composição e finalidades do Comitê deverão ser estabelecidas por regulamento próprio. Nota: o CEEMC-SE é instância prevista na Lei nº 9.364/2024 que ainda não se encontra regulamentada nem instalada em Sergipe; as referências a ele neste Plano pressupõem sua efetiva implantação, a cargo do Governo do Estado, como ação prioritária de 2026. No âmbito do Produto 2.4 do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE), que contempla a redação da Minuta do Decreto que regulamenta a referida lei, foi estabelecida a seguinte composição para o Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas – CEEMC:

I. Seis representantes do Governo do Estado, sendo:

a. um da Casa Civil;

b. um representante da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC);

c. um da Secretaria de Desenvolvimento Econômico;

d. um representante da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação;

e. um da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SEAGRI);

f. um da Secretaria de Estado da Saúde (SES);

II. Três representantes da sociedade civil, sendo:

a. um indicado pela Assembleia Legislativa – ALESE;

b. um indicado pela Universidade Federal de Sergipe – UFS;

c. um representante de organização socioambiental atuante na área de mudanças climáticas.

O CEEMC-SE deverá se reunir ordinariamente a cada dois meses para deliberar sobre as diretrizes estratégicas da política climática estadual, aprovar os Planos de Ação bienais e eventuais ajustes no PEMAMC-SE, decidir sobre alocação de recursos do Fundo Estadual de Mudanças Climáticas, aprovar as revisões quinquenais previstas para 2030, 2035, 2040 e 2045, resolver conflitos entre setores e instâncias de governança, e apreciar os relatórios anuais de progresso do sistema MRV.

Reuniões extraordinárias podem ser convocadas pelo Presidente ou por solicitação de um terço dos membros. O Regimento Interno do Comitê, que detalhará procedimentos deliberativos e regras de funcionamento, deverá ser aprovado na primeira reunião ordinária com prazo estabelecido para março de 2026.

4.5.3.2. Nível Técnico – GTMC (Grupo Técnico de Mudanças Climáticas)

- Composição: 17 órgãos estaduais com representação técnica permanente, além de 1 representante rotativo das Macro-Câmaras Temáticas;
- Órgãos participantes: 1. SEMAC (coordenação geral) 2. ADEMA (licenciamento e fiscalização ambiental) 3. SEAGRI (agricultura e pecuária) 4. EMDAGRO (assistência técnica rural) 5. SEDURBS (cidades e infraestrutura) 6. SEDETEC (indústria e tecnologia) 7. DESO (saneamento básico) 8. CODERSE (irrigação e barragens) 9. SES (saúde pública) 10. SEPLAG (planejamento e orçamento) 11. SEFAZ (financiamento) 12. SEDUC (educação ambiental) 13. EMGETIS (tecnologia da informação) 14. Defesa Civil (gestão de riscos) 15. Polícia Ambiental (fiscalização) 16. BANESE (financiamento) 17. Casa Civil 18. Representante das 4 Macro-Câmaras Temáticas (rotativo);
- Estrutura interna:
  - Secretaria Executiva: Núcleo permanente de coordenação operacional (8-10 profissionais);
  - Coordenações temáticas: Monitoramento (MRV), Articulação Setorial, Comunicação.

O GTMC reúne-se trimestralmente em sessões ordinárias para elaborar os Planos de Ação Detalhados bienais com metas operacionais específicas, coordenar a execução de ações climáticas entre os órgãos setoriais, consolidar dados do sistema MRV e elaborar relatórios trimestrais e anuais, gerenciar riscos identificados à implementação do PEMAMC-SE, preparar subsídios técnicos que fundamentem as deliberações do CEEMC-SE, articular a captação de recursos nacionais e internacionais, e acompanhar a execução orçamentária de ações climáticas. Reuniões técnicas setoriais adicionais são convocadas conforme demanda específica de cada área temática. A infraestrutura operacional inclui sistema informatizado de gestão de projetos e dashboard de indicadores em tempo real.

4.5.3.3. Nível Consultivo – Macro-Câmaras Temáticas Especializadas

- Estrutura: 4 Macro-Câmaras Temáticas destinadas ao aprofundamento técnico-científico e à integração de temas correlatos.
- Macro-Câmaras Temáticas:

1. Macro-Câmara de Agropecuária, Recursos Naturais e Zonas Costeiras:
   - Temas integrados: agropecuária e uso da terra; recursos hídricos; zonas costeiras;
   - Foco: sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta - ILPF, biodigestores, restauração florestal, controle do desmatamento, segurança hídrica, redução de perdas nos sistemas de abastecimento, recarga de aquíferos, conservação de manguezais, controle da erosão costeira, pesca artesanal e adaptação à elevação do nível do mar;
   - Coordenação: SEAGRI e SEMAC.
2. Macro-Câmara de Energia, Transporte, Resíduos e Economia Circular:
   - Temas integrados: energia e transporte; resíduos e economia circular;
   - Foco: geração solar distribuída, mobilidade elétrica, eficiência energética, reciclagem, aproveitamento energético do biogás, compostagem e aprimoramento da gestão de aterros sanitários;
   - Coordenação: SEDETEC, SEMAC e ADEMA.
3. Macro-Câmara de Adaptação Urbana e Saúde Climática:
   - Temas integrados: adaptação urbana; saúde e clima;
   - Foco: infraestrutura verde, drenagem urbana sustentável, habitação resiliente às mudanças climáticas, sistemas de alerta para eventos de calor extremo, vigilância epidemiológica e fortalecimento da infraestrutura de saúde diante dos riscos climáticos;
   - Coordenação: SEDURBS e SES.
4. Macro-Câmara de Financiamento e Justiça Climática:
   - Temas integrados: financiamento climático; justiça climática;
   - Foco: captação de recursos, acesso a fundos climáticos, desenvolvimento de instrumentos econômicos, proteção das populações vulneráveis e das comunidades tradicionais, promoção da equidade e incorporação de critérios de justiça climática nos mecanismos de financiamento e na priorização das ações;
   - Coordenação: SEPLAG, SEFAZ e SEMAC, com participação da sociedade civil.

- Composição de cada Macro-Câmara Temática:
  - 8-12 membros: representantes de órgãos governamentais, universidades, setor privado, ONGs;
  - Coordenador indicado pelo GTMC – Mandato: 2 anos, renovável.

Cada Macro-Câmara Temática reúne-se bimestralmente para elaborar estudos técnicos específicos que subsidiem decisões estratégicas, propor metas setoriais ajustadas e metodologias de monitoramento apropriadas, avaliar a viabilidade técnica e econômica de ações propostas pelos órgãos executores, recomendar ajustes em políticas setoriais à

luz de evidências científicas e promover intercâmbio de experiências e disseminação de boas práticas. Reuniões extraordinárias são convocadas conforme demandas urgentes ou solicitações do GTMC.

4.5.3.4. Nível Consultivo-Científico – Painel Científico

- Composição: 15-20 pesquisadores de universidades e institutos de pesquisa;
- Instituições participantes: - UFS (Universidade Federal de Sergipe) - IFS (Instituto Federal de Sergipe) - UNIT (Universidade Tiradentes) - FAPITEC (Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica) - INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) - colaborador externo - INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) - colaborador externo - EMBRAPA - colaborador externo;
- Áreas de especialização:
  - Climatologia e modelagem climática;
  - Engenharia ambiental e recursos hídricos;
  - Agronomia e sistemas agroflorestais;
  - Energia renovável;
  - Saúde pública e epidemiologia ambiental;
  - Economia ecológica;
  - Ciências sociais e justiça ambiental.

O Painel Científico reúne-se trimestralmente para revisar metodologias do sistema MRV e propor aprimoramentos técnicos, validar os inventários de emissões de GEE quanto à conformidade metodológica, avaliar projeções climáticas regionalizadas para o território sergipano, desenvolver estudos de vulnerabilidade e construir cenários futuros, assessorar tecnicamente as Macro-Câmaras Temáticas em questões científicas complexas, recomendar incorporação de avanços científicos recentes ao PEMAMC-SE e avaliar a efetividade de políticas implementadas mediante análises ex-post. Além das reuniões regulares, o Painel emite pareceres ad hoc sob demanda do CEEMC-SE ou do GTMC sobre questões técnico-científicas específicas que requeiram análise especializada urgente.

4.5.4. DESCENTRALIZAÇÃO MUNICIPAL: ESTRATÉGIA DE CAPILARIZAÇÃO

A estratégia de descentralização municipal visa alcançar 100% dos 75 municípios de Sergipe com estruturas locais de gestão climática até 2030, operacionalizando-se através de quatro componentes integrados.

4.5.4.1. Planos Municipais de Mudanças Climáticas (PMMC)

A meta estabelecida prevê elaboração de 75 Planos Municipais até 2030, seguindo cronograma escalonado que prioriza municípios de maior relevância estratégica e vulnerabilidade climática. A primeira fase (2026-2027) concentra-se em 15 municípios prioritários, incluindo capitais regionais e territórios de maior vulnerabilidade: Aracaju (capital, 665 mil habitantes, risco de alagamento urbano nas periferias), Nossa Senhora do Socorro (192 mil habitantes, área metropolitana), Lagarto (106 mil habitantes, polo agrícola), Itabaiana (103 mil habitantes, polo comercial), Estância (68 mil habitantes, zona costeira vulnerável), além de 10 municípios de maior vulnerabilidade, priorizados pelo IVS municipal mais elevado (com destaque para os da Tabela 3) e pela exposição climática (Tabela 15). Na seleção, recomenda-se considerar o risco integrado revisado da Etapa 1 (Produto 1.4, perigo de calor e de inundação × exposição × IVS), que aponta os maiores contingentes em risco alto a muito alto em Itabaiana (33,6 mil), Poço Redondo (21,5 mil), Nossa Senhora da Glória (20,9 mil), Propriá (20,8 mil), Canindé de São Francisco (19,0 mil), Porto da Folha (18,5 mil), Carira (13,5 mil) e Aquidabã (11,3 mil). Em 2028, alcançam-se 25 municípios adicionais (total acumulado de 40), e no biênio 2029-2030 completam-se os 35 municípios restantes, atingindo cobertura integral.

Cada Plano Municipal estrutura-se em sete componentes fundamentais: diagnóstico climático municipal contemplando projeções e vulnerabilidades locais, inventário municipal de emissões de GEE (opcional para municípios com população inferior a 50 mil habitantes), metas locais de mitigação e adaptação quantificadas, ações prioritárias setoriais implementáveis (5-10 ações), arranjo institucional de governança local adaptado à realidade municipal, sistema de monitoramento com 5-10 indicadores essenciais, e plano de financiamento com previsão orçamentária realista.

O apoio técnico estadual materializa-se através de metodologia padronizada fornecida pelo CEEMC-SE, equipe itinerante de assistência técnica composta por 5 técnicos regionalizados, convênios com instituições especializadas (ICLEI, WRI, GIZ) para suporte técnico qualificado, e recursos financeiros para contratação de consultorias nos municípios com população inferior a 20 mil habitantes que careçam de capacidade técnica interna.

4.5.4.2. Comitês Municipais de Mudanças Climáticas

A meta de criar 75 Comitês Municipais até 2030 visa institucionalizar a governança climática local através de estruturas participativas adaptadas à realidade de cada território. A composição sugerida, flexível às especificidades municipais, contempla

8-12 membros em representação paritária entre governo municipal e sociedade civil, com presidência preferencialmente exercida pelo Secretário Municipal de Meio Ambiente ou equivalente. A representação governamental inclui Secretarias de Planejamento, Obras, Agricultura e Saúde, enquanto a representação não-governamental assegura participação de associações comunitárias, escolas e setor produtivo local.

Os Comitês exercem cinco atribuições centrais: elaborar e revisar periodicamente o Plano Municipal de Mudanças Climáticas, acompanhar a implementação de ações climáticas locais mediante monitoramento sistemático, articular políticas municipais com o PEMAMC-SE estadual garantindo coerência vertical, mobilizar recursos e parcerias locais para viabilização financeira das ações, e promover educação ambiental e engajamento comunitário ampliando a base social de apoio às políticas climáticas.

4.5.4.3. Integração de Políticas Climáticas nos Planos Diretores

A meta estabelecida visa assegurar que 100% dos municípios legalmente obrigados a possuir Plano Diretor (art. 41 do Estatuto da Cidade – a quantificar no diagnóstico de 2026) incorporem a dimensão climática até 2028, integrando seis elementos climáticos fundamentais nos instrumentos de planejamento urbano. O zoneamento territorial deve incorporar restrições em áreas de risco climático (inundação, deslizamento e erosão), enquanto os parâmetros urbanísticos devem favorecer infraestrutura verde mediante taxas de permeabilidade adequadas e índices de arborização. Zoneamentos agroclimáticos municipais devem ser incentivados como forma de ordenação de usos das terras conforme sua adequada aptidão. As diretrizes para mobilidade de baixo carbono, o planejamento de drenagem urbana sustentável, a proteção de áreas de recarga de aquíferos e os padrões construtivos bioclimáticos em habitação social completam o conjunto de elementos a serem incorporados. Para viabilizar tecnicamente esta integração, a SEDURBS em parceria com o CEEMC-SE elaborará Guia Técnico de Planejamento Urbano Climático até o segundo trimestre de 2026.

4.5.4.4. Consórcios Públicos Intermunicipais

A estratégia de consórcios públicos intermunicipais visa criar consórcios territoriais para ações climáticas conjuntas até 2028, explorando sinergias territoriais e economia de escala. O Consórcio de Resíduos Sólidos do Alto Sertão agrupa 15 municípios para implementação de aterro sanitário regional, coleta seletiva integrada e compostagem de resíduos orgânicos. O Consórcio de Defesa Civil do Agreste articula 20

municípios em torno de Centro de Operações de Emergência (COE) regional, planos de contingência harmonizados e monitoramento hidrometeorológico compartilhado.

O Consórcio de Planejamento Urbano da Grande Aracaju integra 5 municípios metropolitanos para elaboração de planos diretores integrados, implantação de infraestrutura verde em escala regional e desenvolvimento de rede de mobilidade elétrica intermunicipal. O Consórcio de Recursos Hídricos do Baixo São Francisco, abrangendo 12 municípios, promove gestão compartilhada de bacias hidrográficas, programas de eficiência hídrica coordenados e ações de revitalização fluvial. Estes arranjos proporcionam economia de escala, compartilhamento de expertise técnica entre municípios e fortalecimento da capacidade coletiva de captação de recursos junto a fundos nacionais e internacionais.

A capacitação institucional constitui eixo estratégico para assegurar que gestores públicos estaduais e municipais desenvolvam competências técnicas necessárias à implementação efetiva do PEMAMC-SE. A meta estabelecida prevê capacitar cerca de 1.500 gestores e técnicos públicos (pessoas distintas) até 2030, por meio de programa estruturado em quatro níveis de formação complementares: 320 no Programa de Formação em Gestão Climática, 800 em Cursos Técnicos Especializados (incluindo os 150 técnicos em MRV do Eixo 1), 400 multiplicadores municipais e 100-150 participantes em intercâmbios e missões técnicas. Como um mesmo gestor pode cursar mais de um nível, a soma das vagas (1.620-1.670) supera o número de pessoas capacitadas.

4.5.4.5. Programa de Formação em Gestão Climática

O Programa de Formação em Gestão Climática constitui a formação de maior carga horária (200h), destinada a gestores de alto escalão como secretários estaduais e municipais, diretores e coordenadores de programas estratégicos. O conteúdo organiza-se em sete módulos: Ciência do clima e projeções para Sergipe (20h), políticas de mitigação setoriais (40h), Adaptação e gestão de riscos climáticos (40h), Financiamento climático e captação de recursos (30h), Sistema MRV e indicadores (20h), Governança participativa e justiça climática (20h), e Projeto aplicado consistindo na elaboração de plano setorial ou municipal (30h). O formato híbrido combina atividades presenciais e EAD, com quatro turmas anuais de 40 participantes cada, totalizando 320 gestores formados até 2030. A certificação é emitida em parceria com universidade reconhecida (UFS ou IFS).

4.5.4.6. Cursos Técnicos Especializados

Os cursos técnicos especializados (40-80h) aprofundam temas específicos essenciais à operacionalização de ações climáticas: Inventário municipal de emissões de GEE (80h), Sistemas ILPF e agricultura de baixo carbono (60h), Infraestrutura verde e drenagem urbana sustentável (60h), alerta precoce e planos de contingência climática (40h), Elaboração de projetos para fundos climáticos (60h) e Monitoramento de indicadores climáticos (40h). O formato presencial regionalizado opera em seis polos estrategicamente distribuídos (Aracaju, Itabaiana, Lagarto, Propriá, Nossa Senhora da Glória e Estância) para facilitar o acesso de técnicos municipais. A meta prevê capacitar 800 técnicos até 2030 nos diversos cursos oferecidos.

4.5.4.7. Capacitação de Multiplicadores Municipais

A capacitação de multiplicadores municipais (20h) visa formar agentes locais capazes de disseminar conhecimentos climáticos em suas comunidades, incluindo professores da rede pública, lideranças comunitárias e agentes comunitários de saúde. O conteúdo abrange educação climática básica, estratégias de adaptação local e técnicas de mobilização comunitária. As oficinas presenciais itinerantes são acompanhadas de material didático específico, com meta de formar 400 multiplicadores até 2030.

4.5.4.8. Intercâmbios e Missões Técnicas

Os intercâmbios e missões técnicas complementam a formação através da exposição direta a experiências exitosas em outros territórios. Até 2030, estão previstas 10 missões técnicas nacionais e internacionais envolvendo 10-15 gestores cada (total de 100-150 participantes). Os destinos prioritários nacionais incluem São Paulo (sistema MRV), Minas Gerais (restauração florestal) e Ceará (adaptação no semiárido), enquanto os destinos internacionais contemplam Portugal (infraestrutura verde urbana), Colômbia (bioeconomia amazônica) e Costa Rica (pagamento por serviços ambientais).

4.5.5. PARTICIPAÇÃO SOCIAL E CONTROLE DEMOCRÁTICO

O princípio da participação social permeia toda a arquitetura de governança do PEMAMC-SE, assegurando a presença de representantes não-governamentais em todas as instâncias de governança, com composição paritária nos Comitês Municipais e nas Macro-Câmaras Temáticas; no CEEMC-SE, a composição segue o decreto

regulamentador (Produto 2.4). São apresentados na sequência os principais mecanismos que operacionalizam este princípio.

4.5.5.1. Consultas Públicas

As consultas públicas constituem instrumento obrigatório de escuta social sobre temas estratégicos, realizadas no mínimo anualmente. Entre 2026 e 2030, estão previstas consultas sobre priorização de áreas para restauração florestal (2026), revisão de metas setoriais (2027), critérios de alocação do Fundo Estadual de Mudanças Climáticas (2027) e revisão quinquenal do PEMAMC-SE (2030). Cada consulta adota formato híbrido, combinando cinco audiências presenciais regionais com plataforma de consulta digital aberta por 30 dias, assegurando ampla participação de diferentes segmentos sociais e regiões do estado.

4.5.5.2. Ouvidoria de Justiça Climática

A Ouvidoria de Justiça Climática representa canal específico para recebimento de denúncias de violações de direitos ocorridas em contexto de implementação de políticas climáticas, como remoções forçadas para obras de adaptação, restrições indevidas a atividades econômicas ou descumprimento de salvaguardas socioambientais. Acessível através do Portal clima.se.gov.br, telefone 0800 e aplicativo móvel, a ouvidoria é gerida pela Secretaria Executiva do CEEMC-SE, com prazos definidos de resposta em até 30 dias e resolução dos casos em até 90 dias.

4.5.5.3. Conferências Estaduais de Mudanças Climáticas

As Conferências Estaduais de Mudanças Climáticas, realizadas bienalmente (2027, 2029, 2031…), reúnem 300-500 delegados representando governo estadual, municípios, sociedade civil organizada, setor privado e academia. Estes eventos cumprem múltiplos objetivos: avaliar coletivamente o progresso do PEMAMC-SE, debater ajustes necessários nas políticas implementadas, eleger representantes da sociedade civil para composição do CEEMC-SE no ciclo seguinte, e aprovar moções e recomendações que orientem as prioridades estaduais em matéria climática.

4.5.5.4. Orçamento Participativo Climático

O Orçamento Participativo Climático constitui inovação democrática em fase piloto, prevendo destinar 5% dos recursos do Fundo Estadual de Mudanças Climáticas

para financiamento de projetos decididos por votação popular. O piloto previsto para início em 2028 disponibilizará recursos financeiros para projetos comunitários de adaptação, com votação realizada em formato híbrido (online e presencial em assembleias regionais), permitindo que as próprias comunidades priorizem as soluções climáticas mais adequadas às suas realidades locais.

4.5.6. MATRIZ DE RESPONSABILIDADES INSTITUCIONAIS

A implementação do PEMAMC-SE demanda articulação entre múltiplos atores institucionais, envolvendo desde instâncias de coordenação estratégica até órgãos executores setoriais, passando por estruturas de suporte técnico-científico, captação de recursos e controle social. O Quadro 11 apresenta a distribuição detalhada de responsabilidades por tipo de função institucional e área temática de atuação, especificando órgãos responsáveis e principais atribuições de cada ator na arquitetura de implementação do Plano. Esta matriz de responsabilidades busca clareza de atribuições, evitação de sobreposições ou lacunas de competências, e estabelecimento de accountability específica para cada componente do PEMAMC-SE.

Quadro 11: Matriz de responsabilidades institucionais do PEMAMC-SE por função e área temática

FUNÇÃO	RESPONSÁVEL(IS)	ATRIBUIÇÕES
Coordenação Geral	CEEMC-SE	Diretrizes estratégicas, aprovação de planos, mobilização política
Coordenação Operacional	GTMC (Secretaria Executiva)	Planejamento operacional, monitoramento MRV, relatórios, gestão de riscos
Execução - Agropecuária	SEAGRI, EMDAGRO	ILPF, biodigestores, manejo sustentável, assistência técnica
Execução - Energia	SEDETEC, SEDURBS (mobilidade)	Solar distribuída, eficiência energética, mobilidade elétrica
Execução - Florestas	SEMAC, ADEMA	Desmatamento zero, restauração, UCs, fiscalização
Execução - Água	SEMAC, DESO, CODERSE	Redução de perdas, infraestrutura resiliente, revitalização de bacias
Execução - Resíduos	SEMAC, ADEMA, municípios	Coleta seletiva, reciclagem, biogás, compostagem
Execução - Saúde	SES, municípios	Alerta calor, vigilância doenças, climatização UBS
Execução - Cidades	SEDURBS, municípios	Infraestrutura verde, Planos Diretores, drenagem
Execução - Defesa Civil	Defesa Civil, municípios	Contingência, COEs, monitoramento hidrometeorológico
Execução - Governança	CEEMC-SE, GTMC, municípios	Planos municipais, capacitação, Portal clima.se.gov.br

FUNÇÃO	RESPONSÁVEL(IS)	ATRIBUIÇÕES
Suporte Técnico-Científico	Painel Científico, universidades	Estudos, avaliações técnicas, modelagem, revisão de metodologias
Financiamento e Captação	SEPLAG, Unidade de Gestão de Projetos	Elaboração de projetos, captação nacional/internacional, gestão de fundos
Comunicação e Mobilização	Secretaria Executiva CEEMC-SE, SECOM	Campanhas, eventos, Portal, engajamento social
Controle e Fiscalização	ADEMA, Polícia Ambiental, TCE	Licenciamento, fiscalização, auditoria de recursos
Participação Social	CEEMC-SE (segmento da sociedade civil), Conferências Estaduais e fóruns	Consultas públicas, validação de planos, controle social

Nota: Portarias nominais da Secretaria Executiva do CEEMC-SE designarão gestores específicos em cada órgão até dezembro/2026.
Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.5.7. FORTALECIMENTO INSTITUCIONAL: AÇÕES PRIORITÁRIAS 2026

Diagnóstico: Análise de capacidade institucional identifica gargalos críticos que requerem ações prioritárias:

4.5.7.1. Fortalecimento da SEMAC

Problema: concentração de atribuições na SEMAC — coordenação de 9 dos 18 grupos de indicadores do Sistema MRV (50%, Quadro 9) e responsabilidade direta por 3 das 11 frentes de execução do Quadro 11 — sem estrutura adequada.

Soluções:

1. Criar Diretoria de Ação Climática (prazo: Dez/2026):
    a. 3 coordenações: Florestas e Uso da Terra; Recursos Hídricos; Resíduos;
    b. Quadro: +15-20 profissionais especializados;
    c. Orçamento: Vincular 25-30% do orçamento da SEMAC às ações climáticas.
2. Descentralização Operacional (prazo: Dez/2026):
    a. Delegar coordenação de Resíduos para ADEMA;
    b. Delegar Infraestrutura Hídrica para CODERSE;
    c. Instrumento: Portarias de delegação de competências.

4.5.7.2. Programa de Assistência Técnica Municipal (PRIORITÁRIO)

Solução:

- Criar unidade estadual de apoio aos 75 municípios:
  - Equipe itinerante: 5 técnicos regionalizados;
  - Capacitações: 4 ciclos/ano focados em Planos Municipais;
  - Convênios: Parcerias com ICLEI, WRI, GIZ;
  - Prazo: Lançar até dez/2026.

4.5.8. METAS DO EIXO 2 PARA 2030

O Eixo 2 estabelece metas quantitativas que operacionalizam a consolidação da governança climática multinível no Estado de Sergipe. Estas metas abrangem desde o funcionamento regular das instâncias deliberativas e consultivas até a capilarização efetiva da gestão climática nos 75 municípios sergipanos. O Quadro 12 sintetiza os onze componentes prioritários do Eixo 2 e suas respectivas metas para 2030, constituindo compromissos mensuráveis que assegurarão institucionalização robusta da política climática estadual em todos os níveis de governo.

Quadro 12: Componentes prioritários do Eixo 2

COMPONENTE	META QUANTITATIVA 2030
Funcionamento do CEEMC-SE	6 reuniões ordinárias/ano realizadas
Funcionamento do GTMC	4 reuniões/ano + Secretaria Executiva operacional
Macro-Câmaras Temáticas ativas	4 Macro-Câmaras funcionando regularmente
Planos Municipais	75 municípios (100%) com Planos Municipais elaborados
Comitês Municipais	75 Comitês Municipais criados e ativos
Planos Diretores climáticos	100% dos municípios obrigados (art. 41, Estatuto da Cidade) com dimensão climática integrada
Consórcios intermunicipais	4-5 consórcios regionais criados
Gestores capacitados	1.500 gestores estaduais/municipais formados
Consultas públicas	Mínimo 5 consultas realizadas (2026-2030)
Conferências Estaduais	2 conferências realizadas (2027, 2029)
Representação não-governamental	Paridade nos Comitês Municipais e Macro-Câmaras; sociedade civil em todas as instâncias

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.5.9. RECURSOS NECESSÁRIOS NO EIXO 2

A consolidação da governança climática multinível e participativa pressupõe investimentos substanciais na estruturação institucional, no fortalecimento de capacidades técnicas e na operacionalização de mecanismos de participação democrática.

O Eixo 2 demanda recursos financeiros e humanos distribuídos em seis componentes prioritários, contemplando tanto despesas de custeio permanente (funcionamento de instâncias colegiadas, equipes técnicas, sistemas de informação) quanto investimentos em capacitação e assistência técnica para disseminação capilar da gestão climática nos 75 municípios sergipanos. A estimativa preliminar indica necessidade de alocação de 15-20% do orçamento total do PEMAMC-SE para estruturação e manutenção da arquitetura de governança.

Componentes principais:

- Secretaria Executiva CEEMC-SE operacional;
- Capacitação de 1.500 gestores;
- Assistência técnica a 75 municípios;
- Consultas públicas e conferências;
- 4 Macro-Câmaras Temáticas ativas;
- Sistema de gestão de projetos.

4.6. EIXO 3 – MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA INTEGRADAS

O Eixo 3 constitui o núcleo operacional do PEMAMC-SE, integrando estratégias de mitigação (redução de emissões de gases de efeito estufa) e adaptação (redução de vulnerabilidades e fortalecimento de resiliência) em abordagem unificada que reconhece sinergias, evita *trade-offs* negativos e maximiza co-benefícios.

Esta integração reflete reconhecimento científico e político de que mitigação e adaptação não são agendas paralelas, mas dimensões complementares e mutuamente reforçadoras da ação climática.

4.6.1. FUNDAMENTOS DA INTEGRAÇÃO MITIGAÇÃO-ADAPTAÇÃO

Princípio orientador: Sergipe adota abordagem integrada onde ações de mitigação consideram benefícios adaptativos e ações de adaptação exploram

oportunidades de mitigação, evitando más adaptações que aumentem emissões ou que aumentem vulnerabilidades.

Sinergias prioritárias identificadas:

i. Restauração florestal: Sequestra carbono (mitigação) + regula microclima e protege nascentes (adaptação);
ii. Sistemas ILPF: Reduz emissões da pecuária (mitigação) + aumenta resiliência à seca (adaptação);
iii. Infraestrutura verde urbana: Reduz demanda por climatização (mitigação) + atenua ilhas de calor (adaptação);
iv. Eficiência hídrica: Economiza energia de bombeamento (mitigação) + garante segurança hídrica (adaptação);
v. Agricultura de baixo carbono: Reduz emissões de N_2O (mitigação) + melhora fertilidade do solo (adaptação).

Coordenação: GTMC assegura que Macro-Câmaras Temáticas setoriais avaliem sistematicamente oportunidades de integração, e sistema MRV monitora indicadores tanto de mitigação quanto de adaptação.

4.6.2. COMPONENTE A – MITIGAÇÃO DE EMISSÕES

4.6.2.1. Objetivo Geral de Mitigação

Alcançar neutralidade climática até 2050, alinhado à NDC brasileira.

- Ano base: 2024 = 8,96 $MtCO_2e$ de emissões líquidas (9,87 $MtCO_2e$ brutas), conforme inventário estadual (Produto 1.3);
- 2035: Meta oficial: Reduzir 60% das emissões (de 8,96 para 3,58 $MtCO_2e$/ano) em relação ao ano-base 2024;
- 2050: Neutralidade climática (0 emissões líquidas de GEE).

Alinhamento nacional: Meta 2035 alinha-se à faixa de -59% a -67% (base 2005), conforme compromisso brasileiro estabelecido no âmbito do Acordo de Paris, por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada – NDC apresentada pela União à UNFCCC.

Monitoramento: Inventários bienais de GEE + indicadores de mitigação do sistema MRV (48 indicadores).

IMPORTANTE: Estes objetivos representam o cenário de implementação bem-sucedida.

Justificativa e Limitações: As metas estaduais foram estabelecidas considerando alinhamento aos compromissos nacionais (Acordo de Paris e Lei 9.364/2024 - ver §2.2.3 e §3.1.7) e especificidades setoriais de Sergipe. Entretanto, a capacidade real de implementação depende criticamente de:

1. Disponibilidade orçamentária estadual e federal;
2. Acesso a tecnologias verdes a custos viáveis;
3. Adesão do setor privado e produtores rurais; e
4. Manutenção de políticas climáticas nacionais favoráveis.

A ausência de qualquer destes fatores comprometerá significativamente os objetivos.

4.6.2.2. Estratégias de Mitigação por Setor

4.6.2.2.1. Agropecuária (objetivo indicativo: redução de emissões de -39% até 2035)

O setor agropecuário representa a segunda maior fonte de emissões de gases de efeito estufa no Estado de Sergipe, sendo responsável por aproximadamente 2,511 milhões de toneladas de CO_2 equivalente por ano (2,511 $MtCO_2e$), o que corresponde a 25,5% das emissões estaduais totais (baseline 2024 = 9,866 $MtCO_2e$).

A estratégia de mitigação para o setor fundamenta-se em práticas tecnologicamente viáveis e economicamente sustentáveis, priorizando sistemas de produção que integrem lavoura, pecuária e floresta (ILPF), além de tecnologias de tratamento de dejetos animais e manejo eficiente de insumos agrícolas.

Estratégias prioritárias:

I. Intensificação de implantação de pastagens sustentáveis:

Recuperar pastagens degradadas para aumentar capacidade de suporte e reduzir emissões por unidade animal. Sistemas ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta): Expandir para meta de 150.000 ha até 2035 (em 378.400 ha de pastagem degradada no Estado de Sergipe), conforme potencial técnico identificado no inventário estadual de emissões agropecuárias. Redução estimada: 0,60 $MtCO_2e$ (base 4,0 tCO_2e/ha.ano).

Detalhamento operacional:

- Linha de base: A estabelecer em levantamento Q1/2026 via cruzamento CAR (Cadastro Ambiental Rural) - Recuperar pastagens degradadas para

aumentar capacidade de suporte - Reduzir emissões por unidade animal através de manejo integrado**.**

- Cronograma faseado: 2027=10.000 ha, 2028=20.000, 2029=25.000, 2030=30.000, 2031=25.000, 2032=20.000, 2033=15.000, 2034=5.000 ha;
- Instrumentos requeridos (Q1-Q2/2026)[6]:
    - Portaria SEAGRI regulamentando Programa Estadual ILPF;
    - Convênio EMDAGRO-EMBRAPA para assistência técnica especializada;
    - Linha de crédito PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar) ILPF (modelo contratual);
    - Manual técnico adaptado aos sistemas de produção sergipanos.
- Fontes de financiamento: Plano ABC+ (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), BNDES Finem Agro, Fundo Clima Estadual, recursos internacionais.

II. Manejo de dejetos animais:

Expandir uso de biodigestores para meta de 120 unidades até 2035 (partindo do valor de referência de 20 empresas do setor pecuário, incluindo agroindústria, cadastradas em 2024 (SERGIPETEC, 2025)) em propriedades de gado leiteiro e suínos para captura de metano e geração de biogás. Redução estimada: 0,18 $MtCO_2e$ (base 1,8 $ktCO_2e$/unidade.ano, aplicada às 100 novas unidades).

Detalhamento operacional:

- Cronograma faseado (100 novos + 20 existentes = 120 total):
    - 2027=8, 2028=10, 2029=12, 2030=14, 2031=14, 2032=13, 2033=11, 2034=10, 2035=8 unidades novas/ano.
- Dimensionamento por porte:
    - Pequeno (50-100 animais): 60 unidades;
    - Médio (100-300 animais): 45 unidades;
    - Grande (>300 animais): 15 unidades.
- Baseline: Levantamento primário de potencial técnico Q1/2026;
- Instrumentos requeridos (Q1/2026):
    - Estudo de viabilidade técnico-econômica por porte de propriedade;
    - Convênio EMDAGRO-EMBRAPA Suínos e Aves para projeto e acompanhamento;

[6] Q1-1º Trimestre; Q2-2º. Trimestre.

- Linha de crédito especializada para biodigestores.

III. Manejo eficiente de fertilizantes:

Reduzir emissões de N_2O em 30% através de adoção de fertilizantes de liberação controlada, inoculantes biológicos e agricultura de precisão.

Detalhamento operacional:

- Arroz de baixa emissão: Adotar manejo intermitente de irrigação em 60% das áreas de arroz (3.850 ha), reduzindo emissões de CH_4 em 40%.

Potencial de redução setorial: 0,97 $MtCO_2e$/ano até 2035 (-38,6% das emissões do setor): ILPF 0,60 + biodigestores 0,18 + manejo de fertilizantes e arroz ~0,19.

4.6.2.2.2. Energia (objetivo indicativo de redução: -46% até 2035)

A adoção de estratégias de mitigação nesse setor, como a ampliação das fontes renováveis, o aumento da eficiência energética e a modernização da infraestrutura, contribui diretamente para a redução das emissões, o fortalecimento da segurança energética e a promoção de um desenvolvimento de baixo carbono.

Contexto setorial: O setor de Energia é a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa no Estado de Sergipe, sendo responsável por aproximadamente 3,589 milhões de toneladas de CO_2 equivalente por ano (3,589 $MtCO_2e$), o que corresponde a 36,4% das emissões estaduais brutas (baseline 2024 = 9,866 $MtCO_2e$). Este perfil emissivo reflete principalmente: (1) operação da UTE Porto de Sergipe I (termelétrica a gás natural - 845 $ktCO_2e$/ano), (2) transportes rodoviários (1,293 $MtCO_2e$ - 36% do setor), (3) consumo industrial (1,231 $MtCO_2e$ - 34%), e (4) setor residencial (192 $ktCO_2e$ - 5,3%).

Estratégias prioritárias:

I. **Transição do transporte:**

- Acelerar eletrificação da frota de veículos leves (base atual: 320 veículos elétricos em 2025, meta 2035: 60.000 unidades (média de ~6.000 vendas/ano entre 2026 e 2035, em curva de adoção crescente; ~6,6% da frota estadual de 907 mil veículos – DENATRAN, dez/2022) - Meta 2050: 120.000 VEs - Redução estimada: 0,18 $MtCO_2e$/ano (180.000 tCO_2e/ano = 13,9% das emissões do transporte rodoviário);
- Converter parcela da frota de ônibus urbanos para elétricos ou GNV (Gás Natural Veicular);
- Expandir uso de biodiesel e biocombustíveis avançados;

- Implementar sistema BRT (Bus Rapid Transit - Sistema de Ônibus de Trânsito Rápido) em Aracaju e Região Metropolitana.

II. **Geração distribuída solar:**

- Expandir capacidade solar fotovoltaica distribuída
- Beneficiar unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais
- Programa de crédito subsidiado para microgeração (até 75 kW)

Detalhamento Operacional - Programa SE Solar:

- Meta quantitativa: 1000 MW até 2035 (164.000 sistemas fotovoltaicos);
- Segmentação:
  - Residencial: 600 MW - 110.000 sistemas fotovoltaicos (18,7 MW em 2021 – 3.194 sistemas);
  - Comercial: 300 MW - 36.000 sistemas fotovoltaicos (19 MW em 2021 – 1.172 sistemas);
  - Industrial: 100 MW - 18.000 sistemas fotovoltaicos (2,9 MW em 2021 – 70 sistemas). Fonte: SERGIPETEC (2021)
- Cronograma: 2027=120 MW, 2028=200 MW, 2030=250 MW, 2033=230 MW, 2035=200 MW.
- Instrumentos requeridos (Q1/2026):
  - Marco Regulatório Estadual de Energia Solar (anteprojeto de lei);
  - Decreto instituindo Programa SE Solar;
  - Linha de Crédito Popular Solar com condições facilitadas;
  - Convênio com distribuidoras para conexão ágil e *net metering*;
  - Cadastro de integradores homologados.
- Fontes de financiamento: BANESE, Programa Minha Casa Minha Vida Solar (federal), recursos estaduais, BNDES
- Eficiência energética:
  - Retrofit de iluminação pública (meta: 100% LED até 2028);
  - Programa de eficiência industrial (motores, caldeiras);
  - Etiquetagem e padrões mínimos para edificações.
- Descarbonização de termoelétricas: Conversão progressiva da geração térmica para biomassa sustentável.

Potencial de redução: 1,67 $MtCO_2e$/ano até 2035 (-46,5% das emissões do setor): veículos elétricos 0,18 + solar distribuída 0,50 + eficiência energética 0,76 + biocombustíveis e descarbonização da geração térmica 0,23.

4.6.2.2.3. Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUTF) - (objetivo indicativo: eliminar as emissões brutas do setor até 2035)

A implementação de estratégias de mitigação nesse setor contribui para a redução das emissões, o aumento dos estoques de carbono e a proteção da biodiversidade, além de gerar co-benefícios como a regulação do ciclo hidrológico, a redução de riscos climáticos e o fortalecimento dos meios de vida locais, promovendo um desenvolvimento territorial resiliente e de baixo carbono.

Este setor responde por 1,158 $MtCO_2e$/ano de emissões brutas (11,7% das emissões estaduais brutas, baseline 2024). A composição das emissões, e remoções, está listada a seguir:

- Alterações de uso da terra (desmatamento e conversão de vegetação nativa): 1.054 mil tCO_2e (91,0%);
- Carbono orgânico do solo: 47 mil tCO_2e (4,1%);
- Resíduos florestais (degradação e queimadas): 57 mil tCO_2e (4,9%);
- Remoções: -908 mil tCO_2e (vegetação secundária, áreas protegidas, regeneração e carbono do solo);
- Balanço do setor (emissões brutas − remoções): 250 mil tCO_2e/ano.

Ressalta-se que, entre os anos de 2018 e 2022, a taxa de desmatamento apresentou valor médio de 1.850 hectares/ano, sendo 680 hectares/ano para o bioma Mata Atlântica e 1.170 hectares/ano para o bioma Caatinga.

Nota metodológica: O valor de 1,158 $MtCO_2e$ representa as emissões brutas do setor MUTF; as remoções (0,908 $MtCO_2e$) são contabilizadas separadamente, conforme a Tabela 18 e o Produto 1.3. As fontes são alterações de uso da terra (1,054 $MtCO_2e$), carbono orgânico no solo (0,047 $MtCO_2e$) e resíduos florestais (0,057 $MtCO_2e$).

Estratégias prioritárias para reduzir emissões e transformar o setor em sumidouro líquido:

I. Controle do desmatamento:

- Meta: desmatamento ilegal zero até 2035;
- Fiscalização com imagens de satélite em tempo real;
- Sistema de comando e controle ambiental (CAR 100% implementado);
- Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) para conservação.

II. Restauração florestal em escala:

- Meta: Restaurar 115.000 hectares de vegetação nativa até 2035 (69.000 ha mitigação + 46.000 ha adaptação);
- Composição: 4.000 ha manguezais + 70.000 ha matas ciliares + 41.000 ha outras áreas prioritárias;
- Biomas: Mata Atlântica e Caatinga, priorizando APPs, Reserva Legal e corredores ecológicos.

Detalhamento operacional:

- Baseline: MapBiomas Coleção 9.0 (2024) + validação de campo Q1/2026;
- Distribuição por método:
  - Regeneração natural assistida: 69.000 ha (60%);
  - Plantio direto: 34.500 ha (30%);
  - Semeadura direta: 11.500 ha (10%).
- Cronograma faseado: 2027=14.000 ha, 2028=16.000, 2029=15.000, 2030=14.000, 2031=13.000 - 2032=12.000, 2033=11.000, 2034=11.000, 2035=9.000 ha;
- Priorização espacial (produtos Q1/2026):
  - Mapa de Áreas Prioritárias para Restauração: APPs (Áreas de Preservação Permanente) - Reserva Legal - Corredores ecológicos - Bacias críticas.: Sergipe (27.600 ha), Japaratuba (19.550 ha), Vaza-Barris (16.100 ha), outras (51.750 ha);
  - Zoneamento por bioma: Mata Atlântica 80.500 ha (70%), Caatinga 34.500 ha (30%).
  - Capacidade de viveiros: Diagnóstico Q1/2026 para expansão necessária.
- Instrumentos requeridos (Q1-Q2/2026):
  - Plano Estadual de Restauração de Vegetação Nativa;
  - Decreto instituindo Programa SE Restaura (metas, incentivos, PSA);
  - Cadastro de fornecedores de mudas e sementes certificados;
  - Metodologia de monitoramento via sensoriamento remoto.
- Fontes de financiamento: Programa Planaveg/Proveg, GEF, BNDES Fundo Restauração, PSA estadual, ICMS Ecológico. Com efeito, Proveg- Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa e Planaveg é o principal instrumento de implementação da Proveg.

III. Redução de queimadas em terras agrícolas:

- Proibir queima de palha de cana e restos culturais;
- Incentivar aproveitamento de biomassa para energia (bagaço, palha);
- Mecanização de colheita de cana crua;

- Potencial de redução: 1,64 $MtCO_2e$/ano (1,16 de emissões evitadas + 0,48 de remoções adicionais), detalhado a seguir:
    - Desmatamento zero 2030 (consolidado): 1,16 $MtCO_2e$;
    - PSA 20k propriedades: 0,13 $MtCO_2e$;
    - Restauração florestal 115.000 ha: 0,20 $MtCO_2e$ (remoções acumuladas);
    - Expansão UCs 250k ha: 0,15 $MtCO_2e$.

IV. Unidades de Conservação e Corredores Ecológicos:

- Meta: Ampliar área protegida de 5,19% para 11,4% do território até 2035 (136.253 hectares novos = 250.000 ha total);
- Ações:
    - Criação de 8 novas UCs em áreas prioritárias;
    - Implementação de planos de manejo em 100% das UCs existentes;
    - Estabelecimento de corredores de biodiversidade;
    - Conexão de fragmentos florestais para migração de espécies.

Potencial de redução setorial: 1,64 $MtCO_2e$/ano até 2035 = 1,16 $MtCO_2e$ de emissões evitadas (-100% das emissões brutas do setor, com desmatamento zero) + 0,48 $MtCO_2e$ de remoções adicionais (PSA 0,13 + restauração 0,20 + expansão de UCs 0,15).

Meta transformacional: Transformar setor em sumidouro líquido até 2040 (-500 mil tCO_2e/ano).

4.6.2.2.4. Resíduos (objetivo indicativo: -68% até 2035)

A adoção de estratégias de mitigação nesse setor, como a redução da geração de resíduos, a ampliação da coleta seletiva, a valorização de materiais recicláveis, a compostagem e o aproveitamento energético do biogás, contribui significativamente para a diminuição das emissões e para a melhoria da gestão ambiental urbana.

Este Setor responde por 0,898 $MtCO_2e$/ano (9,1% das emissões estaduais baseline 2024). Principais fontes: disposição final de resíduos sólidos (570 $ktCO_2e$ - 63,5%), efluentes domésticos (268 $ktCO_2e$ - 29,8%) e efluentes industriais (60 $ktCO_2e$ - 6,7%). As estratégias prioritárias definidas para esse setor são:

I. Economia circular e reciclagem:

- Meta: Reciclar 85% dos resíduos urbanos até 2035 (baseline atual: <10%) → -0,46 $MtCO_2e$/ano, em conjunto com a captura de biogás (redução de ~80% das emissões de disposição final, de 0,570 $MtCO_2e$);
- Estratégia: Implantar coleta seletiva em 100% dos 75 municípios;
- Fortalecimento de cooperativas de catadores;
- Logística reversa para 90% das embalagens (Lei 12.305/2010);
- Nota: Para estratégias detalhadas de estruturação da coleta seletiva, fortalecimento de cooperativas, logística reversa e programas de economia circular – Criar centrais de triagem e usinas de compostagem.
- Planejamento faseado: 30% (2027), 50% (2029), 65% (2031), 75% (2033), 85% (2035).

II. Captura de biogás em aterros:

- Instalar sistemas de captura e queima de CH_4 em aterros sanitários;
- Aproveitar biogás para geração de energia elétrica (15 GWh/ano).

III. Tratamento de efluentes:

- Meta: Expandir cobertura de tratamento de esgoto 42% para 70% até 2030 (-0,15 $MtCO_2e$/ano até 2035, com captura de metano em ETEs);
- Modernizar estações de tratamento com captura de metano;
- Construir novas ETEs em municípios prioritários.

Potencial de redução: 0,61 $MtCO_2e$/ano até 2035 (-68% das emissões do setor): disposição final -0,46 + efluentes -0,15.

4.6.2.2.5. Processos Industriais – IPPU (objetivo indicativo: -15% até 2030)

A implementação de estratégias de mitigação nesse setor, como a adoção de tecnologias de menor intensidade de carbono, a substituição de matérias-primas, a eficiência de processos e o uso de produtos com menor potencial de aquecimento global, contribui para a redução das emissões industriais e para o aumento da competitividade do setor.

Este setor responde por 1,710 $MtCO_2e$/ano (17,3% das emissões estaduais baseline 2024). Principais fontes (Tabela 18): indústria química/fertilizantes (55,7% - 953 $ktCO_2e$), produção de cimento (31,6% - 540 $ktCO_2e$), cal e cerâmica (8,6% - 147 $ktCO_2e$) e HFCs em refrigeração (4,1% - 70 $ktCO_2e$).

As estratégias prioritárias para a redução de 257 $ktCO_2e$ (15,0% de 1,710 $MtCO_2e$):

I. Materiais cimentícios alternativos:

Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos: cinzas, escórias e pozolanas. Essa é uma estratégia da indústria do cimento para reduzir emissões de CO_2, consumo de energia e impactos ambientais.

- Redução projetada: 44 mil tCO_2e/ano.

II. Refrigerantes de baixo GWP:

- Transição de HFCs (GWP 1.430) para refrigerantes naturais (R-290, R-744, GWP <5);
- Programa de retrofit de equipamentos de refrigeração;
- Incentivos para substituição tecnológica;
- Redução: 30 mil tCO_2e/ano (-43% das emissões de HFCs, de 70 $ktCO_2e$).
- Eficiência energética e de processo na indústria química de fertilizantes e na produção de cal (recuperação de calor, otimização de reformadores e fornos, captura e uso de CO_2 de processo): redução estimada de 183 mil tCO_2e/ano, a detalhar no Plano de Ação Detalhado (2026) com as empresas do setor.

4.6.2.3. Síntese das Metas de Mitigação

A consolidação das estratégias prioritárias de mitigação por setor é apresentada na Tabela 21, integrando análise de potencial de redução, viabilidade técnica e econômica.

Tabela 21: Estratégias Indicativas de Mitigação do PEMAMC-SE[7]

SETOR	EMISSÕES 2024 ($MTCO_2E$)	PARTICIPAÇÃO	ESTRATÉGIAS PRIORITÁRIAS	REDUÇÃO INDICATIVA 2035 ($MTCO_2E$)
Agropecuária	2,511	25,5%	ILPF, biodigestores, recuperação de pastagens, manejo de fertilizantes	1,47 (150k ha ILPF: 0,60 + 228,4 mil ha de pastagens recuperadas: 0,42 + intensificação da pecuária: 0,31 + 100 novos biodigestores: 0,06 + fertilizantes/arroz: 0,08)

[7] Nota metodológica: As estratégias apresentadas são baseadas em estudos técnicos de diagnóstico climático, inventário de emissões e análise de vulnerabilidade, e o detalhamento operacional será realizado em Planos Setoriais conforme Art. 21 da Lei 9.364/2024.

SETOR	EMISSÕES 2024 ($MTCO_2E$)	PARTICIPAÇÃO	ESTRATÉGIAS PRIORITÁRIAS	REDUÇÃO INDICATIVA 2035 ($MTCO_2E$)
Energia	3,589	36,4%	Veículos elétricos, energia solar distribuída, eficiência energética	1,56 (60k VEs: 0,18 + eficiência: 0,47 + biocombustíveis: 0,06 + descarbonização da UTE Porto de Sergipe I: 0,85); a solar distribuída não é contabilizada no inventário territorial
MUTF	1,158	11,7%	Controle de desmatamento, restauração florestal, PSA	1,64 (1,16 emissões evitadas + 0,48 remoções adicionais)
Resíduos	0,898	9,1%	Economia circular, captura de biogás, tratamento de efluentes	0,54 (disposição final 0,46 + efluentes 0,08)
IPPU (Proc. Ind.)	1,710	17,3%	Materiais cimentícios alternativos, refrigerantes de baixo GWP	0,23 (cimento 0,044 + processos químicos/cal 0,183; HFCs não estimados no inventário)
Remoções	0,908	-	Vegetação secundária, áreas protegidas, carbono solo	0,908 $MtCO_2e$
TOTAL	9,866 brutas (8,958 líquidas)	100,0%	Pacote integrado multisetorial	5,44 $MtCO_2e$

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Nota de validação: as emissões setoriais de 2024 e suas decomposições foram extraídas do Produto 1.3 (Inventário Estadual de Emissões de GEE), elaborado por equipe distinta; devem ser validadas pelos responsáveis pelo inventário antes da versão final. A soma dos potenciais indicativos (5,15 $MtCO_2e$) é inferior à redução necessária para a meta legal (5,38 $MtCO_2e$); a lacuna de 0,23 $MtCO_2e$ deverá ser equacionada: emissões de 2024 por subcategoria conforme o Quadro 29 do Produto 1.3 (elaborado por equipe distinta; os valores devem ser validados pelos responsáveis pelo inventário). Cada redução foi limitada às emissões da subcategoria sobre a qual a medida atua, e a recuperação de pastagens foi aplicada apenas à área degradada não destinada ao ILPF, sem dupla contagem. As parcelas do ILPF e da recuperação de pastagens (1,02 $MtCO_2e$) são remoções de carbono no solo, que exigem que o inventário passe a estimá-las (IPCC, 2019). O alcance da meta depende da descarbonização da UTE Porto de Sergipe I (0,85 $MtCO_2e$), cujo despacho é definido pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico; sem ela, o potencial é de 4,59 $MtCO_2e$ (-51%), o que deverá ser reavaliado na revisão de 2027.

Meta Global 2035: Contribuir para a NDC brasileira de -59% a -67% (redução de emissões líquidas de GEE) em relação à base 2005 (-53% em 2030), através de ações

integradas de mitigação setorial alinhadas à capacidade de implementação estadual e aos recursos disponíveis.

Trajetória até neutralidade (alinhada à NDC brasileira):

- 2024 (ano-base): 8,96 $MtCO_2e$ líquidas (inventário estadual – Produto 1.3);
- 2025 – 2035: Meta oficial: Reduzir 60% das emissões (de 8,96 para 3,58 $MtCO_2e$). Alinhado à faixa NDC nacional de -59% a -67% (base 2005). Conforme Lei nº 9.364/2024 e compromisso do Acordo de Paris;
- 2035-2050: Trajetória progressiva para neutralidade climática (0 emissões líquidas) conforme compromisso nacional e estadual.

4.6.2.4. Cobenefícios da Mitigação

Ações de mitigação geram benefícios adicionais significativos além da redução de emissões:

- Economia de combustível: Redução substancial no consumo de combustíveis fósseis através da transição para mobilidade elétrica e energias renováveis;
- Geração de energia renovável: Expansão da capacidade instalada de energia solar e biogás;
- Saúde pública: Redução de doenças respiratórias e mortalidade associada à poluição do ar;
- Produtividade agropecuária: Aumento da produtividade através de sistemas ILPF e práticas sustentáveis de manejo do solo e da água;
- Emprego: Geração de empregos verdes em energias renováveis, restauração florestal e agricultura de baixo carbono;
- Segurança hídrica: Economia de água através de eficiência energética e práticas agrícolas sustentáveis;
- Biodiversidade: Restauração de habitats e proteção de espécies nativas através de corredores ecológicos e áreas protegidas.

4.6.3. COMPONENTE B – ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

4.6.3.1. Objetivo Geral de Adaptação

Reduzir vulnerabilidade climática de 60% para 30% da população até 2030 e construir resiliência sistêmica para enfrentar cenários climáticos futuros, protegendo vidas, meios de subsistência e patrimônio ambiental.

Projeções climáticas base (cenário SSP1-2.6): aquecimento de +1,5°C (faixa de 1,1°C a 2,0°C) em 2071-2100 em relação a 1985-2014 (Tabela 10), redução de chuvas de cerca de -8% (Tabela 11), aumento de ondas de calor e intensificação de eventos extremos.

Premissa fundamental: Projeções SSP1-2.6 pressupõem que ações de mitigação sejam implementadas integralmente e compromissos globais do Acordo de Paris cumpridos. Cenários de inação resultariam em impactos 2-3 vezes mais severos.

4.6.3.2. Estratégias de Adaptação por Setor

4.6.3.2.1. Recursos Hídricos – Adaptação ao Estresse Hídrico Recente

Desafio: As projeções climáticas baseadas em um conjunto de 2 modelos CMIP6 para o cenário SSP2-4.5 indicam alterações profundas e potencialmente irreversíveis no ciclo hidrológico de Sergipe, com redução de 10-15% na disponibilidade hídrica renovável até 2100, déficit hídrico acumulado de 680 milhões de m³/ano e transição crítica de regime de estresse hídrico moderado (1.847 m³/hab/ano em 2024) para escassez hídrica severa (1.320 m³/hab/ano em 2100 no SSP2-4.5; no SSP1-2.6, cenário de referência do Plano, a redução é para 1.520 m³/hab/ano, §3.1.6.5), aproximando-se perigosamente do limiar crítico de 1.000 m³/hab/ano que define escassez hídrica absoluta conforme classificação de *Falkenmark* (1989).

Esta redução na disponibilidade hídrica resulta da combinação de múltiplos fatores climáticos interagentes:

a) Decréscimo de 10-12% na precipitação total anual, particularmente pronunciado nas zonas semiáridas (redução de 621 para 515 mm/ano no Semiárido 2, aproximando-se de condições hiperáridas);

b) Intensificação de evapotranspiração potencial devido a aquecimento de (+1,5- 1,8°C) que aumenta demanda atmosférica por água através de gradiente de pressão de vapor entre superfície e atmosfera;

c) Prolongamento de períodos secos consecutivos (+10 dias no SSP1-2.6 até 2050 e +20-35 dias no SSP2-4.5 no final do século), que reduz recarga de aquíferos e vazões de estiagem; e

d) Alterações no particionamento de chuvas entre escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração devido às mudanças em cobertura vegetal e propriedades de solo. A combinação destes fatores resulta em projeção de declínio de 10-15% na vazão média anual de rios estaduais, redução de 15-20% na recarga natural de aquíferos, e amplificação da variabilidade interanual de disponibilidade hídrica com alternância mais frequente entre eventos de seca severa e inundações repentinas.

Estratégias prioritárias:

I. Eficiência no uso da água:

- Meta: Reduzir perdas nos sistemas de abastecimento de 60% para 25% até 2035;
- Baseline 2018: (DESO, 2018: Volume total produzido 140,8 milhões m³/ano para 1,83 milhão de pessoas atendidas, com perda de 60% (84,5 milhões m³/ano perdidos). Redução para 25% de perda economizaria 65,7 milhões m³/ano em produção (mantendo mesmo volume útil distribuído), equivalente ao abastecimento de aproximadamente 1,2 milhão de habitantes/ano;
- Ações: Programa de uso racional na indústria e agricultura;
- Economia: 65,7 milhões m³/ano (redução de perdas no abastecimento urbano de 60% para 25%, baseado em volume produzido DESO 2018 de 140,8 milhões m³/ano).

II. Infraestrutura hídrica climático-resiliente:

- Ações:
  - Construir barragens de pequeno porte (capacidade total: 85 milhões m³) – Sergipe possui 102 barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB/ANA; fiscalização da SEDURBS e da ANA): 15 grandes, 83 médias e 4 subterrâneas. A capacidade informada soma 141,82 hm³ (milhões m³), sendo 115,18 hm³ nas barragens grandes e 26,64 hm³ em 30 das 83 médias; as demais 53 barragens médias não informam capacidade, de modo que o total é um valor mínimo. Por uso principal, das 98 barragens superficiais, 61,2% destinam-se à dessedentação animal, 18,4% à irrigação, 9,2% ao abastecimento humano e 4,1% à aquicultura; em volume, o abastecimento humano responde por 95,3 hm³ (67,2% da capacidade informada), a irrigação por 21,4 hm³ (15,1%) e a dessedentação animal por 13,3 hm³ (9,4%). As 5 maiores barragens concentram 69,5% da capacidade: Sindicalista Jaime Umbelino (32,7 hm³ - São Cristóvão), Jacarecica II (26,2 hm³ - Areia Branca), Dionísio Machado (15,0 hm³ - Lagarto), João Alves Filho (14,5 hm³ - Campo do Brito) e Cabrita (10,0 hm³ - São Cristóvão);
  - Meta de 85 hm³ em novas barragens de pequeno porte: Representa incremento de 59,9% sobre a capacidade atual, elevando o total estadual para 226,82 hm³. Foco em barragens <3 hm³ distribuídas no semiárido (Alto Sertão e Médio Sertão - 60% da meta, ~170 barragens) e Agreste Central (25%, ~70 barragens), priorizando comunidades rurais sem cobertura das grandes barragens. Tipologia: barragens comunitárias e municipais de 50 mil a 3 milhões de m³ (capacidade média de ~0,3 hm³ por unidade), responsáveis pelo volume da meta, complementadas por barraginhas de terra (200-500

m³) e açudes familiares (1.000-5.000 m³), de contribuição volumétrica marginal. Demais territórios: 15% da meta (~40 barragens). Impacto estimado: Segurança hídrica para ~250 mil habitantes rurais, irrigação de salvamento para ~12.000 ha, recarga de aquíferos +30 milhões m³/ano, redução de 40% na vulnerabilidade hídrica dos municípios prioritários.

- Modernizar sistemas de irrigação para gotejamento (eficiência de 90%);
- Revitalizar 1.200 km de margens de rios (proteção contra erosão) - Análise dos shapefiles de hidrografia das 8 bacias hidrográficas de Sergipe (SEMAC/Serhidro, 2026) revela rede hidrográfica total de 26.932,6 km distribuídos em 14.121 segmentos: São Francisco (6.375,4 km - 23,7%), Sergipe (5.825,8 km - 21,6%), Vaza-Barris (4.435,2 km - 16,5%), Real (4.155,0 km - 15,4%), Piauí (3.279,4 km - 12,2%), Japaratuba (2.705,3 km - 10,0%), Caueira-Abais (89,3 km - 0,3%), Costeira-Sapucaia (67,1 km - 0,2%). SERHIDRO refere-se ao Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de Sergipe.
- Meta de 1.200 km de margens restauradas: Representa 4,5% da rede hidrográfica total, equivalente a 600 km lineares de rios (cada rio tem 2 margens). Priorização espacial: Bacia do Sergipe (350 km - 29,2% da meta) por ser a mais populosa e abastecer Aracaju; Bacia do São Francisco (300 km - 25,0%) para proteger trecho sergipano do rio federal; Bacia do Vaza-Barris (250 km - 20,8%) devido à alta vulnerabilidade à erosão; Bacias do Real e Piauí (200 km - 16,7%) para controle de assoreamento em áreas agrícolas; demais bacias (100 km - 8,3%).
- Critérios de seleção dos trechos: (1) Margens com erosão ativa >1 m/ano (identificação via rasters de erosividade), (2) Rios de 3ª ordem ou superior (Strahler), (3) Trechos com vegetação ciliar <30 m de largura (abaixo do Código Florestal), (4) Proximidade de áreas urbanas e de captação de água (raio de 5 km), (5) Bacias com Índice de Qualidade de Água (IQA) <50 (médio/ruim).
- Impacto estimado: Redução de 60% na taxa de erosão das margens (~180.000 ton sedimentos/ano retidos), aumento de 35% na infiltração (recarga +18 milhões m³/ano), elevação do IQA de 15-20 pontos em trechos críticos, criação de 7.200 ha de corredores ecológicos (1.200 km x 60 m de faixa ciliar), redução de 25% no assoreamento de barragens a jusante, conectividade de 450 km de corredores fluviais entre fragmentos florestais.

III. Recarga de aquíferos:

- Implementar construção de bacias de captação (barraginhas) para recarga em zonas críticas;
- Proteger áreas de recarga natural (45.000 hectares) – Sergipe possui área territorial de 2.193.800 hectares, sendo aproximadamente 780.000 ha

(35,6%) sobre aquíferos de média a alta produtividade (Açu, Marizal, Sapucaia, Cristalino fraturado). As áreas de recarga natural são zonas prioritárias para infiltração de água da chuva nos aquíferos, caracterizadas por: (1) solos permeáveis (Neossolos Quartzarênicos, Latossolos), (2) relevo plano a suave ondulado (<8% declividade), (3) cobertura vegetal natural preservada, (4) ausência de impermeabilização antrópica. Estimativa de áreas de recarga críticas em Sergipe: ~180.000 ha (8,2% do território).

- Meta de proteção de 45.000 ha: Representa 25% das áreas de recarga críticas identificadas, priorizando zonas de maior vulnerabilidade à degradação (pressão agrícola, expansão urbana, desmatamento). Instrumento de proteção: criação de Zonas de Proteção de Aquíferos (ZPAs) via Zoneamento Ecológico-Econômico, restrições de uso conforme Resolução CONAMA nº 396/2008 (águas subterrâneas), pagamento por serviços ambientais (PSA-Água) para proprietários rurais que mantiverem cobertura vegetal;
- Distribuição espacial da meta por aquífero/bacia: 1. Aquífero Açu (Baixo São Francisco): 12.000 ha (26,7% da meta) – Municípios de Propriá, Gararu, Porto da Folha, Canhoba, Poço Redondo. Aquífero de alta produtividade (vazões 50-150 m³/h), principal manancial do semiárido sergipano; 2. Aquífero Marizal (Centro-Sul): 10.000 ha (22,2%) – Municípios de Lagarto, Riachão do Dantas, Simão Dias, Tobias Barreto. Cobertura vulnerável por expansão de monoculturas (milho, soja); 3. Aquífero Sapucaia (Litoral Norte): 8.000 ha (17,8%) – Municípios de Pirambu, Pacatuba, Brejo Grande. Pressão por carcinicultura e agricultura irrigada; 4. Região do Agreste Central (Aquífero Cristalino fraturado): 9.000 ha (20,0%) – Municípios de Itabaiana, Campo do Brito, Areia Branca, Frei Paulo. Aquíferos de baixa produtividade (vazões 3-15 m³/h), mas essenciais para comunidades rurais; 5. Bacia do Rio Sergipe (Aquífero aluvionar): 6.000 ha (13,3%) – Várzeas e planícies aluvionares dos Municípios de São Cristóvão, Laranjeiras, Riachuelo, Areia Branca. Recarga rápida e conexão com rios perenes;
- Impacto estimado da proteção: - Aumento da recarga de aquíferos: +60 milhões m³/ano em média (45.000 ha x infiltração de ~1.350 mm/ano x coeficiente de recarga 0,10). Representa incremento de ~8-10% na recarga anual total dos aquíferos sergipanos. - Segurança hídrica: Proteção de mananciais subterrâneos que abastecem ~400.000 habitantes (17% da população) via poços tubulares e fontes. - Manutenção de vazões de rios: Alimentação de aquíferos que sustentam vazões de estiagem (Q90) de rios importantes (Vaza-Barris, Piauí, Real), aumento de 15-20% nas vazões mínimas. - Qualidade da água: Redução de 40% na contaminação por agrotóxicos e fertilizantes (filtragem natural do solo), proteção contra salinização de aquíferos costeiros (barreira contra intrusão salina). - Serviços ecossistêmicos: Manutenção de 45.000 ha de vegetação nativa = sequestro de ~135.000 tCO_2e/ano, conservação de biodiversidade, regulação climática local. - Valorização imobiliária: Certificação de propriedades rurais com PSA-Água, agregação de valor a produtos agroecológicos ("produzido em área de proteção de água").

- Modelo de gestão: Criação de Comitês Gestores de ZPAs (Zonas de Proteção Ambiental) por aquífero (composição: poder público 33%, usuários de água 33%, sociedade civil 33%), monitoramento via sensoriamento remoto (detecção de desmatamento, mudança de uso do solo), fiscalização integrada (SEMAC, ADEMA, Polícia Ambiental), sistema de PSA com recursos do FEHIDRO (Fundo Estadual de Recursos Hídricos);
- Monitoramento em tempo real de 120 poços.

IV. Reuso e fontes alternativas:

- Meta: Garantir segurança hídrica para 100% da população urbana e 85% da rural até 2030, mesmo sob cenários de seca severa;
- Ações:
    - Tratar e reusar 15% dos efluentes urbanos para fins não potáveis (irrigação, indústria) – Sergipe possui 14 licenças válidas de lançamento de efluentes cadastradas no Serhidro (shapefile Lançamento_de_efluentes_válido, SEMAC 2026), representando formalização de parte dos efluentes urbano-industriais tratados. Estimativa de produção diária de efluentes tratados no estado: ~110.000 m³/dia (base: população urbana 1,8 milhões hab x 150 L/hab/dia x índice de tratamento 40%), equivalendo a 40,2 milhões m³/ano;
    - Meta de reuso de 15%: Representa 16.500 m³/dia (6,0 milhões m³/ano) de efluentes tratados redirecionados para usos não potáveis. Alinhamento com Resolução CNRH nº 54/2005 (diretrizes nacionais de reuso) e Lei Estadual 8.491/2018 (Política de Saneamento Básico de SE). Meta conservadora: países como Israel atingem 90% de reuso, Espanha 20%, Chile 15%, Brasil <1% (ONS Água, 2024);
    - Aplicações prioritárias do reuso: 1. Irrigação paisagística e agrícola (60% do reuso - 10.000 m³/dia): Parques urbanos, campos esportivos, canteiros rodoviários, cultivos não-alimentícios (silvicultura, flores, fibras). Reduz captação de água potabilizada em ~20% nas áreas atendidas. 2. Uso industrial (25% - 4.100 m³/dia): Refrigeração de processos, lavagem de equipamentos, produção de concreto, indústrias têxteis. Economia de água potável para indústrias de Aracaju, Nossa Senhora do Socorro, Lagarto. 3. Recarga de aquíferos e corpos d'água (15% - 2.400 m³/dia): Injeção controlada em aquíferos não-potáveis, alimentação de lagoas urbanas, diluição de cargas poluidoras em rios;
    - Infraestrutura necessária: Ampliação de 8 ETEs existentes (Aracaju, Nossa Senhora do Socorro, Itabaiana, Lagarto, Estância, Propriá, Tobias Barreto, Simão Dias) com tratamento terciário (desinfecção UV, filtração avançada), construção de rede de água de reuso dual (70 km na RMA),

reservatórios de armazenamento (15.000 m³ totais), sistema de monitoramento contínuo de qualidade;

- Impacto estimado: Economia de 6,0 milhões m³/ano de água potável (suficiente para abastecer ~109 mil habitantes/ano), redução de 15% na pressão sobre mananciais de abastecimento, diminuição de 18% na carga poluidora lançada em corpos receptores (por redirecionar parte dos efluentes), criação de 450 empregos diretos (operação e manutenção), redução de custos operacionais de ~R$ 8 milhões/ano para indústrias e municípios;
- Potencializar a construção de 45.000 cisternas em zona rural (comunidades vulneráveis) – Sergipe possui população rural de 443.097 habitantes (20,1% dos 2,21 milhões, Censo IBGE 2022), em 155.358 domicílios rurais ocupados (média de 2,85 pessoas/domicílio). Os territórios do Alto Sertão, Médio Sertão e Agreste Central concentram 36,8% da população rural (163,3 mil hab., 57,6 mil domicílios) e apresenta vulnerabilidade hídrica crítica: precipitação anual <700 mm, períodos de estiagem de 6-8 meses, projeções de redução de 15-25% nas chuvas até 2050;
- Cobertura atual de cisternas: Estimativa de ~32.000 cisternas instaladas via programas ASA (Articulação no SemiÁrido), P1MC (Um Milhão de Cisternas), P1+2 (Uma Terra Duas Águas) e ações estaduais entre 2003-2023. Cobertura atual: ~33% dos domicílios rurais no semiárido. Déficit: 65.500 domicílios sem cisterna na região vulnerável;
- Meta de 45.000 novas cisternas: Representa avanço para 86% de cobertura dos domicílios rurais no semiárido (77.000 cisternas totais / 89.500 domicílios). Tipologia distribuída: 70% cisternas de captação (16 mil litros) para água potável (31.500 unidades), 30% cisternas de produção (52 mil litros) para hortaliças e pequenos animais (13.500 unidades);
- Distribuição espacial da meta por território:
    - Alto Sertão (Canindé, Poço Redondo, Porto da Folha, Monte Alegre, Gararu): 14.000 cisternas (31,1% da meta) – maior vulnerabilidade hídrica;
    - Médio Sertão (Carira, Frei Paulo, Ribeirópolis, Nossa Senhora da Glória): 12.500 cisternas (27,8%);
    - Agreste Central (Itabaiana, Campo do Brito, Macambira, São Domingos): 10.000 cisternas (22,2%);
    - Centro-Sul (Lagarto, Simão Dias, Tobias Barreto): 5.500 cisternas (12,2%);

- Baixo São Francisco (comunidades quilombolas e ribeirinhas): 3.000 cisternas (6,7%).

- Capacidade de armazenamento adicional: 45.000 cisternas x 26.800 L médios (70% de 16.000 L + 30% de 52.000 L) = ~1,21 milhão de m³ distribuídos. Garante segurança hídrica de 5-8 meses para famílias (período de estiagem completo);
- Impacto estimado: Segurança hídrica para 180.000 pessoas (~45.000 famílias), redução de 70% no tempo de busca de água (liberação de ~8 horas/semana, principalmente mulheres e crianças), aumento de 40% na produção de alimentos em quintais produtivos (cisternas de produção), diminuição de 55% nas doenças de veiculação hídrica (por acesso à água tratada), redução de 60% na vulnerabilidade hídrica dos municípios prioritários, fixação de população rural (contenção do êxodo), fortalecimento da agricultura familiar e agroecologia;
- Implantar sistemas de dessalinização de água salobra: 3 unidades (capacidade 12 mil m³/dia) – Sergipe apresenta extensas áreas com água subterrânea salobra (salinidade 1.000-10.000 mg/L de sólidos dissolvidos totais - SDT), especialmente no semiárido (Alto Sertão e Médio Sertão) sobre aquíferos cristalinos de baixa produtividade. Levantamento do Serhidro identifica ~12.000 poços tubulares cadastrados no estado, sendo aproximadamente 35-40% (4.200-4.800 poços) com água salobra imprópria para consumo humano direto (SDT >500 mg/L). População rural afetada: ~80.000 habitantes em comunidades dispersas com acesso limitado a mananciais superficiais;
- Meta de 3 unidades de dessalinização: Sistemas centralizados de médio porte (4.000 m³/dia cada) com tecnologia de osmose reversa, estrategicamente localizados em municípios-polo do semiárido sergipano para atendimento regional. Capacidade total: 12.000 m³/dia = 4,38 milhões m³/ano de água potável produzida a partir de água salobra;
- Localização estratégica das 3 unidades:
    - 1. Alto Sertão (Monte Alegre de Sergipe ou Poço Redondo): 4.000 m³/dia para atender ~25.000 hab em 6 municípios (Monte Alegre, Poço Redondo, Porto da Folha, Gararu, Nossa Senhora da Glória, Canindé de São Francisco) - região de maior vulnerabilidade hídrica do estado;
    - 2. Médio Sertão (Carira ou Frei Paulo): 4.000 m³/dia para ~20.000 hab em 6 municípios (Carira, Frei Paulo, Pedra Mole, Pinheiro, Macambira, Ribeirópolis) - complementa abastecimento das sedes municipais;

- 3. Agreste Central (Campo do Brito ou São Domingos): 4.000 m³/dia para ~18.000 hab em 5 municípios (Campo do Brito, São Domingos, Itabaiana, Areia Branca, Malhador) - reduz pressão sobre barragem Jacarecica.

4.6.3.2.2. Agricultura e Segurança Alimentar

Desafio: Projeções indicam perdas de 15-20% na produtividade de culturas básicas (milho, feijão, mandioca) até 2100.

Estratégias prioritárias:

I. Diversificação de cultivares tolerantes:

- Meta: Substituir 60% das variedades por cultivares tolerantes a calor e seca (estresse hídrico);
- Ações:
  - Implantar bancos de germoplasma com 280 variedades adaptadas – A meta de 280 variedades de germoplasma adaptadas à seca e calor baseia-se na diversidade de cultivos agrícolas de Sergipe e na necessidade de resiliência genética frente às mudanças climáticas. O estado cultiva aproximadamente 15-18 culturas agrícolas de relevância econômica (IBGE PAM 2023): lavouras temporárias (milho, feijão, mandioca, arroz, cana-de-açúcar, batata-doce, melancia, melão, tomate, cebola) e permanentes (coco-da-baía, laranja, manga, maracujá, caju, banana, açaí);
  - Estruturação do banco de 280 variedades:
    - Culturas prioritárias do semiárido (60% - 168 variedades): Milho (30 variedades tolerantes a seca/calor - ciclo curto 80-90 dias, grãos duros/moles, híbridos/variedades crioulas); Feijão-caupi (25 variedades - resistência a estresse hídrico, ciclo 60-75 dias, porte ereto/semi-ereto), Sorgo (20 variedades - forrageiro/granífero, baixa demanda hídrica); Mandioca (35 variedades - ciclo precoce 8-10 meses, alto teor de amido, tolera seca de 4-6 meses); Caju (18 variedades - anão precoce, gigante, híbridos produtivos); Palma forrageira (15 variedades - gigante/miúda/orelha de elefante, resistência a cochonilha); Caprinos/ovinos adaptados (25 raças/linhagens - Santa Inês, Dorper, Anglo-nubiana, Boer); Culturas de sistemas irrigados (25% - 70 variedades): Coco-da-baía (12 variedades - anão verde/amarelo, híbridos PB121/PB-141, gigante); Hortaliças (25 variedades - tomate cereja/italiano,

pimentão colorido, alface crespa/americana, coentro, cebolinha, rúcula); Melão/Melancia (15 variedades - híbridos sem semente, amarelo/pele de sapo, crimson/charleston); Maracujá (8 variedades - amarelo/roxo/doce, BRS Gigante Amarelo/BRS Sol do Cerrado); Manga (10 variedades - Tommy Atkins, Palmer, Kent, Keitt, Haden);

- Culturas de agricultura familiar (15% - 42 variedades): Banana (8 variedades - prata/maçã/nanica/ouro/terra), Batata-doce (12 variedades - roxa/branca/alaranjada, biofortificadas), Inhame/Cara (6 variedades - da Costa/São Tomé), Abóbora/Jerimum (8 variedades - moranga/japonesa/seca), Maçaroca/Maxixe (4 variedades locais), Quiabo (4 variedades - Santa Cruz/Campinas).

- Assistência técnica para 18.000 agricultores familiares.

II. Sistemas agroflorestais (SAFs):

- Meta: Implementar SAFs em 25.000 hectares até 2035- Sergipe possui aproximadamente 400.000 ha de área agricultável (18% do território de 2.193.800 ha), com predomínio de agricultura familiar (cerca de 71.800 estabelecimentos de agricultura familiar, 77% dos 93.275 estabelecimentos agropecuários – Censo Agropecuário 2017). A meta de 25.000 ha de Sistemas Agroflorestais (SAFs) representa 6,25% da área agricultável e constitui estratégia de transição agroecológica para convivência com o clima semiárido, diversificação produtiva e sequestro de carbono;
- Benefícios:
  - Produção diversificada (15-25 espécies por sistema);
  - Microclimas favoráveis (redução de 2-3°C na temperatura do solo), viabilizados por meio de sistemas de manejo do solo conservacionistas e da cobertura vegetal.
  - Aumento de 60% na resiliência e 40% na renda.

III. Irrigação de precisão:

- Meta: Modernizar 7.700 hectares com irrigação por gotejamento e microaspersão (perímetros que ainda utilizam sistemas convencionais);
- Situação atual: Sergipe possui 21.110 ha de área irrigada distribuídos em 13 perímetros oficiais. Análise do shapefile Perímetros_Irrigados.shp (SEMAC/Serhidro, 2026) revela que 63,6% da área (13.433 ha) já possui irrigação moderna (gotejamento, microaspersão, pivô central ou sistemas localizados), incluindo Platô de Neópolis (7.248 ha), Jacaré-Curituba (3.150 ha), Cotinguiba/Pindoba (2.215 ha) e Jacarecica 2 (820 ha). Os

36,4% restantes (7.678 ha) ainda utilizam sistemas convencionais de baixa eficiência (inundação e aspersão), incluindo Betume (2.861 ha - inundação), Califórnia (1.360 ha - aspersão), Propriá (1.177 ha - inundação), Ribeira (1.100 ha - aspersão), Piauí (703 ha - aspersão), Jacarecica 1 (252 ha - aspersão) e Jabiberi (225 ha - inundação);

- Meta ajustada: Modernizar os ~7.700 ha que ainda utilizam irrigação por inundação (perdas de 60-70%) e aspersão convencional (perdas de 40-50%) para sistemas de alta eficiência (gotejamento/microaspersão com perdas <15%);
- Impacto estimado por hectare modernizado: - Economia hídrica: ~6.000 m³/ha/ano em média (redução de 45-60% no consumo) - Impacto total: ~46,2 milhões m³/ano economizados (equivalente ao abastecimento de ~84 mil habitantes/ano) - Aumento de produtividade: 25-40% (melhor controle hídrico e fertirrigação) - Redução de emissões GEE: ~12.000 tCO_2e/ano (menor bombeamento e uso de energia) - Ganho ambiental adicional: redução de erosão e salinização do solo;
- Distribuição espacial da meta: - Baixo São Francisco (Betume + Propriá): 4.038 ha (52,5% da meta) - prioridade imediata por vulnerabilidade hídrica - Alto Sertão (Califórnia + Ribeira + Piauí): 3.163 ha (41,1%) - região de semiárido com maior déficit hídrico - Centro-Sul (Jacarecicas + Jabiberi): 477 ha (6,2%) – complementação;
- Justificativa da exclusão: Os 13.433 ha já modernizados (perímetros como Platô de Neópolis com gotejamento/pivô central instalados desde 1994) não necessitam nova intervenção estrutural, apenas manutenção e otimização operacional. A meta concentra-se exclusivamente em converter os sistemas obsoletos remanescentes.
- Benefício: Redução de 45% no consumo de água por hectare
- Validação da meta: A redução de 45% no consumo de água é conservadora e tecnicamente viável com a modernização de sistemas de irrigação. Base de cálculo: Sistemas convencionais (inundação e aspersão) apresentam eficiência de 40-60%, com perdas de 40-60% por evaporação, percolação profunda e escoamento superficial. Sistemas modernos de alta eficiência (gotejamento e microaspersão) atingem 85-95% de eficiência, com perdas <15%.
- Cálculo de economia por hectare (cultura de referência: milho): - Sistema convencional (inundação): 12.000-15.000 m³/ha/ciclo (eficiência 40%, perdas 60%) - comum nos perímetros Betume, Propriá - Sistema moderno (gotejamento): 7.000-8.500 m³/ha/ciclo (eficiência 90%, perdas <10%) - já implantado em Platô de Neópolis - Economia: 4.500-7.000 m³/ha/ciclo = 45-54% de redução no consumo
- Evidências dos perímetros sergipanos: Análise do shapefile Perímetros_Irrigados.shp revela que o Platô de Neópolis (7.248 ha, 34% da área irrigada) utiliza microaspersão, gotejamento e pivô central desde 1994, consumindo em média 8.200 m³/ha/ano para cultivos de milho e coco. Em contraste, Betume (2.861 ha, 14%) com irrigação por inundação

consome 14.500 m³/ha/ano para arroz e hortaliças. Diferença comprovada: 43,4% de redução no perímetro modernizado.

- Benefícios adicionais da modernização (além da economia hídrica): 1. Aumento de produtividade: +25-40% na produção por aplicação controlada de água e fertirrigação 2. Redução de energia: -35% no bombeamento (menor volume de água transportado) = economia de ~12.000 tCO_2e/ano nos 7.700 ha a modernizar 3. Melhoria da qualidade: Redução de 50% na lixiviação de fertilizantes (menor contaminação de aquíferos e rios) 4. Controle de salinização: Aplicação localizada evita acumulação de sais no perfil do solo (crítico no semiárido) 5. Melhor distribuição temporal: Sensoriamento remoto e automação permitem irrigação sob demanda (economia adicional de 10-15%)
- Impacto agregado na meta de 7.700 ha modernizados: - Economia hídrica: 7.700 ha x 6.000 m³/ha/ano (média) = 46,2 milhões m³/ano economizados - Equivale ao abastecimento de ~84.000 habitantes/ano (base: 150 L/hab/dia) - Libera água para expansão de +3.500 ha irrigados (mesma disponibilidade hídrica) - Redução de 35% nas emissões de GEE por menor bombeamento: 12.000 tCO_2e/ano
- Referências técnicas: EMBRAPA Instrumentação (2021) documenta eficiência de 90-95% em sistemas de gotejamento vs 40-60% em inundação. ANA (Agência Nacional de Águas, 2019) reporta economia de 40-60% na conversão de sistemas convencionais para localizada em perímetros públicos do Nordeste. FAO (2020) indica eficiência média global: inundação 45%, aspersão 70%, gotejamento 90%.

IV. Seguro agrícola climático:

- Meta: Expandir cobertura de seguro para 25% dos agricultores familiares (12.000 contratos);
- Justificativa: Sergipe possui 93.275 estabelecimentos agropecuários (Censo Agropecuário IBGE 2017), dos quais 72.060 (77,3%) são de agricultura familiar (COSTA; CARVALHO, 2020). A meta de 12.000 contratos de seguro agrícola representa 16,7% dos estabelecimentos de agricultura familiar, ampliando significativamente a cobertura atual que é marginal;
- Ações: Integração com a Plataforma de Alerta de Eventos Climáticos Extremos para o risco de secas.

V. Armazenamento e logística resiliente:

- Meta: Manter 100% da população livre de insegurança alimentar grave até 2030, mesmo sob eventos climáticos extremos;
- Ações:
  - Construir unidades de armazenamento climatizado (capacidade: 85.000 toneladas) – A meta de 85.000 toneladas de capacidade de armazenamento baseia-se na produção

agrícola diversificada de lavouras temporárias de Sergipe e na necessidade de redução de perdas pós-colheita, considerando três categorias de produtos com tecnologias de armazenamento distintas: grãos (milho, feijão, arroz), raízes/tubérculos (mandioca, batata) e hortifruti (tomate, cebola, melancia).

- Produção agrícola de Sergipe (IBGE PAM 2023): Análise da Tabela 1612 - Produção Agrícola Municipal revela:
    - GRÃOS (tecnologia: silos metálicos aerados, armazéns graneleiros convencionais): - Milho: 874.463 toneladas/ano (95,5% da produção de grãos - principal cultura) - Arroz: 39.927 toneladas/ano (4,4%) - Feijão: 1.738 toneladas/ano (0,2% - produção baixa, grande importação) - Subtotal grãos: 916.128 toneladas/ano;
    - RAÍZES E TUBÉRCULOS (tecnologia: casas de farinha, armazéns ventilados, câmaras temperadas): - Mandioca: 166.103 toneladas/ano (principal raiz - processamento para fécula/farinha) - Batata-inglesa: 67.049 toneladas/ano (hortaliça tuberosa) - Subtotal raízes/tubérculos: 233.152 toneladas/ano;
    - HORTIFRUTI (tecnologia: câmaras frias 2-8°C, atmosfera controlada): - Tomate: 5.460 toneladas/ano - Melancia: 2.470 toneladas/ano - Outras hortaliças: estimativa 10.000 toneladas/ano (cebola, pimentão, abóbora) - Subtotal hortifruti: ~18.000 toneladas/ano;
    - PROCESSAMENTO IMEDIATO (não requer armazenamento): - Cana-de-açúcar: 2.476.045 toneladas/ano (vai direto para usinas dentro de 24-48h da colheita);
    - TOTAL lavouras temporárias que necessitam armazenamento: ~1.167.000 toneladas/ano (916k grãos + 233k raízes + 18k hortifruti).
- Necessidade de armazenamento por categoria de produto: Recomendação técnica da FAO e CONAB, ajustada conforme durabilidade e tecnologia requerida:
    - GRÃOS (silos metálicos, armazéns graneleiros): - Capacidade recomendada: 10-15% da produção (período de armazenamento: 4-6 meses) - Tecnologia: Silos metálicos com aeração forçada, termometria, controle de umidade <13%, expurgo contra pragas – Milho: 874.463 ton × 10% = 87.446 ton – Arroz: 39.927 ton × 12% = 4.791 ton – Feijão: 1.738 ton × 15% = 261 ton – Subtotal grãos: 92.498 ton;
    - RAÍZES/TUBÉRCULOS (casas de farinha, armazéns ventilados): Capacidade recomendada: 5-8% da produção (período: 2-3 meses, perecibilidade intermediária) – Tecnologia: Armazéns ventilados naturalmente, temperatura

ambiente controlada, umidade relativa 70-80% - Mandioca: 166.103 ton × 5% = 8.305 ton (processamento gradual em casas de farinha) – Batata: 67.049 ton × 5% = 3.352 ton – Subtotal raízes/tubérculos: 11.657 ton;

- HORTIFRUTI (câmaras frias): Capacidade recomendada: 3-5% da produção (período: 15-30 dias, alta perecibilidade) – Tecnologia: Câmaras frias 2-8°C, atmosfera controlada/modificada, umidade relativa 85-95% - Total hortifruti: 18.000 ton × 5% = 900 ton – Subtotal hortifruti: 900 ton.

- TOTAL calculado: 92.498 ton (grãos) + 11.657 ton (raízes) + 900 ton (hortifruti) = ~105.055 toneladas;
- Meta: 85.000 toneladas = 80,9% da necessidade calculada total. A meta de 85.000 ton é conservadora (7,3% da produção total de 1.167.000 ton), priorizando grãos que representam 78,5% da produção e têm maior viabilidade técnica e econômica de armazenamento. Distribuição da capacidade: grãos (72.250 ton - 85%), raízes/tubérculos (8.500 ton - 10%), hortifruti climatizado (4.250 ton - 5%).
- Déficit atual de armazenamento:
    - Segundo dados oficiais da Conab – Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras (20/01/2026), Sergipe possui capacidade estática cadastrada de apenas 13.100 toneladas: - Convencional: 1 armazém com 3.200 toneladas (apto) - Granel: 2 armazéns com 9.900 toneladas (inaptos: 900 t com impedimento cadastral, 9.000 t com impedimento SICAF) - Situação crítica: Apenas 3.200 toneladas (24,4%) estão aptas ao uso;
    - Análise do déficit: A capacidade cadastrada de 13.100 ton representa apenas 1,1% da produção de lavouras temporárias (~1.167.000 ton/ano), muito abaixo da recomendação técnica FAO/CONAB de 8-12%. Considerando que 75,6% da capacidade (9.900 t) está inapta, a capacidade efetiva é de apenas 3.200 toneladas (0,27% da produção).
- Déficit para agricultura familiar: Com capacidade cadastrada concentrada em apenas 3 unidades (grandes operadores), agricultura familiar (<20 ha) possui déficit de ~82.000 toneladas, dependendo de atravessadores que compram na colheita a preços 30-50% abaixo do mercado;
- Meta ajustada: Construir 85.000 toneladas de nova capacidade e recuperar as 9.900 toneladas inaptas (já incluídas nas 13.100 t cadastradas), elevando a capacidade apta total para 98.100 toneladas (8,4% da produção de 1.167.000 ton);
- Tipologia das unidades de armazenamento por categoria de produto:
    - 1. GRÃOS - Silos metálicos comunitários (60% - 51.000 ton): - Produto: Milho, arroz, feijão, sorgo - Tecnologia: 170 unidades de 300 ton cada em

comunidades rurais - Características técnicas: Aeração forçada com ventiladores axiais, termometria digital (6-12 cabos/silo), controle de umidade <13% (secadores móveis compartilhados), expurgo com fosfina (controle de pragas), estrutura metálica galvanizada, piso impermeabilizado - Localização: Zonas rurais de alta produção de milho (Alto Sertão, Centro Sul, Agreste Central) - Gestão: Associações comunitárias e cooperativas de agricultores familiares;

- 2. GRÃOS - Armazéns graneleiros cooperativos (25% - 21.250 ton): - Produto: Milho, arroz (beneficiamento integrado) - Tecnologia: 15 unidades de 1.400 ton em municípios-polo - Características técnicas: Recepção com moega, limpeza (máquinas de ar e peneiras), secagem (secadores de coluna contínua), armazenamento em silos de concreto ou metálicos, pré-processamento (descascamento de arroz, debulha de milho), balança rodoviária - Localização: Itabaiana, Lagarto, Nossa Senhora da Glória, Propriá, Estância, Tobias Barreto, Simão Dias - Gestão: Cooperativas regionais e EMDAGRO;
- 3. RAÍZES/TUBÉRCULOS - Casas de farinha modernizadas com armazenamento (10% - 8.500 ton): - Produto: Mandioca (in natura e processada), - Localização: Polos de produção de mandioca (Lagarto, Salgado, Itabaiana, Tobias Barreto) - Gestão: Associações de produtores de farinha, agricultura familiar;
- 4. HORTIFRUTI - Câmaras frias (5% - 4.250 ton): - Produto: Tomate, cebola, pimentão, melancia, abóbora - Tecnologia: 25 unidades de 170 ton em polos de produção hortícola - Características técnicas: Refrigeração mecânica 2-8°C (compressores scroll/parafuso), atmosfera controlada (redução O? 3-5%, aumento CO? 3-5%), umidade relativa 85-95% (umidificadores ultrassônicos), isolamento térmico (poliuretano 100mm), controle automatizado (CLP + sensores) - Localização: Itabaiana (cinturão verde), Campo do Brito, São Cristóvão, Lagarto - Gestão: Cooperativas de hortifruti, associações de produtores, CEASA-SE (polo de distribuição).

- Benefícios da ampliação do armazenamento: - Redução de perdas pós-colheita: De 22% (atual) para 12% (meta), economizando 100.000-150.000 ton/ano de alimentos (valor de R$ 80-120 milhões/ano). - Melhoria de preços: Agricultores com armazenamento vendem 3-5 meses após colheita, quando preços

sobem 30-60%, aumentando renda em 20-35%. - Segurança alimentar: Estoque estratégico de 4-6 meses de grãos reduz vulnerabilidade a seca e quebra de safra. - Qualidade do produto: Armazenamento adequado mantém padrão comercial (umidade, micotoxinas, pragas), aumentando aceitação e preço em 15-25%. - Agregação de valor: Possibilita beneficiamento local (limpeza, classificação, embalagem), gerando 1.500-2.000 empregos. - Redução de emissões: Menor transporte de longas distâncias (armazenamento local) economiza 12.000-18.000 tCO?e/ano em logística;

- Resultados esperados: Reduzir perdas pós-colheita de 22% para 12%.

4.6.3.2.3. Saúde Pública

Desafio: Projeções indicam aumento de 60-80% na mortalidade por calor extremo (de 45 para 72-81 óbitos/ano, §3.1.6.5) e expansão de 15-20% na área de transmissão de dengue até 2050.

Estratégias prioritárias:

I. Sistema de Alerta Precoce de Ondas de Calor:

- Meta: Reduzir a mortalidade por calor em 60% em relação à linha de base até 2035 (de 45 para <18 óbitos/ano; Tabela 22). Contribuições estimadas, combinadas multiplicativamente: sistema de alerta precoce e protocolos de saúde, 25-40% (a mortalidade nos dias mais quentes caiu 27% após o plano de ação para calor de Ahmedabad, na Índia (HESS et al., 2018), e os óbitos excedentes na onda de calor de 2006 na França ficaram 68% abaixo do esperado após a implantação do sistema de alerta (FOUILLET et al., 2008); abrigos climáticos, 5-10%; e arborização urbana, 15-25% (§4.6.3.2.3 V). O efeito conjunto varia de 39% a 60%; a meta pressupõe, portanto, a implementação plena das três ações, no limite superior dos efeitos documentados;
- Ações:
  - Monitoramento meteorológico em tempo real (rede de 60 estações automáticas da Defesa Civil – 50 instaladas em 2024 e 10 em 2025 –, integrada às 22 estações climatológicas previstas no Eixo 1);
  - Preenchimento dos alertas na Plataforma de Alerta de Eventos Climáticos Extremos (Produto 2.5 do Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC/SE);
  - Alertas por mensagem de texto para cerca de 822 mil pessoas residentes em áreas de risco alto a crítico a ondas de calor;
  - Ativação de centros de acolhimento climatizados (45 unidades) durante eventos extremos. 45 centros de

acolhimento climatizados: A meta baseia-se na população urbana exposta a ondas de calor extremo (temperatura >38°C por 3+ dias consecutivos) e na capacidade de atendimento emergencial durante eventos climáticos críticos;

- População vulnerável prioritária: Segundo o mapeamento de risco ao calor recalculado com as coordenadas corretas das estações e a população do Censo 2022 (exposição a ondas de calor × vulnerabilidade – densidade populacional e IVS), cerca de 303 mil pessoas (13,7% da população estadual) residem em áreas de risco crítico e 822 mil (37,2%) em áreas de risco alto a crítico, concentradas no Alto e Médio Sertão, no Baixo São Francisco e no Agreste Central; no litoral, a exposição a ondas de calor medida pelas estações é baixa, e o efeito de ilha de calor urbana deve ser tratado com base na temperatura de superfície (LST). Grupos mais vulneráveis: idosos de 60 anos ou mais (~112,6 mil em áreas de risco alto a crítico, dos quais ~40,2 mil em risco crítico e ~53 mil com 70 anos ou mais), crianças de 0 a 4 anos (~56,5 mil em risco alto a crítico; ~22 mil em risco crítico), pessoas em situação de rua (~1.200), trabalhadores informais expostos e moradores de áreas precárias (a quantificar segundo a nova distribuição espacial do risco);
- Nota metodológica: a população em risco, os grupos etários (Censo 2022, estrutura etária por município) e a distribuição dos abrigos foram recalculados com os mapas corrigidos de ondas de calor (ver §3.1.4.4; Etapa 1, 04_MAPAS/PRODUTOS_FINAIS, mapas R1-R3). Permanecem por quantificar os trabalhadores informais expostos e os moradores de áreas precárias.
- Cálculo da capacidade de atendimento - 45 unidades: - Capacidade por centro: 250-400 pessoas/unidade (média 300 pessoas) = 13.500 vagas simultâneas - Taxa de ocupação durante eventos extremos: 60-80% (média 70%) = 9.450 pessoas atendidas simultaneamente - Turnos de atendimento: Ondas de calor duram 5-7 dias (média 6 dias), com rotatividade diária de 30% (pessoas permanecem 4-8 horas) = capacidade estendida de 28.350 pessoas/evento (9.450 x 3 turnos/dia) - Eventos por ano: 3-5 ondas de calor (projeções climáticas 2025-2030) = 85.050 atendimentos/ano em média - Cobertura da população vulnerável: 9.450 vagas simultâneas / ~303 mil pessoas em áreas de risco crítico = 3,1% de atendimento direto (foco nos grupos críticos: idosos, crianças, sem-teto) - Cobertura dos grupos prioritários: 9.450 vagas / ~63,4 mil pessoas prioritárias em risco crítico (40,2 mil idosos 60+, 22 mil crianças de 0-4 anos e ~1.200 pessoas em situação de rua) = 14,9% de atendimento prioritário;

- Distribuição territorial indicativa das 45 unidades (critério: população residente em áreas de risco crítico a ondas de calor – mapa de risco recalculado com a população do Censo 2022 –, distribuição proporcional pelo método dos maiores restos; a localização por bairro deve ser definida com os municípios):
    - Alto e Médio Sertão, Baixo São Francisco e Agreste – 45 unidades em 22 municípios: Nossa Senhora da Glória (6), Poço Redondo (5), Porto da Folha (4), Canindé de São Francisco (4), Propriá (4), Carira (3), Aquidabã (2), Monte Alegre de Sergipe (2), Frei Paulo (2) e, com 1 unidade cada, Gararu, Nossa Senhora Aparecida, Ribeirópolis, Japoatã, Cedro de São João, Nossa Senhora de Lourdes, Feira Nova, Pinhão, Nossa Senhora das Dores, Graccho Cardoso, Muribeca, Itabi e Simão Dias;
    - Região Metropolitana de Aracaju e litoral: a exposição a ondas de calor medida pelas estações é baixa; eventual necessidade de abrigos associada à ilha de calor urbana deve ser avaliada com base na temperatura de superfície (LST) e na vulnerabilidade intraurbana, podendo remanejar unidades desta distribuição.
- Infraestrutura dos centros de acolhimento: 1. Climatização: Ar-condicionado central 22-24°C, ventilação forçada, umidificação 50-60% 2. Capacidade: 250-400 pessoas/unidade, cadeiras reclináveis, macas de repouso, área infantil separada 3. Serviços: Hidratação (água potável gelada, soro caseiro, frutas), assistência médica básica (aferição pressão, glicemia, temperatura corporal), acompanhamento psicossocial 4. Acessibilidade: Rampas, sanitários adaptados, sinalização tátil-visual, transporte público próximo (<500m) 5. Fonte de energia: Rede elétrica + gerador diesel backup (autonomia 24h) + painéis solares (redução 40% custos) 6. Comunicação: Integração com sistema de alerta SEMAC (SMS/WhatsApp dispara convocação), placas informativas nas ruas;
- Instalações-base (aproveitamento de infraestrutura existente - 96%): - Escolas públicas (25 unidades - 55%): Climatização de quadras poliesportivas cobertas, disponíveis durante eventos extremos (período noturno/fim de semana) - Centros comunitários (10 unidades - 22%): Reforma e climatização de salões multiuso - Unidades de saúde (5 unidades - 11%): Ampliação de salas de espera com climatização reforçada - Ginásios municipais (3 unidades - 7%): Adequação para recepção emergencial - Construções novas (2 unidades - 4%): municípios do Alto Sertão sem infraestrutura adequada (a definir, prioritariamente N. S. da Glória e Poço Redondo);

- Distribuição de kits de hidratação para populações vulneráveis.

II. Vigilância de doenças sensíveis ao clima:

- Meta: Manter incidência de dengue muito abaixo de 300 casos/100 mil habitantes, limiar epidemiológico para indicar situação de epidemia pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e a OPAS/OMS (Organização Pan-Americana da Saúde);

- Ações:
  - Ampliar vigilância entomológica para dengue, zika, Chikungunya;
  - Mapeamento de áreas de risco com cruzamento climático-epidemiológico;
  - Campanhas antecipadas de eliminação de criadouros.

III. Infraestrutura de saúde climático-adaptada:

- Ações:
  - Climatização de 100% das unidades básicas de saúde (UBS) até 2030;
  - Garantir fornecimento ininterrupto de medicamentos sensíveis ao calor (necessidade de assegurar a continuidade do abastecimento, conservação e disponibilidade de medicamentos que perdem eficácia ou segurança quando expostos a temperaturas elevadas);
  - Capacitar 3.500 profissionais de saúde em doenças relacionadas às condições climáticas. 3.500 profissionais capacitados: A meta baseia-se no quantitativo de profissionais de saúde em Sergipe (CNES/DATASUS 2024) e na necessidade de preparação técnica para diagnóstico e manejo de doenças sensíveis ao clima (doenças por calor extremo, arboviroses, doenças respiratórias, doenças de veiculação hídrica).

IV. Saúde ambiental e qualidade do ar:

- Meta: Reduzir os níveis de poluição atmosférica, medidos a partir de estações de monitoramento da qualidade do ar, em 35%;
- Contextualização da meta: Estudos globais (OMS 2021, Lancet 2023) indicam que cada 10 µg/m³ de aumento em PM2.5 causa: +6-8% mortalidade cardiopulmonar, +15-20% hospitalizações respiratórias infantis, +10-12% exacerbações de asma. Redução de 35% na poluição atmosférica (meta PEMAMC) de 22 µg/m³ para 14 µg/m³ evitaria: 45-60 mortes prematuras/ano, 800-1.200 internações respiratórias/ano, 1.500-2.000 consultas emergenciais/ano;

- **Ação principal**: Implementar o **Plano Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar**, previsto nos anexos deste documento.
- Ações secundárias:
  - Publicação de Alertas de qualidade do ar, acompanhados de recomendações à população: Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado em tempo real, alertas SMS/WhatsApp quando IQAr >100 (moderado) ou >200 (ruim) - Recomendações à população: Evitar exercícios ao ar livre, manter crianças/idosos em ambientes fechados, uso de máscaras N95 em dias críticos;
  - Vigilância epidemiológica: Cruzamento de dados de qualidade do ar com internações respiratórias/cardiovasculares (DATASUS), identificando associações e vulnerabilidades;
  - Gestão de queimadas: Monitoramento integrado com INPE (focos de calor), acionamento de brigadas e controle de emissões.

V. Programa de arborização urbana:

- Meta: 1,2 milhão de árvores plantadas. A meta de arborização massiva visa reduzir o efeito de ilha de calor urbana (ICU), melhorar qualidade do ar, sequestrar carbono e aumentar resiliência climática das cidades sergipanas, com foco na RMA e 10 maiores cidades do interior;
- Contextualização da meta – Déficit de arborização atual: Análise de imagens de satélite Sentinel-2 (2023) e censo arbóreo municipal (Aracaju SEPLAN 2021) indicam:
  - Aracaju: ~180.000 árvores urbanas (0,8 árvore/habitante), cobertura arbórea 12% área urbana;
  - RMA (exceto Aracaju): ~120.000 árvores (0,3 árvore/habitante), cobertura 6%;
  - Interior (10 maiores cidades): ~150.000 árvores (0,4 árvore/habitante), cobertura 8%;
  - TOTAL atual: ~450.000 árvores urbanas;
  - Recomendação OMS: 1 árvore/habitante, cobertura arbórea >30% área urbana;
  - **Déficit**: 1.787.000 árvores (1 árvore por habitante urbano, Censo 2022) - 450.000 (atual) = 1.337.000 árvores.
- Incremento – Meta de 1,2 milhão de árvores: Incremento de 267%: Nova arborização elevará total de 450.000 para 1,65 milhão de árvores (0,9 árvore por habitante urbano), cobertura arbórea de 10% para 28% da área urbana (próximo à meta OMS 30%);
- Distribuição territorial das 1,2 milhão de árvores (2025-2035, 120.000 árvores/ano):

- Aracaju – 480.000 árvores (40%): Vias públicas: 180.000 (calçadas, canteiros centrais, rotatórias); Parques e praças: 120.000 (ampliação Parque da Sementeira, Parque Poxim, criação 8 novos parques); Escolas e equipamentos públicos: 60.000 (180 escolas x 330 árvores); Unidades de saúde: 12.000 (80 UBS/hospitais x 150 árvores); Áreas degradadas/vazios urbanos: 108.000 (reflorestamento urbano);
- RMA (exceto Aracaju) - 360.000 árvores (30%): N. S. do Socorro: 120.000; São Cristóvão: 90.000; Barra dos Coqueiros: 60.000; Laranjeiras: 30.000; outros: 60.000;
- Interior (10 maiores cidades) - 360.000 árvores (30%): Itabaiana: 60.000; Lagarto: 60.000; Estância: 45.000; N. S. da Glória: 36.000; Propriá: 33.000; Tobias Barreto: 30.000; Simão Dias: 24.000; Itabaianinha: 24.000; Campo do Brito: 24.000; Umbaúba: 24.000;
- Espécies selecionadas (critério: nativas, adaptadas ao clima, copa frondosa, crescimento rápido): Nativas da Mata Atlântica (60%): Ipê-amarelo, Ipê-roxo, Pau-brasil, Jatobá, Aroeira, Oiti, Pitangueira, Ingá, Craibeira; Nativas da Caatinga (25%): Angico, Pau-d'arco, Jucá, Sabiá, Pereiro, Juazeiro; Exóticas adaptadas (15%): Nim indiano, Flamboyant, Ficus, Sombreiro (áreas específicas).

A seguir, serão quantificados os impactos benéficos advindos da implementação do Programa de Arborização Urbana, nos moldes previstos anteriormente:

- Redução de temperatura urbana (mitigação ICU):
  - Efeito por árvore: Sombreamento de 30-80 m² (média 50 m²), redução de 2-5°C na área sombreada;
  - Efeito agregado: 1,2 milhões x 50 m² = 60 milhões m² sombreados (60 km² - 12% da área urbana da RMA);
  - Redução média de temperatura urbana: 1,2-1,8°C (estudos comprovam que 25-30% cobertura arbórea reduz ICU em 1-2°C);
  - Impacto na saúde: Redução de 15-25% na mortalidade por calor extremo = 7-11 vidas salvas/ano (de 45 óbitos atuais).
- Sequestro de carbono:
  - Taxa de sequestro: 20-40 kg CO2/árvore/ano (média 30 kg, variável por espécie/idade);
  - Total: 1,2 milhões x 30 kg = 36.000 tCO2/ano sequestradas (equivalente a retirar 7.800 carros de circulação);
  - Alinhamento com meta PEMAMC: Contribuição de 0,66% para meta de redução de emissões (-60% de 8,96 MtCO2e = -5,38 MtCO2e).
- Melhoria da qualidade do ar:

- Deposição foliar de poluentes: 10-20 g PM2.5/árvore/ano (média 15 g) - Total: 1,2 milhões x 15 g = 18 toneladas PM2.5 removidas/ano (0,56% das emissões atuais 3.200 ton);
- Redução de ozônio: Árvores reduzem temperatura, diminuindo formação fotoquímica de ozônio troposférico (-5-10%).

- Conforto térmico e saúde:
  - Redução de demanda energética: Sombreamento de edificações reduz uso de ar-condicionado em 25-40% = economia de 45-70 GWh/ano (R$ 25-40 milhões);
  - Redução de doenças respiratórias: Melhoria da qualidade do ar evita 400-600 internações/ano (R$ 1,5-2 milhões);
  - Saúde mental: Áreas verdes reduzem estresse, ansiedade, depressão em 10-20% (estudos OMS).
- Biodiversidade urbana:
  - Hábitat para fauna: Árvores nativas abrigam 50-150 espécies de aves, insetos polinizadores, mamíferos pequenos;
  - Conectividade ecológica: Corredores arborizados conectam fragmentos florestais remanescentes.
- Gestão de águas pluviais:
  - Interceptação de chuva: Copas interceptam 15-25% da precipitação, reduzindo escoamento superficial e risco de alagamentos;
  - Infiltração: Raízes aumentam permeabilidade do solo em 20-40%, favorecendo recarga de aquíferos.

4.6.3.2.4. Infraestrutura Urbana e Habitação

Desafio: cerca de 303 mil pessoas (13,7% da população) residem em áreas de risco crítico e 822 mil (37,2%) em áreas de risco alto a crítico a ondas de calor.

Estratégias prioritárias:

I. Infraestrutura verde e azul:

- Ações:
  - Criar parques urbanos (1.200 hectares) com função de melhorar o conforto térmico da população (medida de adaptação climática urbana);
  - Implementar 85 km de corredores verdes conectando áreas arborizadas;
  - Revitalizar lagoas e canais urbanos (35 hectares de espelhos d'água).
- Efeito: Redução de 2-5°C na temperatura de superfície.

II. Parques urbanos, telhados e fachadas verdes:

- Situação atual: Sergipe possui ~350 hectares de parques urbanos distribuídos em 75 municípios (levantamento SEMAC/Prefeituras 2023):
    - Aracaju: 180 ha (Parque da Sementeira 45 ha, Parque Poxim 30 ha, Parque da Cidade 25 ha, Parque Augusto Franco 15 ha, Parque Tecnológico 12 ha, outros 53 ha);
    - RMA (exceto Aracaju): 50 ha (São Cristóvão 20 ha, Socorro 15 ha, outros 15 ha);
    - Interior: 120 ha distribuídos em 72 municípios (Itabaiana 18 ha, Lagarto 15 ha, Estância 12 ha, outros 75 ha).
- Déficit crítico: Recomendação OMS de 12 m² de área verde/habitante (equivalente a 1,2 ha/1.000 habitantes). Sergipe urbano (1,787 milhão de hab.) necessitaria ~2.144 ha de parques para atingir o padrão OMS. Déficit atual: ~1.794 ha (83,7%);
- Ações:
    - Incentivar a implantação de 12.000 m² de coberturas verdes em edifícios públicos e privados;
    - Incentivar o alcance de 1.200 hectares de parques urbanos: A meta visa ampliar massivamente as áreas verdes públicas para redução do efeito de ilha de calor urbana (ICU), melhoria da qualidade de vida e acesso equitativo da população a espaços de lazer e convivência;
        - Incremento – Meta de 1.200 ha: Incremento de 343%: Nova área elevará total de 350 ha para 1.550 ha (8,7 m²/habitante, 72% do padrão OMS). Embora ainda distante do ideal, representa avanço significativo considerando restrições orçamentárias e fundiárias.
    - Pintura reflexiva (*cool roofs*) em 45.000 residências de baixa renda.
- Benefício: Redução de 3-5°C na temperatura interna.

III. Habitação climático-resiliente:

- Ações:
    - Programa de retrofit de 8.500 habitações em áreas vulneráveis;
    - Padrões construtivos bioclimáticos em 100% das novas habitações sociais;
    - Sistemas de captação de água de chuva em 15.000 residências.

IV. Drenagem urbana sustentável:

- Ações:
  - Construir 280 jardins de chuva e biovaletas no estado. Os jardins de chuva são depressões paisagísticas vegetadas (30-100 m² cada) que captam, infiltram e filtram águas pluviais de ruas e estacionamentos; as biovaletas são canais vegetados lineares que conduzem e infiltram o escoamento. Ambos reduzem o escoamento superficial, os alagamentos e a poluição hídrica, e melhoram o microclima urbano.
  - Distribuição territorial (critérios: bacias críticas alagamento, densidade impermeabilização >70%, declividade <5%):
    - Aracaju: 150 unidades (Bairros: Industrial – 35, Santa Maria – 30, Bugio – 25, Centro – 20, Siqueira Campos – 15, bairros da Zona Sul – 15, outros – 10);
    - RMA: 80 (Nossa Senhora do Socorro – 40, S. Cristóvão – 25, Barra dos Coqueiros – 15);
    - Interior: 50 (Itabaiana – 12, Lagarto – 10, Estância – 8, outros Municípios – 20).
  - Dimensionamento: 280 jardins x 50 m² médios = 14.000 m² totais, área de captação (contribuição) 10x = 140.000 m² (14 ha impermeabilizados drenados);
  - Localizações prioritárias: Cruzamentos críticos alagamento (80 unidades), estacionamentos públicos (70), praças/parques (60), calçadas largas (50), escolas/UBS (20).
  - Impactos benéficos:
    - Infiltração: 280 jardins x 50 m² x 1.500 mm/ano x 60% infiltração = 12.600 m³/ano (reduz pico vazão 30-50%);
    - Redução alagamentos: Beneficia 140 ha impermeabilizados (35.000 habitantes em bacias críticas);
    - Qualidade da água: Filtra 70-90% sedimentos, 50-70% metais pesados, 40-60% nutrientes antes de atingir rios;
    - Biodiversidade: 280 jardins x 15 espécies vegetais nativas = habitats polinizadores;
    - Temperatura: Evapotranspiração reduz temperatura local em 1-2°C (raio 20-50m);
    - Reduzir risco de inundações em 18 áreas críticas.
- Benefício: Infiltração de 1,2 milhões m³/ano;
- Meta: 85% da população urbana com acesso a áreas verdes (300 m de raio) até 2035 e 100% até 2050, e redução de ilhas de calor em 40% até 2035 (Tabela 22).

4.6.3.2.5. Zonas Costeiras e Ecossistemas Marinhos

Desafio: Elevação do nível do mar de 0,38-0,55 m (SSP1-2.6) a 0,45-0,77 m (SSP2-4.5) até 2100 (Tabela 13) ameaça os 163 km de costa.

Estratégias prioritárias:

I. Proteção costeira baseada em ecossistemas:

- Ações:
  - Restaurar 4.140 hectares de manguezais até 2030: Análise raster do Uso e cobertura do solo_2024_UTM_24_S.tif (MapBiomas Coleção 8, classe 5=Mangue, 6.860x7.619 pixels, EPSG:4326) identificou 21.517,53 ha de manguezais existentes em Sergipe (215,18 km²);
  - Situação atual (MapBiomas 2024):
    - Mangue (classe 5): 21.517,53 ha = 0,98% do território estadual;
    - Apicum (classe 32): 1.386,95 ha (áreas hipersalinas associadas);
    - Restinga arbustiva (classe 50): 5.279,18 ha;
    - Total ecossistemas costeiros vegetados: 28.184 ha.
  - Meta restauração:
    - Incremento: 4.140 ha = +19,2% da área atual de manguezais;
    - Área pós-restauração: 25.657,53 ha (1,17% território).
  - Distribuição territorial (critérios: áreas degradadas mapeadas, conectividade ecológica, potencial hidrológico):
    - Estuário Rio São Francisco (Baixo São Francisco): 1.380 ha (Ilha do Ouro, Brejo Grande, Propriá - maior complexo estuarino);
    - Estuário Rio Sergipe: 1.035 ha (Aracaju, São Cristóvão, Santo Amaro - zona mais urbanizada);
    - Estuário Rio Vaza-Barris: 805 ha (Itaporanga d'Ajuda, São Cristóvão);
    - Estuário Rio Piauí-Fundo-Real: 575 ha (Estância, Indiaroba, Santa Luzia do Itanhy);
    - Estuário Rio Japaratuba: 345 ha (Pirambu, Japaratuba).
  - Impactos quantificados:

- Mitigação climática: 4.140 ha x 6,5 tCO_2e/ha/ano = 26.910 tCO_2e/ano sequestrados (equivalente emissões 11.960 veículos);
- Proteção costeira: 4.140 ha ÷ 200 m de largura média = ~207 km lineares de margens estuarinas e linha de costa protegidos contra ressacas/ondas (redução energia ondas 70-90%, proteção tempestades população 103.500 hab);
- Berçário marinho: +10.350 kg pescado/ano (2,5 kg/ha/ano produção secundária, beneficia 2.760 pescadores artesanais 15 comunidades);
- Filtragem hídrica: 621.000 ton sedimentos/ano retidos (150 ton/ha/ano), melhora qualidade água estuários;
- Biodiversidade: Habitat 85 espécies aves (15 migratórias), 45 peixes, 28 crustáceos, 12 moluscos;
- Turismo: Potencial ecoturismo R$ 3-5 mi/ano (observação aves, trilhas ecológicas).

▪ Conservar 100% dos recifes de coral remanescentes (presentes em locais como a Pedra de Aracaju e a Pedra do Abaís);

▪ Criar 5 áreas marinhas protegidas (12.500 hectares).

o Função: Barreira natural contra ressacas e tempestades.

II. Monitoramento e ordenamento costeiro:

o Ações:

▪ Implementar Sistema de monitoramento de erosão (imagens de satélite + drones);

▪ Atualizar o Zoneamento ecológico-econômico costeiro;

▪ Restringir a ocupação em faixas de risco (100 m da linha d'água).

III. Infraestrutura de proteção:

o Contextualização: Sergipe possui 163 km de linha de costa, dos quais ~85 km são urbanizados (Aracaju 25 km, Barra 15 km, demais municípios 45 km). Estudos erosão costeira (GERGIS/UFS 2018-2022, Projeto Orla MMA 2020) identificam taxa erosão média -0,8 m/ano em 45% da costa, com trechos críticos -2,5 a -4,0 m/ano (perda 150-200m em 50 anos);

o Ações:

▪ Construir 12 km de contenções híbridas (engenharia + natureza): Análise raster sergipe_erosion_vulnerability_1_5.tif (7.419x8.236 pixels, 30m resolução, EPSG:31984, escala 1-5) identificou 137,45

km² de vulnerabilidade classe 3 (Média) ao longo da costa (classes 4-5 não detectadas, indicando que vulnerabilidade crítica se concentra em trechos urbanizados não capturados pelo raster regional);

- Recuperar 25 km de dunas degradadas;
- Engorda de praias nos 5 trechos críticos prioritários (12 km; volume total estimado de 85.000 m³ de areia, a detalhar por trecho em projeto executivo). A engorda de praias (ou *beach nourishment*) é uma intervenção de engenharia costeira que consiste na adição controlada de areia a uma praia que sofre erosão, com o objetivo de repor sedimentos perdidos, alargar a faixa de areia e proteger a linha de costa.

- Seleção dos 12 km prioritários (critérios: taxa erosão >2 m/ano, população exposta >5k hab, infraestrutura pública ameaçada, ausência proteção natural):
  - Aracaju - Atalaia (orla urbana) - 4,0 km
    - Erosão: -3,2 m/ano média últimos 10 anos (perdidos 32m faixa areia);
    - População: 35.000 hab – bairros Atalaia/Coroa do Meio diretamente ameaçados;
    - Infraestrutura: Passarela do Caranguejo, Oceanário, calçadão (R$ 80 mi), rede hoteleira (R$ 250 mi);
    - Solução: Espigões permeáveis (4 unidades x 80m) + recifes artificiais submersos (quebra-ondas -5m) + revegetação dunas frontais (grama-da-praia *Panicum racemosum*).
  - Barra dos Coqueiros - Atalaia Nova - 2,0 km:
    - Erosão: -2,8 m/ano, já perdidos 180 residências (2010-2024);
    - População: 12.000 hab risco iminente (100m da linha erosão);
    - Solução: Diques longitudinais baixos (1,2m altura) + restauração mangue frontal (*Rhizophora mangle* 800 mudas/ha) + gabião vivo (taboa *Typha domingensis*).
  - Estância - Abaís - 2,0 km:
    - Erosão: -4,0 m/ano (maior taxa estado), recuo 60m últimos 15 anos;
    - Impacto: Comunidade pescadores 850 famílias, perda 45 casas, ameaça escola;

- Solução: Quebra-mar emerso (enrocamento 600m) + geotubos (200m) + plantio coqueiros resistentes (*Cocos nucifera*).

- Pirambu - Caueira/Abais - 2,0 km:
  - Erosão: -2,5 m/ano, ameaça vila pescadores (420 famílias);
  - Turismo: Perda faixa areia afeta 18.000 visitantes/ano (queda 35% receita);
  - Solução: Recifes modulares pré-fabricados (concreto ecológico pH 8-9, colonização algas/corais) + *renourishment praial* (15.000 m³ areia dragada canal).
- Indiaroba - Pontal - 2,0 km:
  - Erosão: -3,5 m/ano, deslocamento população ribeirinha;
  - Manguezais: Perda de 12 ha nos últimos 8 anos por avanço do mar;
  - Solução: Diques naturais (sacos areia biodegradável fibra coco) + restauração mangue (1.200 mudas Avicennia/Laguncularia) + elevação terreno +1,2m;
  - Tipologia "contenção híbrida": Combina elementos de engenharia tradicional (25-40%: espigões, diques, quebra-mar) com soluções baseadas natureza (60-75%: restauração dunas, mangues, recifes, revegetação) - reduz custo 30-50% vs. estruturas rígidas puras, aumenta resiliência adaptativa.

IV. Adaptação da pesca artesanal:

- Ações:
  - Trabalhar políticas para Diversificação de meios de vida de 100% dos pescadores até 2035;
  - Potencializar a Aquicultura sustentável (camarão, ostras, peixes);
  - Implantar Seguro-defeso ampliado para períodos de eventos extremos.
- Meta: Nenhuma nova ocupação em áreas sujeitas à inundação permanente com +0,55 m e reassentamento assistido das famílias em risco (incluindo as 180 residências já afetadas na Barra dos Coqueiros) até 2035.

4.6.3.2.6. Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos

Desafio: Perda projetada de 15-25% da funcionalidade da Caatinga e risco de extinção local de 30-45% de espécies endêmicas até 2100.

Estratégias prioritárias:

I. Rede de Unidades de Conservação climático-resiliente:

- Meta: Ampliar área protegida de 5,19% para 11,4% do território estadual até 2035 (136.253 hectares novos);
- Situação atual UCs em Sergipe (análise GIS EPSG:31984): - UCs ESTADUAIS (7): 53.122 ha (2,42%) - APA Litoral Sul 48.095 ha, Marituba 1.753, Grota Angico 2.103, Mata Junco 895, demais 276 ha - UCs FEDERAIS (14): 60.625 ha (2,77%) - APA Litoral Norte 46.145 ha, PARNA Serra Itabaiana 7.999, REBIO Santa Isabel 4.782, RPPN Caju 762, demais 937 ha - TOTAL: 113.747 ha = 5,19% território;
- Distribuição proposta: Caatinga 55.000 ha (nova UC de proteção integral no Alto Sertão – Canindé de São Francisco/Poço Redondo 25k, ampliação do MONA Grota do Angico +8k, ESEC Sertão 12k, RDS Glória 10k), Transição 30.000 ha (ampliação PARNA Itabaiana +6k, ARIE Serras 8k, Corredor Agreste 12k, APA Tabuleiros 4k), Costeira 20.000 ha (ampliação APA Norte +10k/Sul +5k, RESEX Mangue 3k, MONA Dunas 2k); os 31.253 ha restantes serão definidos pela SEMAC até 2027, com base nas Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade reconhecidas pelo Ministério do Meio Ambiente (Portaria MMA nº 463/2018) e nos estudos técnicos e consultas públicas exigidos para a criação de unidades de conservação (Lei nº 9.985/2000, art. 22), priorizando áreas de recarga de aquíferos e corredores ecológicos;
- Ações:
    - Criar UCs (Unidades de Conservação) em áreas prioritárias (conectividade, refúgios climáticos);
    - Implementar planos de manejo em 100% das UCs existentes.

II. Corredores ecológicos:

- Meta: Implementar 5 corredores de biodiversidade conectando fragmentos (250 km);
- Foco: Restaurar zonas de transição Caatinga-Mata Atlântica (hotspot de endemismo);
- Benefício: Permitir migração de espécies em resposta ao clima.

III. Conservação ex-situ:

- Ações:
    - Potencializar banco de sementes com 450 espécies nativas;
    - Centro de reprodução de fauna ameaçada (8 espécies prioritárias-risco de extinção. Ex. Tartaruga-oliva, peixe-boi-marinho);
    - Jardim botânico com coleções de espécies vulneráveis.

IV. Restauração ecológica:

- Meta: Manter 95% das espécies nativas atuais e ampliar área de habitat adequado em 25% até 2030;
- Ações:
  - Restaurar 115.000 hectares de vegetação nativa até 2035 (69.000 mitigação + 46.000 adaptação);
  - Priorizar bacias hidrográficas críticas e zonas de recarga;
  - Métodos de baixo custo (regeneração natural assistida).

4.6.3.3. Síntese das Metas de Adaptação

As metas quantitativas de adaptação climática do PEMAMC-SE, organizadas por setor estratégico e horizonte temporal (2035 e 2050), são consolidadas na Tabela 22, estabelecendo indicadores mensuráveis de progresso.

Tabela 22: Metas Quantitativas de Adaptação do PEMAMC-SE

SETOR	INDICADOR CHAVE	LINHA DE BASE 2024	META 2035	META 2050
Recursos Hídricos	Segurança hídrica (% pop. atendida)	82%	95%	100%
	Perdas em sistemas de abastecimento	60%	25%	15%
Agricultura	Produtividade mantida sob estresse climático	100% (ref.)	95%	90%
	Agricultores com seguro climático	8%	100%	60%
Saúde	Mortes por ondas de calor	45/ano	<18/ano	<5/ano
	Incidência de dengue (casos/100 mil hab)	300	<250	<150
Infraestrutura	População com acesso a áreas verdes	42%	85%	100%
	Redução de ilhas de calor urbanas	0% (ref.)	-40%	-70%
Zonas Costeiras	Área de manguezais restaurados (ha)	0	4.140	5.000
	Comunidades protegidas de ressacas	65%	100%	100%
Biodiversidade	Área protegida (% território)	5,19%	11,4%	17%
	Espécies nativas conservadas	100% (referência)	95%	90%

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.6.4. INTEGRAÇÃO E SINERGIAS MITIGAÇÃO-ADAPTAÇÃO

4.6.4.1. Fundamentos da Abordagem Integrada

As ações climáticas devem ser desenhadas para maximizar benefícios simultâneos em mitigação e adaptação, evitando trade-offs e maladaptações.

Exemplos de sinergias quantificadas:

V. Restauração Florestal (115.000 ha):

a. Mitigação: Remoção de 2,55 milhões tCO_2e (2027-2035) via sequestro de carbono (5,0 tCO_2e/ha.ano × ~505 mil ha·ano acumulados pelo cronograma de implantação 2027-2035 da meta de 115 mil ha);

b. Adaptação: Regulação de microclima (-2°C local), proteção de 1.200 km de margens (meta do §4.6.3.2.1), recarga de aquíferos (+34 milhões m³/ano);

c. Sinergia: Cada hectare restaurado gera duplo benefício mensurável.

VI. Sistemas ILPF (150.000 ha):

VII. Mitigação: Redução de 600 mil tCO_2e/ano (menor emissão por arroba de carne; §4.6.2.2.1);

VIII. Adaptação: Aumento de 40% na resiliência à seca, diversificação de renda (+60%);

IX. Sinergia: Sistemas integrados mais produtivos e menos vulneráveis.

X. Infraestrutura Verde Urbana (1.200 ha de novos parques + 280 jardins de chuva e biovaletas; §4.6.3.2.4):

a. Mitigação: Redução de 35 mil tCO_2e/ano por menor demanda de climatização (emissões evitadas de energia), adicional ao sequestro de 36 mil tCO_2e/ano pela arborização contabilizado no §4.6.3.2.4;

b. Adaptação: Redução de 2-5°C em ilhas de calor, infiltração de 1,2 milhões m³/ano;

c. Sinergia: Investimento único com retornos múltiplos mensuráveis.

XI. Eficiência Hídrica (perdas 60%→25%):

a. Mitigação: Economia de 12 mil MWh/ano em energia de bombeamento = ~0,5 mil tCO_2e/ano (fator médio do SIN de 0,0385 tCO_2/MWh em 2023; valores maiores apenas para bombeamento a diesel);

b. Adaptação: Economia de 65,7 milhões m^3/ano (§4.6.3.2.1) assegura disponibilidade em secas;

c. Sinergia: Redução de custos operacionais + segurança hídrica.

XII. Agricultura de Baixo Carbono (manejo de N):

a. Mitigação: Redução de 180 mil tCO_2e/ano em emissões de N_2O;

b. Adaptação: Melhoria de fertilidade do solo aumenta resiliência a estresses;

c. Sinergia: Menor custo de insumos + maior produtividade.

4.6.4.2. Evitando Maladaptações

Maladaptações são ações de adaptação que inadvertidamente aumentam vulnerabilidades ou emissões.

Exemplos a evitar:

- Ar-condicionado sem eficiência: Climatizar edificações sem isolamento térmico aumenta emissões e vulnerabilidade a apagões;
- Alternativa integrada: Retrofit bioclimático + AC eficiente + energia solar;
- Dessalinização intensiva em carbono: Produção de água via dessalinização com energia fóssil;
- Alternativa integrada: Dessalinização + energia solar + eficiência hídrica;
- Barragens sem gestão ambiental: Infraestrutura hídrica que degrada ecossistemas;
- Alternativa integrada: Barragens + vazão ecológica + restauração de matas ciliares;
- Protocolo de avaliação: Toda ação proposta passa por checklist de maladaptação nas Macro-Câmaras Temáticas.

4.6.4.3. Coordenação Institucional da Integração

O GTMC assegura que todas as ações sejam avaliadas sob perspectiva integrada.

Os mecanismos para assegurar a integração são:

- Macro-Câmaras Temáticas: Avaliam sinergias e trade-offs setoriais;
- Sistema MRV: Monitora indicadores tanto de mitigação quanto adaptação;
- Painel Científico: Valida metodologias de quantificação de sinergias;
- Planos de Ação bienais: Explicitam benefícios integrados de cada ação.

4.7. EIXO 4 – FINANCIAMENTO CLIMÁTICO E INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

O Eixo 4 estabelece a estratégia de mobilização de recursos financeiros e a arquitetura de instrumentos econômicos necessários para viabilizar a implementação das ações previstas nos demais eixos do PEMAMC-SE. A efetividade das políticas climáticas estaduais depende criticamente da estruturação de mecanismos diversificados e sustentáveis de financiamento ao longo dos 25 anos de implementação do Plano (2026-2050).

4.7.1. OBJETIVO GERAL DO EIXO 4

Estruturar e consolidar mecanismos de financiamento climático que garantam recursos sustentáveis e equitativos para implementação integral do PEMAMC-SE, mediante diversificação de fontes (orçamento estadual, fundos nacionais e internacionais, setor privado, mercado de carbono), implementação de instrumentos financeiros inovadores e garantia de aplicação prioritária em ações com maior custo-efetividade climática e benefícios para populações vulneráveis.

4.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral de estruturação do financiamento climático estadual desdobra-se em objetivos específicos que contemplam tanto a institucionalização dos mecanismos financeiros quanto as estratégias de captação e aplicação de recursos.

Estes objetivos abrangem a operacionalização do aparato institucional (Fundo Estadual de Mudanças Climáticas), o estabelecimento de linhas de captação diversificadas junto a múltiplas fontes, a implementação de instrumentos econômicos indutores de comportamentos sustentáveis e a garantia de eficiência na execução dos recursos.

A diversificação de fontes busca reduzir dependência de canais únicos de financiamento, mitigando riscos fiscais e assegurando previsibilidade orçamentária mesmo em cenários de instabilidade econômica ou política.

- Estruturação institucional: Operacionalizar Fundo Estadual de Mudanças Climáticas (FEMC-SE) com governança participativa e critérios transparentes de aplicação;
- Captação orçamentária: Assegurar recursos estaduais crescentes mediante alocação setorial e dotações específicas ao FEMC-SE;
- Captação externa: Acessar fundos nacionais e internacionais mediante desenvolvimento de capacidade técnica de elaboração de propostas e gestão de projetos;
- Mercado de carbono: Desenvolver metodologias e certificação para geração de receitas mediante comercialização de créditos de carbono de projetos florestais, energéticos e agropecuários;
- Mobilização privada: Atrair investimentos privados via instrumentos de parceria público-privada, incentivos fiscais e mecanismos de redução de risco;
- Instrumentos econômicos: Implementar tributação verde, subsídios direcionados e sistemas de pagamento por serviços ambientais que incentivem transição climática;
- Gestão eficiente: Assegurar execução orçamentária superior a 85% mediante capacitação técnica, desburocratização e monitoramento contínuo.

4.7.3. ARQUITETURA DE FONTES DE FINANCIAMENTO

A sustentabilidade financeira do PEMAMC-SE fundamenta-se na estruturação de arquitetura diversificada de fontes, equilibrando recursos orçamentários estaduais, captação junto a fundos nacionais e internacionais, participação do setor privado e receitas de mercado de carbono. Esta diversificação reduz vulnerabilidades fiscais, distribui riscos entre múltiplos canais de financiamento e amplia a base de recursos disponíveis para ações climáticas de longo prazo.

4.7.4. FONTES DE FINANCIAMENTO

4.7.4.1. Orçamento Público-Estadual

A sustentação orçamentária das políticas climáticas estaduais requer compromisso crescente de alocação de recursos no orçamento anual, tanto mediante destinações setoriais (cada secretaria incorpora critério climático em seus programas) quanto por meio de dotações específicas ao Fundo Estadual de Mudanças Climáticas. Este

comprometimento orçamentário demonstra priorização política da agenda climática e viabiliza contrapartidas necessárias para acessar fundos externos.

4.7.4.2. Mecanismos de alocação

I. Alocação orçamentária setorial:

Cada secretaria estadual incorpora progressivamente critério climático em seus programas e projetos, destinando percentual crescente do orçamento para ações de mitigação, adaptação ou redução de vulnerabilidades;

II. Fundo Estadual de Mudanças Climáticas (FEMC-SE):

Criação a ser regulamentada com fundamento na Lei nº 9.364/2024, com receitas oriundas de dotação orçamentária anual, compensações ambientais, multas da ADEMA e eventuais receitas próprias (taxa de serviços ambientais);

III. Contrapartidas para captação externa:

Recursos estaduais alocados como contrapartida obrigatória (tipicamente 10-20% do valor total) para acesso a fundos federais e internacionais, ampliando capacidade de captação.

4.7.4.3. Fundos Federais

O acesso a recursos federais constitui componente estratégico do financiamento climático estadual, demandando capacidade técnica de elaboração de propostas, alinhamento com diretrizes dos fundos nacionais e demonstração de capacidade de execução mediante sistema MRV consolidado.

Principais fundos nacionais:

- Fundo Clima (BNDES): Linhas de crédito subsidiado para projetos de mitigação (energia renovável, eficiência energética, mobilidade de baixo carbono) e adaptação (infraestrutura hídrica, resiliência urbana), com taxas de juros inferiores ao mercado e prazos estendidos de amortização;
- Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC/MMA): Recursos não-reembolsáveis destinados prioritariamente a ações de adaptação em populações vulneráveis, incluindo segurança hídrica, agricultura familiar resiliente e fortalecimento de sistemas de saúde frente a riscos climáticos;
- Fundo Amazônia / Fundo Mata Atlântica: Financiamento específico para conservação florestal, restauração de ecossistemas nativos e sistemas

agroflorestais, com foco em proteção da biodiversidade e serviços ecossistêmicos;

- Programa ABC+ (Agricultura de Baixo Carbono): Crédito rural subsidiado para adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), recuperação de pastagens degradadas, plantio direto e fixação biológica de nitrogênio;
- Programas federais de infraestrutura (Novo PAC – Programa de Aceleração do Crescimento): Recursos para obras de segurança hídrica (barragens, adutoras, estações de tratamento), mobilidade urbana sustentável (corredores BRT, ciclovias) e drenagem urbana adaptada a eventos extremos;
- Requisitos de acesso: Sistema MRV operacional, capacidade técnica de elaboração de propostas (Unidade de Gestão de Projetos), demonstração de resultados mensuráveis, contrapartida financeira estadual, alinhamento com NDC brasileira.

4.7.4.4. Fundos Internacionais

A captação de recursos junto a fundos climáticos internacionais amplia significativamente a base financeira do PEMAMC-SE, embora demande capacitação técnica avançada, cumprimento de salvaguardas socioambientais e demonstração de sistemas robustos de monitoramento e transparência.

Principais fontes internacionais:

- Green Climate Fund (GCF): Maior fundo multilateral do clima, vinculado à UNFCCC, com foco prioritário em países e regiões vulneráveis, financiando projetos de adaptação (zonas costeiras, saúde climática, segurança alimentar) e mitigação transformacional;
- Banco Mundial / Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID): Empréstimos concessionais e doações para projetos de infraestrutura resiliente, energia limpa, gestão de recursos hídricos e fortalecimento institucional de governança climática;
- Cooperação bilateral (GIZ, KfW, AFD, USAID): Recursos de agências de cooperação internacional, especialmente alemã, francesa e estadunidense, direcionados a temas específicos como energia renovável, restauração florestal e adaptação baseada em ecossistemas;
- Adaptation Fund: Fundo específico para adaptação climática em comunidades vulneráveis, com procedimentos simplificados de acesso e ênfase em projetos liderados localmente;
- Climate Bonds e Green Bonds: Títulos verdes emitidos em mercados financeiros internacionais, atraindo investidores institucionais interessados em carteiras sustentáveis, exigindo certificação de terceira parte e aplicação comprovada em projetos de baixo carbono;

- Exigências críticas: Sistema MRV de alta qualidade, transparência fiscal, salvaguardas socioambientais certificadas, capacidade de gerenciamento fiduciário, demonstração de cobenefícios sociais, consulta prévia a comunidades afetadas.

4.7.4.5. Mercado de Carbono

A monetização de reduções e remoções de emissões mediante comercialização de créditos de carbono representa fonte complementar de financiamento, condicionada ao desenvolvimento de metodologias certificadas, consolidação de mercados regulados e voluntários e manutenção de preços remuneradores.

Alguns mecanismos para a geração de créditos de carbono:

- Créditos florestais: Projetos de reflorestamento e restauração florestal geram créditos mediante sequestro de CO_2 atmosférico pela biomassa vegetal, certificados por padrões reconhecidos (Verra VCS, Gold Standard) e comercializados em mercados voluntários ou no futuro Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE);
- Créditos de energias renováveis: Geração de energia solar e eólica que substitui fontes fósseis evita emissões, gerando créditos certificados, embora elegibilidade dependa de adicionalidade (projeto não ocorreria sem receita de carbono) e baseline conservador;
- Créditos agropecuários: Sistemas ILPF, recuperação de pastagens e práticas de baixo carbono reduzem emissões de metano entérico e óxido nitroso, gerando créditos mediante metodologias específicas em desenvolvimento no Brasil;
- Estratégia de mercado: Sergipe priorizará certificação em mercados voluntários de alta integridade (Verra, Gold Standard) até consolidação do SBCE, estabelecerá parcerias com agregadores e brokers especializados, e utilizará receitas como complemento (não substituição) de financiamento público;
- Riscos e incertezas: Volatilidade de preços (US$ 5-50/tCO_2e conforme mercado e qualidade), custos de certificação e monitoramento, períodos de carência até emissão de créditos (3-5 anos para projetos florestais), competição com outros estados e países.

4.7.4.6. Setor Privado

A mobilização de investimentos privados constitui componente essencial do financiamento climático, viabilizada mediante instrumentos de parceria público-privada, redução de riscos regulatórios e financeiros, e alinhamento de incentivos econômicos com objetivos climáticos.

Mecanismos para a atração da iniciativa privada:

- Parcerias Público-Privadas (PPPs): Concessões e contratos de longo prazo para infraestrutura de mobilidade elétrica (rede de recarga), gestão de resíduos com geração de energia, sistemas de energia solar em edificações públicas e infraestrutura hídrica resiliente;
- Incentivos fiscais: Redução de ICMS para tecnologias limpas, redução de IPVA para veículos elétricos, crédito presumido para empresas que reduzem emissões, criando atratividade econômica para investimentos verdes;
- Responsabilidade socioambiental corporativa: Grandes empresas aportam recursos voluntários em projetos de compensação de emissões (restauração florestal, energia solar comunitária), fortalecendo imagem institucional e cumprindo compromissos ESG;
- Fundos de investimento privados: Atração de fundos de private equity, fundos de infraestrutura (FIP), Certificados de Recebíveis do Agronegócio (CRA) e Imobiliários (CRI) focados em ativos verdes, mediante redução de riscos regulatórios e demonstração de retornos ajustados;
- Garantias públicas: Estado pode prover garantias parciais que reduzem risco de crédito de projetos climáticos, ampliando acesso a financiamento privado a custos menores.

4.7.5. INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

A indução de comportamentos e investimentos alinhados com objetivos climáticos requer não apenas disponibilidade de recursos financeiros, mas também implementação de instrumentos econômicos que modifiquem estrutura de incentivos, tornando atividades de baixo carbono economicamente atrativas e penalizando gradualmente práticas insustentáveis. Esta seção descreve os instrumentos fiscais, de mercado e regulatórios que compõem a estratégia econômica do PEMAMC-SE.

4.7.5.1. Instrumentos Fiscais

4.7.5.1.1. Tributação Verde

A tributação ambiental alinha o sistema fiscal estadual com objetivos climáticos, internalizando custos ambientais em preços de bens e serviços intensivos em carbono e criando vantagens competitivas para alternativas sustentáveis. A implementação é faseada (2027-2030) para permitir adaptação de agentes econômicos.

I. ICMS Ecológico ampliado:

Expansão do critério climático nos repasses de ICMS aos municípios, valorizando ações locais de conservação florestal, redução de desmatamento, eficiência energética municipal e implementação de planos municipais de mudança do clima;

II. IPVA diferenciado:

Redução de 50% para veículos elétricos e híbridos plug-in (já implementado desde 2023), com possível adicional progressivo para veículos com emissões acima de limiares estabelecidos, induzindo renovação de frota;

III. ICMS reduzido para tecnologias limpas:

Alíquota diferenciada (12% versus a alíquota modal de 19%, acrescida de 1% do FECOEP, vigente em Sergipe desde 01/07/2023; era de 18% até 2022) para equipamentos de geração solar fotovoltaica, baterias de armazenamento, veículos elétricos, aquecedores solares e tecnologias de eficiência energética certificadas.

4.7.5.1.2. Subsídios e Incentivos Diretos

A redução de barreiras econômicas de acesso a tecnologias limpas, especialmente para populações de baixa renda, requer subsídios diretos que viabilizem adoção massiva de soluções de baixo carbono.

I. Programa SE Solar:

Subsídio percentual do custo de instalação de sistemas fotovoltaicos residenciais para famílias de baixa renda (0-3 salários-mínimos), reduzindo barreira de investimento inicial e garantindo acesso equitativo à geração distribuída;

II. Bônus de Eficiência Hídrica:

Desconto tarifário para consumidores residenciais e comerciais que demonstrem redução sustentada de consumo de água superior a patamar definido, incentivando uso racional do recurso hídrico em contexto de escassez crescente;

III. Crédito rural subsidiado para agricultura de baixo carbono:

Taxas de juros preferenciais para produtores rurais que adotem sistemas integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, recuperação de pastagens degradadas e sistemas agroflorestais.

4.7.5.2. Instrumentos de Mercado

4.7.5.2.1. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)

A remuneração de proprietários rurais e comunidades que conservam, restauram ou manejam sustentavelmente recursos naturais reconhece a externalidade positiva gerada e cria fluxo de renda compatível com uso sustentável da terra.

I. PSA Florestal:

Pagamento anual por hectare para proprietários que mantêm florestas nativas conservadas acima de obrigação legal (Reserva Legal e APP), com valores diferenciados conforme grau de conservação e presença de espécies ameaçadas;

II. PSA Hídrico:

Pagamento para recuperação e manutenção de matas ciliares em bacias hidrográficas prioritárias para abastecimento urbano, reconhecendo serviço de produção e regulação hídrica;

III. PSA Carbono:

Remuneração adicional para projetos que demonstrem sequestro ou redução de emissões certificado, complementando receita de mercado de carbono com pagamento público baseado em cobenefícios sociais.

4.7.5.2.2. Leilões Reversos e Fundos Rotativos

O mecanismo de leilão reverso para contratação de serviços de restauração florestal e conservação permite ao Estado obter menores preços mediante competição entre ofertantes, otimizando uso de recursos públicos. Com efeito, os leilões reversos ocorrem quando os fornecedores (prestadores de serviço) apresentam propostas de preço decrescente para realizar um serviço.

- Restauração Florestal Competitiva: Governo define áreas prioritárias, metas de restauração e orçamento disponível; proprietários rurais e empresas apresentam propostas com menores preços por hectare restaurado, vencendo aqueles que oferecem maior eficiência;
- Fundos Rotativos: Mecanismos de financiamento que recuperam investimento inicial mediante retorno gerado pela intervenção (economia de energia, venda de produção), realimentando o fundo para novas operações, ampliando alcance sem necessidade de aportes contínuos;
- Fundo de Eficiência Energética: Financiamento sem juros ou com juros subsidiados para retrofit energético de edificações (isolamento térmico,

iluminação LED, climatização eficiente, energia solar), com retorno mediante economia mensal na conta de energia ao longo de período definido.

4.7.5.3. Instrumentos Regulatórios Indutores

- Cotas de energias renováveis: Exigência progressiva de percentual mínimo de energia renovável na matriz de grandes consumidores comerciais e industriais;
- Normas de eficiência para edificações públicas: Obrigatoriedade de certificação de eficiência energética (etiquetagem PROCEL Edifica nível A) para novas construções e reformas de edificações públicas estaduais;
- Compras públicas sustentáveis: Critérios de preferência climática em licitações (menor pegada de carbono, produtos certificados, empresas com inventário GEE) representando percentual mínimo de pontuação técnica.

4.7.6. GOVERNANÇA FINANCEIRA

A gestão eficiente, transparente e participativa dos recursos financeiros destinados à implementação do PEMAMC-SE constitui condição essencial para legitimidade social do Plano, efetividade na aplicação de recursos e accountability perante sociedade, órgãos de controle e financiadores externos. Esta seção descreve a arquitetura institucional de governança financeira do Plano.

4.7.6.1. Estrutura Institucional

4.7.6.1.1. Fundo Estadual de Mudanças Climáticas (FEMC-SE)

Instrumento financeiro a ser criado pela Lei nº 9.364/2024, com personalidade contábil própria e governança participativa, destinado a centralizar, alocar e monitorar recursos dedicados a ações climáticas estaduais.

- Gestão: Conselho Gestor composto por nove membros (cinco representantes governamentais de diferentes secretarias setoriais e quatro representantes da sociedade civil indicados pelo segmento não governamental do CEEMC-SE), com mandatos de dois anos, garantindo pluralidade de perspectivas e controle social;
- Atribuições: Aprovação de planos anuais de aplicação de recursos baseados em critérios técnicos de custo-efetividade e priorização de populações vulneráveis; seleção de projetos mediante chamadas públicas transparentes; monitoramento trimestral de execução física e financeira; avaliação anual de impactos e efetividade climática;
- Receitas: Dotação orçamentária anual definida na Lei Orçamentária Anual (LOA); compensações ambientais de empreendimentos licenciados; multas

aplicadas pela ADEMA relacionadas a infrações ambientais; eventuais taxas de serviços ambientais; receitas de comercialização de créditos de carbono de projetos públicos estaduais;

- Aplicação: Recursos aplicados prioritariamente em ações com maior razão custo-efetividade climática (tCO_2e evitado ou removido por real investido) e maior benefício para populações em situação de vulnerabilidade socioambiental.

4.7.6.1.2. Unidade de Gestão de Projetos (Secretaria Executiva do CEEMC-SE)

Equipe técnica especializada responsável por prospecção de oportunidades de financiamento externo, elaboração de propostas de qualidade para fundos nacionais e internacionais, e gestão do portfólio de projetos em execução.

- Composição: Equipe permanente de seis a oito profissionais com expertise em elaboração de propostas para fundos climáticos, gerenciamento de projetos complexos, monitoramento de indicadores e prestação de contas a financiadores internacionais;
- Atribuições: Mapeamento contínuo de editais e oportunidades de financiamento climático em âmbitos federal e internacional; elaboração de propostas técnicas de alta qualidade alinhadas com requisitos específicos de cada financiador (GCF, Banco Mundial, GIZ); coordenação da execução de projetos aprovados, assegurando cumprimento de cronogramas, metas e salvaguardas; prestação de contas financeira e técnica aos financiadores; disseminação de aprendizados e boas práticas;
- Meta de desempenho: Capacidade de gestão simultânea de 15 a 20 projetos de médio e grande porte (acima de R$ 5 milhões), suficiente para acumular os 30 a 40 projetos externos aprovados até 2035 previstos na Tabela 23, dado o ciclo médio de 3 a 5 anos por projeto, com taxa de aprovação de propostas superior a 30% (referência internacional: 20-25%).

4.7.6.1.3. Mecanismos de Transparência e Controle Social

A legitimidade do sistema de financiamento climático depende fundamentalmente de transparência radical na captação, alocação e execução de recursos, permitindo monitoramento pela sociedade civil e órgãos de controle.

- Portal de Transparência Climática (clima.se.gov.br): Plataforma digital de acesso público com publicação trimestral de recursos captados por fonte, recursos executados por eixo estratégico e projeto, indicadores de execução física e financeira, lista completa de projetos financiados com valores e responsáveis, e relatórios anuais de avaliação de impactos;
- Auditoria independente: Contratação anual de empresa de auditoria externa certificada para avaliação de conformidade de procedimentos financeiros, execução orçamentária e aderência a requisitos de financiadores, com publicação integral dos relatórios;

- Audiências públicas: Realização semestral de audiências públicas sobre execução financeira do PEMAMC-SE, com prestação de contas do Conselho Gestor do FEMC-SE, apresentação de resultados físicos e climáticos alcançados, e recepção de questionamentos e sugestões da sociedade civil;
- Acesso facilitado: Disponibilização de dados em formato aberto (CSV, JSON) permitindo análises independentes por observatórios da sociedade civil, universidades e mídia especializada.

4.7.7. INDICADORES E METAS DO EIXO 4

O monitoramento da efetividade da estratégia de financiamento climático requer conjunto de indicadores que mensuram tanto a capacidade de mobilização de recursos quanto a eficiência de sua aplicação e os resultados climáticos gerados por real investido. Os indicadores foram organizados em três dimensões: mobilização de recursos, eficiência de execução e efetividade climática.

4.7.7.1. Dimensão 1 – Mobilização de Recursos

- Capitalização do FEMC-SE: Saldo acumulado no Fundo Estadual de Mudanças Climáticas como indicador de sustentabilidade financeira institucional do sistema de governança climática estadual;
- Projetos aprovados em fundos externos: Número de propostas aprovadas em fundos climáticos nacionais e internacionais, demonstrando capacidade técnica de acesso a recursos competitivos;
- Diversificação de fontes: Percentual de recursos provenientes de fontes não-orçamentárias estaduais (fundos externos, mercado de carbono, setor privado), indicando redução de dependência fiscal.

4.7.7.2. Dimensão 2 – Eficiência de Execução

- Taxa de execução orçamentária: Percentual de recursos efetivamente desembolsados em relação aos recursos orçados para ações climáticas, indicador crítico de capacidade operacional de implementação;
- Tempo médio de aprovação de projetos: Prazo entre submissão de proposta ao FEMC-SE e aprovação final, medindo agilidade decisional e desburocratização;
- Custo de transação: Percentual de recursos destinados a custos administrativos, de gestão e monitoramento, versus recursos efetivamente aplicados em ações climáticas diretas.

4.7.7.3. Dimensão 3 – Efetividade Climática

- Razão custo-efetividade de mitigação: Custo médio por tonelada de CO_2 equivalente evitado ou removido (R$/$tCO_2e$), permitindo comparação entre diferentes tipologias de projetos e identificação de intervenções mais eficientes;
- Razão benefício-custo de adaptação: Valor presente líquido de danos climáticos evitados dividido pelo custo de intervenções de adaptação, mensurado em projetos de infraestrutura resiliente e sistemas de alerta precoce;
- Percentual de investimento em populações vulneráveis: Proporção de recursos destinados a ações em territórios de alta vulnerabilidade climática e para populações de baixa renda, garantindo equidade climática.

Na Tabela 23, são apresentadas as metas por horizonte temporal.

Tabela 23: Metas por Horizonte Temporal

INDICADOR	META 2027	META 2030	META 2035
Capitalização FEMC-SE	Operacional	Consolidado	Robusto
Projetos externos aprovados	5-8 projetos	15-20 projetos	30-40 projetos
Taxa de execução orçamentária	≥ 70%	≥ 85%	≥ 90%
Diversificação de fontes	30% não-estadual	50% não-estadual	60% não-estadual
Custo-efetividade mitigação	< R$ 100/tCO_2e	< R$ 80/tCO_2e	< R$ 60/tCO_2e
Investimento em vulneráveis	≥ 20%	≥ 30%	≥ 35%

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

As metas quantitativas de mobilização financeira foram deliberadamente omitidas desta versão do Plano, por opção metodológica deste Plano (ver §6.3), com o objetivo de evitar compromissos fiscais específicos que possam conflitar com autonomia orçamentária e trajetória fiscal do estado. As metas apresentam caráter qualitativo e de eficiência, sem vinculação a valores absolutos de captação.

4.7.8. GESTÃO DE RISCOS FINANCEIROS

A sustentabilidade de longo prazo da estratégia de financiamento climático requer identificação antecipada de riscos potenciais e estabelecimento de mecanismos de mitigação que assegurem continuidade de recursos mesmo em cenários adversos. Esta seção apresenta os principais riscos financeiros identificados e as estratégias de mitigação correspondentes.

4.7.8.1. Risco 1: Instabilidade Fiscal Estadual

- Descrição: Crises econômicas, queda de arrecadação ou pressões fiscais podem reduzir capacidade de aporte público estadual em ações climáticas, comprometendo implementação do Plano e cumprimento de contrapartidas necessárias para acessar fundos externos;
- Probabilidade: Média-Alta (ciclos econômicos são recorrentes);
- Impacto: Alto (recursos estaduais representam base fundamental do financiamento);
- Estratégias de mitigação:
  - Diversificação máxima de fontes, reduzindo dependência de orçamento estadual;
  - Priorização de captação de recursos não-reembolsáveis de fundos externos;
  - Vinculação legal de receitas específicas ao FEMC-SE (compensações, multas);
  - Manutenção de reserva de contingência (6-12 meses de operação básica).

4.7.8.2. Risco 2: Volatilidade do Mercado de Carbono

- Descrição: Preços de créditos de carbono apresentam alta volatilidade, podendo cair para níveis não-remuneradores (abaixo de US$ 5/tCO_2e), reduzindo atratividade de projetos baseados nesta receita;
- Probabilidade: Média (mercados em consolidação apresentam instabilidade);
- Impacto: Médio (receita de carbono representa fonte complementar, não principal);
- Estratégias de mitigação:
  - Não dependência de receita de carbono como fonte estruturante (máximo 8% do total);
  - Diversificação de compradores e mercados (voluntário + regulado);
  - Contratos de longo prazo com preços mínimos garantidos quando disponíveis;
  - Foco em projetos com múltiplos cobenefícios além da receita de carbono.

4.7.8.3. Risco 3: Baixa Capacidade de Execução Orçamentária

- Descrição: Dificuldades técnicas, entraves burocráticos, insuficiência de equipes ou processos ineficientes podem resultar em baixa taxa de execução

dos recursos orçados, gerando devolução de recursos e perda de credibilidade;

- Probabilidade: Média (desafio comum em projetos ambientais complexos);
- Impacto: Alto (reduz efetividade e compromete acesso futuro a fundos externos);
- Estratégias de mitigação:
  - Fortalecimento da Unidade de Gestão de Projetos com profissionais especializados;
  - Capacitação contínua de equipes técnicas em gestão de projetos complexos;
  - Simplificação e desburocratização de processos de contratação e execução;
  - Monitoramento mensal de execução com intervenções corretivas tempestivas;
  - Implementação de sistemas digitais de gestão de projetos (PMO).

4.7.8.4. Risco 4: Dificuldade de Acesso a Fundos Internacionais

- Descrição: Exigências técnicas elevadas, competição com outros estados e países, requisitos complexos de salvaguardas e compliance podem dificultar aprovação de propostas em fundos climáticos internacionais;
- Probabilidade: Média-Alta (taxas de aprovação típicas são 20-30%);
- Impacto: Médio-Alto (fundos internacionais representam fonte significativa);
- Estratégias de mitigação:
  - Investimento prioritário em sistema MRV robusto (pré-requisito para maioria dos fundos);
  - Parcerias com consultorias especializadas em elaboração de propostas internacionais;
  - Desenvolvimento de portfólio diversificado de projetos em diferentes estágios;
  - Participação em redes de cooperação sul-sul para aprendizado mútuo;
  - Acreditação estadual junto a fundos climáticos (*National Implementing Entity* – NIE).

4.7.8.5. Risco 5: Descontinuidade Política

- Descrição: Mudanças de governo ou prioridades políticas podem resultar em redução de compromisso com agenda climática, desmobilização de estruturas institucionais ou realocação de recursos;

- Probabilidade: Baixa-Média (agenda climática tem respaldo legal via Lei nº 9.364/2024);
- Impacto: Muito Alto (comprometeria todo o PEMAMC-SE);
- Estratégias de mitigação:
  - Institucionalização via lei estadual (já realizado: Lei nº 9.364/2024);
  - Governança participativa com controle social forte (CEEMC-SE, FEMC-SE);
  - Demonstração contínua de resultados tangíveis à sociedade (legitimação social);
  - Alinhamento com compromissos federais e internacionais (NDC, Acordo de Paris);
  - Construção de coalizões multipartidárias em torno da agenda climática.

4.7.8.6. Princípio de Gestão Fiscal Responsável:

Recursos do FEMC-SE e de fundos climáticos externos constituem fontes adicionais e complementares, não substituindo ou reduzindo orçamentos ordinários de secretarias setoriais para ações em suas áreas de competência. O financiamento climático deve alavancar e ampliar investimentos, nunca substituir responsabilidades orçamentárias preexistentes.

4.8. EIXO 5 – JUSTIÇA CLIMÁTICA E INCLUSÃO SOCIOAMBIENTAL

O Eixo de Justiça Climática fundamenta-se no reconhecimento ético, jurídico e científico de que as Mudanças Climáticas antropogênicas manifestam e amplificam desigualdades sociais, raciais, econômicas e territoriais preexistentes. Tais mudanças impactam de forma desproporcionalmente severa populações e comunidades que historicamente contribuíram minimamente para emissões acumuladas de gases de efeito estufa, mas que se encontram em situação de maior vulnerabilidade devido a múltiplas privações estruturais — incluindo pobreza, precariedade habitacional, insegurança alimentar e hídrica, acesso limitado a serviços básicos, exclusão de processos decisórios, discriminação sistêmica — que comprometem sua capacidade adaptativa e resiliência frente a choques climáticos.

Este reconhecimento ancora-se em corpo crescente de evidências empíricas documentadas em literatura científica internacional e nacional (Bullard, 1990; Schlosberg, 2007; Marengo et al., 2020) demonstrando que eventos climáticos extremos — particularmente ondas de calor, secas, inundações — produzem morbimortalidade, perdas econômicas e traumas psicossociais significativamente maiores em comunidades

de baixa renda, periferias urbanas, assentamentos informais, zonas rurais empobrecidas e territórios de povos e comunidades tradicionais (quilombolas, indígenas, pescadores artesanais, agricultores familiares), configurando aquilo que a literatura socioambiental denomina “racismo ambiental” ou “injustiça ambiental” — distribuição inequitativa de riscos ambientais e acesso desigual a recursos naturais e benefícios de políticas públicas segundo linhas de estratificação social, racial e espacial.

4.8.1. CONCEITOS E PRINCÍPIOS

O termo Justiça Climática implica:

- Distribuição equitativa de ônus e benefícios: Populações de baixa renda, comunidades tradicionais, mulheres, crianças, idosos e pessoas com deficiência não podem arcar desproporcionalmente com custos da transição climática, nem serem excluídas de benefícios de políticas de mitigação e adaptação;
- Participação significativa: Grupos vulneráveis devem ter voz ativa em decisões sobre políticas climáticas que os afetam, com processos participativos culturalmente apropriados e acessíveis;
- Reparação de injustiças históricas: Reconhecimento de que desigualdades socioeconômicas e ambientais pré-existentes (racismo ambiental, exclusão territorial, falta de acesso a serviços básicos) amplificam vulnerabilidade climática;
- Direitos humanos e dignidade: Ação climática deve proteger direitos fundamentais (vida, saúde, água, alimentação, moradia, cultura) e garantir condições dignas de existência.

4.8.2. POVOS E POPULAÇÕES VULNERÁVEIS EM SERGIPE

A caracterização das populações em situação de vulnerabilidade climática no Estado de Sergipe fundamenta-se em diagnóstico socioterritorial multidimensional que integra dados do Censo Demográfico 2022 (IBGE), bases georreferenciadas de assistência social (CadÚnico), registros de saúde pública, mapeamentos de comunidades tradicionais (FUNAI, INCRA, SPU) e indicações da experiência empírica de atores sociais e gestores públicos. Este diagnóstico identifica cinco categorias principais de populações prioritárias para as ações de justiça climática, considerando tanto a dimensão quantitativa (número de pessoas afetadas) quanto qualitativa (intensidade e múltiplas facetas da vulnerabilidade).

As seções seguintes detalham, para cada categoria, a dimensão demográfica, as vulnerabilidades climáticas específicas identificadas e os impactos climáticos diferenciados já evidenciados ou projetados.

4.8.2.1. População de Baixa Renda

- Dimensão: cerca de 1,10 milhão de pessoas inscritas no Cadastro Único com renda familiar per capita de até meio salário-mínimo, das quais 794 mil em situação de pobreza (MDS/SAGI, setembro de 2026; 1,43 milhão de pessoas inscritas no total) — critério de renda distinto do IVS por setor censitário, que indica ~1,38 milhão de pessoas em setores de vulnerabilidade Alta e Muito Alta (§3.1.3.2);
- Vulnerabilidades: (Censo Demográfico 2022/IBGE):
  - Acesso à água: 11,9% dos domicílios do estado (93.075, urbanos e rurais) sem ligação à rede geral de distribuição (na população urbana, a cobertura é de 92,9%, §3.1.3.1), dependendo de fontes alternativas (poços: 6,2%, carro-pipa: 1,7%, outras: 4,1%);
  - Exposição climática: Alta exposição a ondas de calor em áreas urbanas periféricas densas e assentamentos informais; vulnerabilidade ampliada por deficiências de infraestrutura (saneamento, drenagem, arborização);
  - Condições habitacionais: Concentração em áreas de risco (encostas, várzeas), exposição a ilhas de calor urbanas (magnitude a caracterizar por temperatura de superfície – LST), ventilação inadequada em moradias precárias.
- Impactos climáticos: Ondas de calor causam 2,8 vezes mais mortes em bairros pobres vs áreas nobres; perda de 15% da renda familiar em anos de seca severa.

4.8.2.2. Agricultores Familiares e Trabalhadores Rurais

- Dimensão: cerca de 72.060 estabelecimentos de agricultura familiar (77,3% dos 93.275 estabelecimentos agropecuários – Censo Agropecuário 2017; COSTA; CARVALHO, 2020), produzindo 45% dos alimentos consumidos no estado;
- Vulnerabilidades: 72% dependem exclusivamente de chuva (sem irrigação), na agricultura de sequeiro, 55% sem acesso a crédito rural, 48% sem assistência técnica;
- Impactos climáticos: Perda média de 35% da safra em anos de seca, endividamento, migração forçada para áreas urbanas.

4.8.2.3. Comunidades Tradicionais

Dimensão:

- Quilombolas: 28.008 pessoas em 9.923 domicílios, distribuídas em 132 localidades quilombolas mapeadas (IBGE, 2019), das quais 38 comunidades possuem certificação da Fundação Cultural Palmares;
- Indígenas: 3.441 pessoas em 1.747 domicílios, distribuídas em 4 localidades indígenas (IBGE, 2019). Sergipe possui 1 Terra Indígena reconhecida: Ilha de São Pedro/Caiçara (FUNAI);
- Pescadores artesanais: Sergipe possui aproximadamente 27.000 pescadores profissionais registrados (dado indicativo baseado em proporção estadual do SISRGP/MPA 2023), distribuídos em colônias e comunidades pesqueiras do litoral, dos estuários e do Baixo São Francisco (o diagnóstico costeiro do §3.1.5.1 identifica 42 comunidades pesqueiras e marisqueiras em trechos de alta vulnerabilidade, com ~20,5 mil habitantes). A pesca artesanal é responsável por 57% da produção pesqueira estadual (3.400 toneladas/ano) e emprega diretamente cerca de 10.000 pessoas. Sergipe apresenta 62% de participação feminina na pesca, a maior proporção do Brasil;
- Vulnerabilidades: Territórios não regularizados, conflitos fundiários, perda de conhecimentos tradicionais e degradação de recursos naturais (mangues, rios, caatinga);
- Impactos climáticos: Redução de 40% nos estoques pesqueiros por aquecimento oceânico; escassez hídrica compromete modos de vida tradicionais.

4.8.2.4. Mulheres

- Dimensão: 52% da população, com sobrecarga de cuidados (70% das tarefas domésticas);
- Vulnerabilidades: 53,1% das famílias chefiadas por mulheres em situação de pobreza; menor acesso à terra (18% das propriedades) e crédito;
- Impactos climáticos: Aumento de 3 horas/dia no tempo de coleta de água em períodos de seca; maior risco de violência doméstica em contextos de estresse climático.

4.8.2.5. Crianças, Idosos e Pessoas com Deficiência

- Dimensão: 451.000 crianças (0-14 anos), 294.000 idosos (60 anos ou mais; 248.000 com 65 anos ou mais, §3.1.3.1), 186.000 pessoas com deficiência;
- Vulnerabilidades: Maior sensibilidade fisiológica a calor extremo; dificuldades de mobilidade em eventos de evacuação; dependência de cuidadores;

- Impactos climáticos: Taxa de mortalidade 4 vezes maior em ondas de calor para idosos; desnutrição infantil aumenta 25% em anos de seca.

4.8.3. ESTRATÉGIAS DE JUSTIÇA CLIMÁTICA

A operacionalização do princípio de justiça climática no âmbito do PEMAMC-SE estrutura-se mediante cinco estratégias integradas que perpassam transversalmente os demais eixos do Plano, assegurando que a proteção prioritária de populações vulneráveis não seja tratada como agenda paralela ou complementar, mas sim como critério central orientador de todas as políticas climáticas estaduais.

Estas estratégias reconhecem que justiça climática requer simultaneamente inclusão equitativa nos benefícios de políticas de mitigação (acesso a energias renováveis, empregos verdes, transporte sustentável), proteção prioritária contra impactos climáticos mediante ações de adaptação direcionadas, regularização fundiária e territorial que assegure segurança de permanência em territórios tradicionais, fortalecimento de capacidades e autonomia de grupos vulneráveis, e participação significativa em processos decisórios de políticas que os afetam diretamente.

4.8.3.1. Inclusão em Políticas de Mitigação

- Energia solar comunitária: A estratégia de universalização do acesso à energia limpa para populações de baixa renda prevê:
  - Instalação de 2.500 sistemas fotovoltaicos residenciais em habitações de baixa renda, possibilitando redução de aproximadamente 40% no valor da conta mensal de energia elétrica;
  - Implantação de 35 sistemas de geração solar compartilhada em comunidades rurais isoladas, beneficiando múltiplas famílias.
- Transporte público acessível e elétrico:
  - Tarifa zero para pessoas de baixa renda em dias de calor extremo;
  - 100% dos ônibus elétricos adaptados para PCDs.
- Empregos verdes qualificados: 8.500 vagas em setores de economia verde (reciclagem, restauração florestal, energias renováveis) com prioridade para jovens de comunidades vulneráveis;
- Acesso a crédito verde: Linha específica de microcrédito climático para pequenos negócios sustentáveis em periferias.

4.8.3.2. Proteção Prioritária em Adaptação

- Sistema de Alerta Precoce comunitário: 180 sirenes + aplicativos multilíngues + rádios comunitárias para avisar sobre ondas de calor, tempestades, inundações com 24-48h de antecedência;
- Abrigos climáticos: 45 centros de resfriamento em bairros vulneráveis operando 24h em ondas de calor (13.500 vagas; atendimento simultâneo de 9.450 pessoas e até 28.350 pessoas/dia em três turnos – §4.6.3.2.3);
- Habitação climático-resiliente: Retrofit de 8.500 moradias precárias com melhorias térmicas, cisternas, telhados verdes subsidiados (100% gratuito para famílias de baixa renda);
- Seguro-safra ampliado: Cobertura de 100% dos agricultores familiares elegíveis ao Garantia-Safra nos 45 municípios sujeitos a secas até 2030 (universo distinto do indicador A3 – agricultores com seguro climático no estado: 8% → 25% em 2030 → 60% em 2035 → 100% em 2050).

4.8.3.3. Regularização Fundiária e Territorial

- Quilombolas:
  - Titular 25 dos 132 territórios quilombolas até 2030 (18.500 hectares), elevando a proporção de territórios regularizados de 35% para 54%;
  - Garantir segurança jurídica para práticas sustentáveis das 28.008 pessoas em 9.923 domicílios;
  - Priorização dos 25 territórios considerando as 38 comunidades com certificação FCP.
- Indígenas:
  - Proteger e apoiar a Terra Indígena Ilha de São Pedro/Caiçara (única TI reconhecida pela FUNAI em Sergipe);
  - Garantir direitos territoriais e culturais das 3.441 pessoas em 1.747 domicílios.
- Pescadores artesanais:
  - Criar Reservas Extrativistas Marinhas com gestão comunitária, integradas às 5 áreas marinhas protegidas previstas no §4.6.3.2.5 (12.500 hectares);
  - Atender as 27 comunidades pesqueiras (~27.000 pescadores registrados);
  - Garantir segurança territorial e sustentabilidade dos recursos pesqueiros.
- Áreas urbanas informais: Regularizar 12.500 lotes em assentamentos precários, com infraestrutura verde e saneamento, de um total de 55.879 domicílios em favelas e comunidades urbanas (≈ 7,13% do total de domicílios do estado).

4.8.3.4. Fortalecimento de Capacidades e Autonomia

- Escolas de Agroecologia: Capacitar 4.500 agricultores familiares em técnicas de convivência com semiárido (construção de cisternas, SAFs, uso de sementes crioulas);
- Lideranças comunitárias: Formar 850 lideranças (60% mulheres) em gestão de riscos climáticos e acesso a fundos financiadores;
- Conhecimentos tradicionais: Documentar e valorizar 120 práticas ancestrais de manejo sustentável (etnobotânica, previsão climática local, agrobiodiversidade);
- Acesso à informação: Materiais de educação climática em linguagem acessível, audiovisual, Libras, Braille.

4.8.3.5. Participação e Representação

- Cotas em instâncias de governança: Garantir, no segmento da sociedade civil do CEEMC-SE e nas Macro-Câmaras Temáticas, representação mínima de 40% de mulheres, 20% de jovens e 15% de comunidades tradicionais (cotas não cumulativas, podendo uma mesma pessoa atender a mais de um critério);
- Consultas prévias, livres e informadas: Protocolo obrigatório para projetos que afetem territórios tradicionais (conforme Convenção 169 OIT);
- Ouvidoria de Justiça Climática: Canal específico para denúncias de violações de direitos em contexto de políticas climáticas.

4.8.4. INDICADORES DE JUSTIÇA CLIMÁTICA

O monitoramento da efetividade das ações de justiça climática requer indicadores específicos que mensurem a redução de desigualdades e a proteção de populações vulneráveis. A Tabela 24 apresenta oito indicadores-chave de equidade e inclusão, abrangendo desde a alocação de recursos públicos até resultados tangíveis como redução de mortalidade diferenciada por calor e acesso a tecnologias limpas.

Estes indicadores serão monitorados anualmente pelo sistema MRV, com reportes desagregados por renda, raça, gênero e território.

Tabela 24: Indicadores de equidade e inclusão no PEMAMC-SE

INDICADOR	LINHA DE BASE 2024	META 2030
% de recursos de adaptação destinados a populações vulneráveis	18%	45%
Redução de mortalidade por calor em bairros pobres vs ricos (gap)	2,8x	<1,5x

INDICADOR	LINHA DE BASE 2024	META 2030
Agricultores familiares com Garantia-Safra nos 45 municípios sujeitos a secas	20%	100%
Comunidades tradicionais com territórios regularizados	35%	54%
Moradias de baixa renda adaptadas para calor	5%	50%
Representação de mulheres em instâncias de governança climática	A levantar em 2026-2027 (marco do MRV)	50%
Empregos verdes para jovens de periferia	A levantar em 2026-2027 (marco do MRV; referência nacional: 2 milhões)	5.500
Famílias de baixa renda com acesso à energia solar	2%	25%

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Meta síntese: Reduzir em 60% as desigualdades de exposição e vulnerabilidade climática entre grupos socioeconômicos até 2030.

4.8.5. METAS DO EIXO 5 PARA 2030

O cumprimento dos objetivos de justiça climática requer definição de metas quantitativas específicas que priorizem populações vulneráveis. A Tabela 25 consolida as principais metas do Eixo 5 para o horizonte 2030, abrangendo dez componentes prioritários. Incluem-se: infraestrutura adaptada (sistemas solares, abrigos climáticos, retrofit de moradias), segurança econômica (seguro-safra, regularização territorial) e capacitação (formação de lideranças). Estas metas complementam as estabelecidas nos demais eixos, visando impedir que a transição climática aprofunde desigualdades existentes.

Tabela 25: Metas quantitativas do Eixo 5 (Justiça Climática) para 2030

COMPONENTE	META QUANTITATIVA 2030
Sistemas solares em habitações vulneráveis	2.500 sistemas instalados
Abrigos climáticos operacionais	45 centros em bairros vulneráveis
Retrofit de moradias precárias	8.500 habitações adaptadas
Agricultores com seguro-safra	100% cobertura (93.000 famílias)
Territórios quilombolas titulados	25 territórios (de 132)
Reservas Extrativistas Marinhas	45.000 hectares criados
Lotes regularizados em assentamentos	12.500 lotes
Agricultores capacitados em agroecologia	4.500 agricultores
Lideranças comunitárias formadas	850 lideranças (60% mulheres)
Empregos verdes gerados	8.500 vagas

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.9. INTEGRAÇÃO ENTRE OS EIXOS ESTRATÉGICOS

Os cinco eixos estratégicos do PEMAMC-SE não são compartimentos isolados, mas componentes interdependentes de um sistema integrado de governança climática. A efetividade da política climática estadual depende criticamente da coordenação entre eixos, maximização de sinergias e evitação de trade-offs negativos.

A compreensão das interrelações entre os cinco eixos é fundamental para operacionalização efetiva do PEMAMC-SE. Esta visualização sistêmica evidencia que não há hierarquia entre os eixos, mas sim reciprocidade: o Eixo 1 (Monitoramento) fornece dados para todos os demais; o Eixo 2 (Governança) coordena a implementação integrada; o Eixo 3 (Mitigação e Adaptação) gera resultados mensuráveis; o Eixo 4 (Financiamento) viabiliza recursos; e o Eixo 5 (Justiça Climática) assegura equidade.

Sinergias principais:

- Monitoramento ↔ Governança: Sistema MRV (Monitoramento/Relato/Verificação) fornece dados para tomada de decisão do CEEMC-SE e GTMC, permitindo ajustes adaptativos nas políticas climáticas com base em evidências.
- Mitigação ↔ Adaptação: Restauração florestal sequestra carbono (mitigação) e protege nascentes regulando microclima (adaptação). Sistemas ILPF reduzem emissões da pecuária (mitigação) e aumentam resiliência à seca (adaptação). Infraestrutura verde urbana reduz emissões de climatização (mitigação) e atenua ilhas de calor (adaptação).
- Financiamento ↔ Mitigação/Adaptação: Mecanismos de pagamento por serviços ambientais (PSA) viabilizam projetos de restauração florestal e agricultura de baixo carbono. Linhas de crédito verde incentivam tecnologias limpas e práticas adaptativas.
- Justiça Climática ↔ Adaptação: Abrigos climáticos em periferias protegem populações vulneráveis (justiça) e reduzem mortes por ondas de calor (adaptação). Regularização fundiária quilombola garante direitos territoriais (justiça) e viabiliza práticas sustentáveis de manejo (adaptação).
- Justiça Climática ↔ Financiamento: Energia solar comunitária reduz pobreza energética em famílias de baixa renda (justiça) através de subsídios e financiamento facilitado. Sistemas de alerta precoce com tecnologia acessível incluem migrantes e populações tradicionais (justiça).

A integração sistemática entre eixos é coordenada pelo GTMC (Grupo Técnico de Mudanças Climáticas), que articula as Macro-Câmaras Temáticas e garante coerência nas políticas setoriais. O Sistema MRV monitora 48 indicadores que capturam tanto avanços setoriais quanto efeitos sinérgicos entre eixos.

Princípio orientador: Maximizar cobenefícios, minimizar compensações negativas e garantir que transição climática seja justa, inovadora e efetiva.

4.10. METAS SÍNTESE DO PEMAMC-SE

Esta seção consolida as metas quantitativas dos cinco eixos estratégicos para os horizontes 2030, 2035 e 2050, fornecendo visão integrada da ambição climática de Sergipe.

4.10.1. VISÃO INTEGRADA 2030 (METAS INTERMEDIÁRIAS)

A meta oficial de mitigação estabelecida pela Lei nº 9.364, de 2024, refere-se ao horizonte temporal de 2035, determinando redução de 60% das emissões de gases de efeito estufa (de 8,96 para 3,58 $MtCO_2e$). A meta apresentada para o horizonte 2030 possui caráter indicativo, devendo ser revisada em 2027 com base nos avanços constatados e nas eventuais atualizações da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira.

O Quadro 13 apresenta a consolidação das metas quantitativas estabelecidas para o horizonte 2030, organizadas por dimensão temática do PEMAMC-SE. Esta visão integrada permite compreender a ambição climática do estado em seu conjunto, evidenciando a complementaridade entre as estratégias de mitigação, adaptação, monitoramento, governança e justiça climática.

Quadro 13: Consolidação de metas quantitativas do PEMAMC-SE para o horizonte 2030, por dimensão estratégica

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA 2030
MITIGAÇÃO	~33% redução de emissões GEE em relação ao ano-base 2024 (8,96 → ~6,0 $MtCO_2e$; equivale a -44% frente à projeção BAU de 10,8 $MtCO_2e$ para 2030) - INDICATIVA
	Desmatamento ilegal zero
	570 MW de energia solar distribuída (acumulado 2027-2030 do Programa SE Solar)
	2.500 veículos elétricos (crescimento 8x vs 2025)
	85.000 ha em sistemas ILPF (acumulado 2027-2030)
	64 biodigestores operacionais (20 existentes + 44 novos)
	50% de resíduos urbanos reciclados

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA 2030
ADAPTAÇÃO	Vulnerabilidade reduzida de 60% para 30% da população
	Mortalidade por calor em trajetória de redução de 60% até 2035 (<18 óbitos/ano), com alerta precoce em 100% dos municípios
	Segurança hídrica para 95% da população
	59.000 hectares de vegetação nativa restaurados
	4.140 ha de manguezais restaurados
	100% das UBS climatizadas
	Perdas hídricas reduzidas de 60% para 40%
MONITORAMENTO (Eixo 1)	48 indicadores MRV atualizados conforme a periodicidade de cada tipo (§4.4.8.2)
	Ampliação da rede de estações meteorológicas de 9 para 22 unidades operacionais, vinculando sua expansão à criação de mecanismo de financiamento contínuo
	Portal clima.se.gov.br 100% operacional
	3 inventários de GEE publicados (2024, 2026, 2028)
	2 verificações externas realizadas (2027, 2029)
	90 pontos em índice de transparência climática
GOVERNANÇA (Eixo 2)	75 Planos Municipais de Mudanças Climáticas elaborados (100%)
	75 Comitês Municipais criados e ativos
	1.500 gestores estaduais/municipais capacitados
	4 Macro-Câmaras Temáticas funcionando regularmente
	4-5 consórcios intermunicipais criados
	Paridade governo/sociedade civil nos Comitês Municipais e Macro-Câmaras
JUSTIÇA CLIMÁTICA (Eixo 5)	45% dos recursos de adaptação para populações vulneráveis
	Gap de mortalidade por calor reduzido de 2,8x para <1,5x
	100% dos agricultores familiares dos 45 municípios sujeitos a secas com Garantia-Safra
	54% dos territórios tradicionais regularizados
	2.500 sistemas solares em habitações de baixa renda
	8.500 moradias precárias adaptadas para calor
	8.500 empregos verdes gerados

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA 2030
INTEGRAÇÃO SISTÊMICA	60% de ações com benefícios em múltiplos eixos
	100% das decisões com participação de grupos vulneráveis
	<90 dias para ajuste de política após identificação de desvio

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.10.2. VISÃO INTEGRADA DE LONGO PRAZO

Além das metas intermediárias de 2030, o PEMAMC-SE define compromissos formais para os horizontes de 2035 e 2050, conforme determinado pela Lei nº 9.364, de 2024. O Quadro 14 consolida estas metas oficiais de longo prazo, organizadas por dimensão estratégica. O horizonte 2035 representa o marco legal vinculante de redução de 60% das emissões (de 8,96 para 3,58 $MtCO_2e$). O horizonte 2050 projeta a visão de neutralidade climática e resiliência sistêmica consolidada, alinhada aos compromissos da NDC brasileira e do Acordo de Paris.

Quadro 14: Visão integrada 2035 e 2050 (metas oficiais)

DIMENSÃO	META 2035 (OFICIAL)	META 2050 (OFICIAL)
MITIGAÇÃO	-60% emissões GEE (8,96 → 3,58 $MtCO_2e$) - Lei 9.364/2024	Neutralidade climática (0 emissões líquidas)
	100% matriz energética renovável	Economia carbono-negativa
	115.000 hectares de florestas restauradas	Setor florestal como sumidouro líquido
	1.000 MW de energia solar distribuída	100% descarbonização energética
ADAPTAÇÃO	Vulnerabilidade climática reduzida para 20% da população (indicador A1)	Resiliência sistêmica consolidada
	Zero perdas evitáveis por eventos climáticos	Vulnerabilidade residual <10%
	11,4% do território em áreas protegidas	17% do território protegido
MONITORAMENTO	Sistema MRV consolidado e certificado internacionalmente	Sistema MRV de referência nacional
GOVERNANÇA	100% municípios com estruturas climáticas operacionais	Governança climática descentralizada

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.10.3. SÍNTESE DE INDICADORES-CHAVE (9 INDICADORES PRIORITÁRIOS)

Para assegurar o monitoramento executivo ágil do PEMAMC-SE sem perda de visão sistêmica, foi selecionado um conjunto prioritário de nove indicadores-chave que sintetizam o desempenho nos cinco eixos estratégicos. Este painel reduzido de indicadores responde à necessidade gerencial de focalização em métricas essenciais que permitam avaliação rápida do estado geral de implementação do Plano, facilitando a tomada de decisões em instâncias colegiadas (CEEMC-SE, GTMC) e comunicação transparente com sociedade civil, mídia e órgãos de controle.

A seleção priorizou indicadores que simultaneamente atendem aos critérios de mensurabilidade objetiva, relevância estratégica, comparabilidade temporal e comunicabilidade pública. A Tabela 26 apresenta este painel de controle estratégico, incluindo linha de base (2022-2024), metas intermediárias (2030), metas oficiais (2035/2050) e frequência de atualização. Estes indicadores compõem o núcleo do sistema de accountability do Plano, sendo reportados ao CEEMC-SE nos relatórios trimestrais e anuais do Sistema MRV (§4.4.6) e à sociedade civil mediante publicação no Portal de Transparência Climática (clima.se.gov.br).

Tabela 26: Painel de controle do PEMAMC-SE: indicadores-chave por eixo e horizonte temporal

#	INDICADOR	LINHA DE BASE (2024)	META 2030	META 2035	META 2050
MITIGAÇÃO					
M1	Emissões totais GEE ($MtCO_2e$/ano)	8,96	~6,0 (indic.)	3,58	0
M2	Energia renovável na matriz (%)	42%	45%	55%	100%
M3	Área restaurada acumulada (ha)	0	59.000	115.000	150.000
ADAPTAÇÃO					
A1	Vulnerabilidade climática (% pop.)	60%	30%	20%	<10%
A2	Perdas hídricas (%)	60%	40%	25%	<10%
A3	Agricultores com seguro (%)	8%	25%	60%	100%
GOVERNANÇA					
G1	Municípios com estruturas climáticas (%)	0%	100%	100%	100%
G2	Transparência climática (pontos)	A estabelecer	90	95	100

#	INDICADOR	LINHA DE BASE (2024)	META 2030	META 2035	META 2050
JUSTIÇA CLIMÁTICA					
J1	Gap mortalidade calor rico/pobre	2,8x	<1,5x	<1,2x	~1,0x

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.10.4. ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA NECESSÁRIOS

A priorização de investimentos em tecnologias e medidas climáticas requer análises robustas de custo-efetividade que demonstrem retorno sobre investimento, período de payback e viabilidade econômica em diferentes contextos territoriais e escalas de implementação. O Quadro 15 apresenta as análises de custo-efetividade prioritárias que devem ser conduzidas na fase preparatória (2026) para fundamentar decisões de alocação de recursos nos anos subsequentes. Estas análises permitirão construção de curvas de custo marginal de abatimento (MACC) específicas para Sergipe, identificando as medidas com melhor relação custo-benefício para priorização no Plano de Ação Detalhado. Com efeito, as MACC (*Marginal Abatement Cost Curves)* são ferramentas analíticas usadas em políticas climáticas e planejamento ambiental para ordenar e comparar opções de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) de acordo com seu custo e potencial de abatimento.

Quadro 15: Análises de Custo-Efetividade Prioritárias

TECNOLOGIA/MEDIDA	ANÁLISE REQUERIDA
Sistemas ILPF	Custo de implantação vs. aumento de produtividade e sequestro de carbono; período de payback
Biodigestores rurais	CAPEX (Capital Expenditure), OPEX (Operational Expenditure), receita de biogás/energia, viabilidade por escala de rebanho
Energia solar distribuída	Paridade tarifária, TCO (Total Cost of Ownership), impacto de subsídios
Veículos elétricos (frotas públicas)	TCO vs. veículos convencionais, infraestrutura de recarga, autonomia
Restauração Florestal	Custo por hectare, receitas de PSA/créditos de carbono, período até *break-even*
Sistemas de recarga artificial de aquíferos	Custo por m³ adicional, comparação com dessalinização e transposição

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Metodologia: Análise de Custo Total de Propriedade (TCO), análise de sensibilidade, análise comparativa nacional e internacional.

Responsável: Consultorias setoriais especializadas.

Prazo: 10 meses (fevereiro-novembro 2026).

4.10.5. SEQUENCIAMENTO LÓGICO DE PLANEJAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O PEMAMC-SE adota sequenciamento em fases que reflete ciclo racional de planejamento: (1) Diagnóstico e Estratégia → (2) Viabilidade Econômica → (3) Plano de Ação Detalhado → (4) Implementação Monitorada. Este encadeamento assegura que recursos públicos sejam alocados com base em evidências robustas de custo-efetividade, retorno sobre investimento e compatibilidade fiscal.

4.10.5.1. Fase Preparatória (2026) - Pesquisas Complementares Obrigatórias (Quadro 16):

Quadro 16: Fase Preparatória (2026)

ESTUDO	PRAZO	ORÇAMENTO ESTIMADO	CONDIÇÃO PARA
Análise Custo-Benefício Completa	8 meses	Conforme licitação	Aprovação do Plano de Ação Detalhado 2027-2030
MACC de Sergipe	6 meses	Conforme licitação	Priorização de ações de mitigação
Análise de Impacto Fiscal	6 meses	Recursos SEPLAG/SEFAZ	Inserção no PPA 2028-2031
Modelagem Macroeconômica	12 meses	Convênio interinstitucional	Avaliação de viabilidade sistêmica
Valoração de Externalidades	8 meses	Conforme licitação	ACB completa
Viabilidade de Tecnologias	10 meses	Conforme licitação	Inserção no PPA 2028-2031

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

O PEMAMC-SE compromete-se com trajetória de descarbonização profunda e construção de resiliência sistêmica, assegurando que transição climática seja justa, participativa e cientificamente fundamentada, protegendo prioritariamente populações vulneráveis e promovendo desenvolvimento sustentável com equidade intergeracional.

5. CAPACITAÇÃO, EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO

5.1. CAPACITAÇÃO DE GESTORES PÚBLICOS

5.1.1. PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A implementação do PEMAMC-SE exige gestores públicos capacitados em múltiplas dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos. A criação do Programa Estadual de Capacitação em Mudanças Climáticas visa formar quadros técnicos qualificados que atuarão nos 75 municípios e nas secretarias estaduais.

Meta: Capacitar cerca de 1.000 gestores públicos estaduais e municipais até 2030, em 8 cursos temáticos (total: 1.675 participações, considerando média de 1,7 cursos por gestor), como parte da meta consolidada de 1.500 gestores e técnicos do Eixo 2 (§4.5.4.4).

5.1.2. ESTRUTURA CURRICULAR

A estrutura curricular do Programa, com carga horária, público-alvo e metas de participação por curso, é detalhada na Tabela 27.

Tabela 27: Cursos do Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas

CURSO	CARGA HORÁRIA	PÚBLICO-ALVO	MODALIDADE	META PARTICIPANTES
1. Fundamentos de Mudanças Climáticas	40h	Geral	Presencial + EAD	300
2. Inventários de GEE	60h	Técnicos ambientais	Presencial	155
3. Adaptação e Gestão de Riscos	60h	Defesa Civil, saúde, planejamento	Presencial	155
4. Políticas de Mitigação Setoriais	40h	Técnicos setoriais	Presencial	300
5. Sistema MRV e Indicadores	40h	Monitoramento e avaliação	EAD	155
6. Financiamento Climático	40h	Planejamento, finanças	EAD + oficinas	155

CURSO	CARGA HORÁRIA	PÚBLICO-ALVO	MODALIDADE	META PARTICIPANTES
7. Planos Municipais de Ação Climática	60h	Equipes municipais	Presencial + consultoria	300
8. Comunicação de Riscos Climáticos	24h	Comunicadores, educadores	EAD	155

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

5.1.3. ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO

Responsáveis:

- Coordenação: SEMAC, SEDUC, CEEMC-SE (Secretaria Executiva);
- Execução: Parcerias com instituições de ensino superior e de fomento à pesquisa (UFS, IFS, UNIT e FAPITEC);
- Cronograma:
  - 2026-2027: Estruturação dos cursos (conteúdos, materiais didáticos, plataforma EAD); capacitação de instrutores; piloto com 80 gestores (incluídos na meta);
  - 2027–2029: Oferta regular de turmas; capacitação de ~700 gestores (média de ~235/ano);
  - 2030: Oferta final (~220 gestores); avaliação de impacto; total acumulado de ~1.000 gestores certificados; atualização de conteúdos para ciclo 2031–2035.
- Certificação: Certificados emitidos por instituições de ensino superior parceiras, com reconhecimento do MEC. Possibilidade de contabilização de carga horária para progressão funcional de servidores públicos (a regulamentar);
- Custos: A dimensionar no planejamento financeiro 2026–2027, considerando: desenvolvimento de conteúdos, contratação de instrutores, materiais didáticos, infraestrutura de EAD, logística de cursos presenciais (transporte, hospedagem, alimentação), certificação, avaliação de impacto;
- Fontes potenciais: Recursos estaduais (SEPLAG, FAPITEC), Programa Nacional de Capacitação em Clima (MMA), GIZ, PNUD, ICLEI (*Local Governments for Sustainability*).

5.2. EDUCAÇÃO CLIMÁTICA FORMAL

A integração da temática de Mudanças Climáticas nos currículos escolares é essencial para formar cidadãos conscientes dos desafios climáticos e capazes de agir

individual e coletivamente. A meta estabelecida prevê educação climática em 100% das escolas públicas estaduais até 2028, com abordagem transversal e interdisciplinar.

5.2.1. DIRETRIZES CURRICULARES

A educação climática deverá ser integrada, de forma transversal, aos currículos da Educação Básica, abrangendo o Ensino Fundamental e o Ensino Médio, observadas as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe, privilegiando:

- Interdisciplinaridade: Abordagem em múltiplas disciplinas (Ciências, Geografia, História, Matemática, Língua Portuguesa, Artes, Educação Física), evitando fragmentação;
- Contextualização Local: Uso de dados e exemplos de Sergipe (ondas de calor, secas, cheias, impactos na agricultura, vulnerabilidades locais);
- Aprendizagem Ativa: Metodologias participativas (projetos, experimentos, estudos de campo, debates, produção de mídias);
- Educação Socioambiental Crítica: Não apenas transmissão de informações, mas reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação;
- Temas Prioritários por Etapa:
    - Ensino Fundamental I (1º ao 5º ano):
        - Clima e tempo;
        - Ciclo da água;
        - Importância das florestas (biomas) e da biodiversidade;
        - Consumo consciente (energia, água, resíduos); práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico.
    - Ensino Fundamental II (6º ao 9º ano):
        - Efeito estufa e aquecimento global;
        - Causas e consequências das Mudanças Climáticas;
        - Impactos no Nordeste e em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura);
        - Conceitos de mitigação e adaptação; energia renovável (energia limpa); economia circular.
    - Ensino Médio:
        - Ciência do clima (modelagem, cenários climáticos);
        - Acordo de Paris e políticas climáticas;
        - Transição energética;

- Agricultura sustentável;
- Cidades resilientes;
- Ética ambiental e justiça climática;
- Protagonismo juvenil em ações climáticas.

5.2.2. ESTRATÉGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO

I. Formação de Professores:

a. Meta: Capacitar 2.000 professores da rede estadual até 2030 (proporção da rede a confirmar com a SEDUC) em curso de 40h sobre "Educação para as Mudanças Climáticas";

b. Conteúdo: Fundamentos científicos, metodologias pedagógicas, recursos didáticos, projetos escolares, integração curricular;

c. Modalidade: EAD com encontros presenciais regionais; oferta contínua (250 professores/semestre, de 2027 a 2030);

d. Responsável: SEDUC, em parceria com UFS, IFSE, MEC;

II. Material Didático:

a. Desenvolvimento de cadernos temáticos para professores e estudantes (Ensino Fundamental I, II e Médio), com atividades práticas, experimentos, jogos, estudos de caso sergipanos;

b. Produção de vídeos educativos (séries de 10 episódios de 15 min, disponíveis no YouTube e Portal clima.se.gov.br).

c. Criação de biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts, aplicativos educacionais.

d. Responsável: SEDUC, com apoio de universidades, ONGs ambientais, produtoras audiovisuais locais.

e. Projetos Escolares: Incentivo a projetos escolares sobre clima (hortas escolares, compostagem, eficiência energética, arborização, coleta seletiva, monitoramento meteorológico).

f. Criação de Prêmio Escola Sustentável (anual, com categorias por etapa de ensino e tipo de projeto).

g. Responsável: SEDUC, SEMAC, municípios.

III. Infraestrutura Verde Escolar:

a. Implantação de infraestrutura verde em 100% das escolas estaduais até 2030 (arborização, jardins, hortas, sistemas de captação de água de chuva, energia solar);

b. Escolas como espaços de demonstração de práticas sustentáveis;

c. Responsável: SEDUC, SEMAC, municípios.

IV. Semana do Clima nas Escolas:

a. Realização anual da Semana Estadual do Clima (primeira semana de junho, alinhada ao Dia Mundial do Meio Ambiente), com atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências);

b. Responsável: SEDUC, SEMAC, municípios.

5.2.3. EDUCAÇÃO CLIMÁTICA NO ENSINO SUPERIOR

Apesar de o foco principal ser a Educação Básica, a integração da temática climática no Ensino Superior é igualmente relevante, especialmente em cursos de formação de profissionais que atuarão em áreas estratégicas (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social).

- Ações:
  - Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (UFS, UNIT, IFSE);
  - Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade (editais FAPITEC);
  - Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável;
  - Responsável: Instituições de Ensino Superior, FAPITEC, SEDUC.
- Custos da Educação Climática Formal: A dimensionar no planejamento financeiro 2026–2027, incluindo: formação de professores, desenvolvimento de materiais didáticos, premiação de projetos escolares, infraestrutura verde escolar, logística da Semana do Clima. Fontes potenciais: FUNDEB (nas ações de formação continuada de profissionais da educação admitidas pela Lei nº 14.113/2020), recursos estaduais (SEDUC), FNDE, parcerias com ONGs, patrocínios privados (responsabilidade socioambiental).

5.3. COMUNICAÇÃO SOCIAL E MOBILIZAÇÃO

A comunicação social é ferramenta estratégica para ampliar o conhecimento sobre Mudanças Climáticas, mobilizar a população para ações de mitigação e adaptação, promover mudanças comportamentais e garantir transparência da implementação do PEMAMC-SE. A Estratégia de Comunicação e Mobilização Social prevê alcançar **50.000 cidadãos engajados até 2030** por meio de múltiplos canais e ações.

5.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ampliar o conhecimento da população sergipana sobre as causas e consequências das Mudanças Climáticas;
- Desmistificar conceitos técnicos, tornando a ciência do clima de compreensão acessível;
- Promover mudanças de comportamento (consumo consciente, eficiência energética, gestão de resíduos, uso racional da água, mobilidade sustentável);
- Mobilizar atores sociais (comunidades, movimentos sociais, setor privado, universidades, ONGs) para participação na governança climática;
- Combater desinformação e negacionismo climático com base científica;
- Divulgar as ações do PEMAMC-SE, resultados alcançados e oportunidades de participação.

5.3.2. PÚBLICOS-ALVO

- População Geral: Famílias, trabalhadores, consumidores (foco em áreas urbanas);
- Populações Vulneráveis: Agricultores familiares, pescadores, moradores de áreas de risco (enchentes, secas), comunidades tradicionais;
- Juventude: Estudantes secundaristas e universitários, coletivos juvenis;
- Setor Produtivo: Empresários, agricultores, comerciantes, sindicatos;
- Lideranças Comunitárias: Associações de moradores, conselhos comunitários, lideranças religiosas;
- Mídia: Jornalistas, influenciadores digitais, produtores de conteúdo.

5.3.3. ESTRATÉGIAS E CANAIS DE COMUNICAÇÃO

5.3.3.1. Campanhas Publicitárias

- Campanha 1 – “Sergipe no Clima” (Institucional, Lançamento 2026):

- Objetivo: Apresentar o PEMAMC-SE, suas metas e a importância da ação climática coletiva;
- Peças: Spots de rádio (30s), vídeos para TV e redes sociais (60s), outdoors, banners digitais, anúncios em jornais;
- Duração: 3 meses (agosto–outubro 2026);
- Alcance esperado: 1,5 milhão de pessoas (64% da população).

- Campanha 2 – "Cada Gesto Conta" (Comportamental, 2027–2030):
  - Objetivo: Promover ações individuais de mitigação (redução de consumo de energia, uso de transporte público/bicicleta, reciclagem, economia de água);
  - Peças: Série de vídeos curtos (15s) para redes sociais com depoimentos de sergipanos; infográficos; podcasts;
  - Duração: Continuada (lançamento de novas peças a cada trimestre);
  - Alcance esperado: 20.000 engajamentos (compartilhamentos, comentários, curtidas).
- Campanha 3 – "Alerta Calor" (Saúde Pública, Anual 2027–2030):
  - Objetivo: Prevenir morbimortalidade por ondas de calor (hidratação, proteção solar, identificação de sintomas, busca de abrigos climatizados);
  - Peças: Spots de rádio, SMS, alertas via redes sociais, cartazes em UBS;
  - Duração: Período crítico (dezembro–março, durante ondas de calor);
  - Alcance esperado: cerca de 822 mil pessoas (população em áreas de risco alto a crítico a ondas de calor, §4.6.3.2.3).

5.3.3.2. Portal clima.se.gov.br:

O Portal será o principal canal de comunicação digital, oferecendo:

- Dados abertos: Séries históricas climáticas, projeções, inventários de GEE, indicadores MRV;
- Serviços climáticos: Previsões de curto/médio prazo, alertas de eventos extremos, mapas de risco;
- Educação: Vídeos, infográficos, jogos, e-books, cursos EAD;
- Transparência: Relatórios trimestrais e anuais do PEMAMC-SE, atas do CEEMC-SE, orçamento executado;
- Participação: Consultas públicas online, fóruns, ouvidoria climática, relato de impactos locais (ciência cidadã). Meta: 100.000 visitas/mês até 2030.

5.3.3.3. Redes Sociais:

Criação de perfis oficiais do PEMAMC-SE em Instagram, Facebook, YouTube, Twitter/X e TikTok. Conteúdo:

- Posts educativos (1× semana): "Você sabia?", "Dica Sustentável da Semana";
- Lives mensais com especialistas (cientistas, gestores, ativistas);
- Séries de vídeos: "Sergipe em Transição" (cases de sucesso), "Vozes do Clima" (depoimentos de populações afetadas);
- Cobertura de eventos (audiências públicas, Semana do Clima, COP);
- Meta: 50.000 seguidores até 2030; taxa de engajamento >5%.

5.3.3.4. Mídia Tradicional: Parcerias com veículos de comunicação:

Foram previstas as seguintes iniciativas:

- Programa de rádio semanal "Clima e Desenvolvimento" (30 min, veiculado em 3 rádios de maior audiência);
- Coluna mensal em jornal impresso e digital;
- Participação em programas de TV (entrevistas, reportagens especiais);
- Capacitação de jornalistas:
  - Curso de 16h sobre "Jornalismo Climático" para 50 jornalistas sergipanos (anual, 2026–2030);
  - Disponibilização de releases, entrevistas, dados e imagens para facilitação de coberturas.

5.3.3.5. Eventos Presenciais:

1. Semana Estadual do Clima (anual, primeira semana de junho): Programação: Conferência Estadual de Abertura, oficinas temáticas, feira de tecnologias limpas, mostras de cinema ambiental, caminhada/pedalada pelo clima, plantio coletivo de árvores, limpeza de praias e rios. Público: 10.000 participantes/ano. Local: Aracaju e municípios-polos regionais;
2. Diálogos Climáticos Regionais (semestrais, 2027–2030): Encontros descentralizados nos 8 territórios de planejamento do estado para discussão de vulnerabilidades locais, estratégias de adaptação e oportunidades de mitigação. Público: 100 participantes/evento (lideranças comunitárias, agricultores, gestores municipais);
3. Fórum Anual Sergipe Sustentável (a partir de 2027): Evento de 2 dias reunindo governo, setor privado, academia, sociedade civil e organismos

internacionais para discutir avanços, desafios e inovações na agenda climática. Público: 500 participantes.

5.3.3.6. Mobilização Comunitária: Agentes Climáticos Comunitários (ACC):

Formação de 300 lideranças comunitárias (4 por município) como Agentes Climáticos Comunitários, com capacitação de 24h para atuarem como multiplicadores locais (replicação de informações, mobilização para ações coletivas, identificação de vulnerabilidades, conexão com órgãos públicos). Responsável: CEEMC-SE, ONGs parceiras, municípios.

5.3.3.7. Parcerias com Setor Privado:

Engajamento de empresas para ações de comunicação conjunta (ex.: supermercados divulgando dicas de consumo consciente, empresas de transporte promovendo mobilidade sustentável, concessionárias de energia incentivando eficiência energética). Instrumento: Acordos de Cooperação Técnica com contrapartidas de comunicação.

5.3.4. COMBATE À DESINFORMAÇÃO

A desinformação sobre Mudanças Climáticas (negacionismo, teorias conspiratórias, dados falsos) representa risco à implementação de políticas climáticas. A estratégia de combate incluirá:

- *Fact-checking*: Parcerias com agências de checagem de fatos para desmentir informações falsas circulantes em redes sociais;
- Comunicação baseada em evidências: Todas as comunicações oficiais referenciadas em fontes científicas confiáveis (IPCC, INPE, estudos revisados por pares);
- Capacitação de comunicadores: Treinamento de jornalistas e influenciadores digitais para identificação e combate à desinformação;
- Canal de denúncias: Disponibilização de canal no Portal clima.se.gov.br para denúncia de desinformação, com resposta técnica da Secretaria Executiva do CEEMC-SE.

5.3.5. INDICADORES DE COMUNICAÇÃO E MOBILIZAÇÃO

- **Alcance**: Nº de pessoas impactadas por campanhas (medido por audiência de mídia, alcance de redes sociais, participantes de eventos);

- **Engajamento**: Taxa de interação em redes sociais (curtidas, comentários, compartilhamentos); nº de visitas ao Portal clima.se.gov.br;
- **Conhecimento**: % da população que reconhece o PEMAMC-SE e suas principais metas (pesquisa de opinião bienal);
- **Mudança Comportamental**: % de adoção de práticas sustentáveis (coleta seletiva, economia de energia, uso de transporte sustentável) – inquérito domiciliar 2028 e 2030;
- **Participação**: Nº de contribuições em consultas públicas; nº de Agentes Climáticos Comunitários ativos. **Meta Consolidada:** 50.000 cidadãos engajados (pessoas distintas que participaram de cursos, eventos, consultas públicas ou atuam como agentes comunitários; seguidores de redes sociais não são contabilizados isoladamente) até 2030;
- **Custos da Comunicação Social: A dimensionar** no planejamento financeiro 2026–2027, incluindo: produção de campanhas publicitárias, desenvolvimento e manutenção do Portal, gestão de redes sociais, eventos presenciais, capacitação de jornalistas e agentes comunitários, pesquisas de opinião. Fontes potenciais: Recursos estaduais (SECOM, CEEMC-SE), parcerias com organismos internacionais (PNUD, GIZ, WWF), patrocínios privados (responsabilidade socioambiental), Fundo Estadual de Meio Ambiente.

5.4. ARTICULAÇÃO ENTRE CAPACITAÇÃO, EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO

As três dimensões tratadas neste capítulo são interdependentes e reforçam-se mutuamente:

- Gestores capacitados são agentes de disseminação de conhecimento para suas equipes e comunidades, amplificando o alcance da comunicação institucional;
- Escolas são espaços privilegiados de mobilização comunitária, onde estudantes levam informações e práticas sustentáveis para suas famílias;
- Comunicação social eficaz cria ambiente favorável à aceitação de políticas climáticas, reduz resistências e mobiliza apoio político e financeiro.

O Portal clima.se.gov.br integra as três dimensões, oferecendo cursos EAD para gestores, materiais educativos para escolas e informações acessíveis para o público geral. A Secretaria Executiva do CEEMC-SE terá papel central na coordenação dessas ações, evitando duplicações, garantindo mensagens consistentes e maximizando sinergias.

5.5. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

O monitoramento das ações de capacitação, educação e comunicação será realizado por meio dos seguintes indicadores, já integrados ao Sistema MRV:

5.5.1. INDICADORES DE GOVERNANÇA (GRUPO G):

- **G3 – Capacitação de Gestores:** Nº de gestores públicos capacitados em políticas climáticas. Baseline 2025: 0 (capacitação estruturada inexistente).
  - Meta 2030: 1.500 gestores e técnicos (meta consolidada do Eixo 2);
  - Fonte: Certificados emitidos por instituições parceiras.
- **G7 – Educação Climática Formal:** % de escolas públicas estaduais com educação climática integrada ao currículo. Baseline 2025: a ser apurada no Censo Escolar 2026 (INEP/SEDUC);
  - Meta 2030: 100%;
  - Fonte: SEDUC (censo escolar, avaliação de projetos pedagógicos).
- **G8 – Engajamento Social:** Nº de cidadãos engajados em ações climáticas (eventos, consultas públicas, Portal, redes sociais, agentes comunitários). Baseline 2025: 0 (engajamento estruturado inexistente).
  - Meta 2030: 50.000;
  - Fonte: Registros de eventos, analytics do Portal, pesquisas de opinião;
- **Avaliação de Impacto:**
  - 2028: Avaliação de meio termo com pesquisa de percepção climática (amostra representativa de 1.000 domicílios);
  - 2030: Avaliação final com inquérito domiciliar sobre conhecimentos, atitudes e práticas (CAP) relacionadas ao clima.

5.6. SÍNTESE

O Capítulo 5 consolida as estratégias de capacitação, educação e comunicação como pilares transversais da implementação do PEMAMC-SE. Formar gestores qualificados, educar as novas gerações e mobilizar a sociedade são condições essenciais para a transformação climática de Sergipe.

A capacitação de 300 gestores públicos até 2030 em 8 cursos temáticos fortalecerá a capacidade institucional de formulação, execução e monitoramento de políticas climáticas nos níveis estadual e municipal.

A integração da educação climática em 100% das escolas públicas estaduais até 2030 promoverá consciência crítica e cidadania ativa de crianças e jovens, formando a geração que viverá os impactos mais severos das Mudanças Climáticas e conduzirá a transição para a economia de baixo carbono.

A comunicação social, com 50.000 cidadãos engajados até 2030, ampliará o conhecimento público, promoverá mudanças comportamentais e garantirá participação informada na governança climática.

O Portal clima.se.gov.br, as campanhas publicitárias, as redes sociais, a mídia tradicional, os eventos presenciais e os Agentes Climáticos Comunitários constituem ecossistema de comunicação robusto, capaz de alcançar públicos diversos e territorialmente dispersos.

A articulação entre capacitação, educação e comunicação, sob coordenação da Secretaria Executiva do CEEMC-SE, maximizará sinergias e garantirá consistência de mensagens.

O monitoramento por meio de indicadores específicos (G3, G7, G8) e avaliações periódicas de impacto permitirá ajustes contínuos e evidenciará resultados alcançados.

Investir em pessoas — gestores, professores, estudantes, comunicadores, lideranças comunitárias — é investir na viabilidade de longo prazo da política climática sergipana. Sem conhecimento, consciência e mobilização social, mesmo as melhores estratégias técnicas e os maiores investimentos financeiros fracassarão. A transição climática é, fundamentalmente, uma transição cultural, e este capítulo estabelece as bases para que ela ocorra de forma justa, participativa e transformadora.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Sergipe (PEMAMC-SE) representa marco decisivo na trajetória de desenvolvimento do estado, integrando a urgência da ação climática com as aspirações de prosperidade econômica, equidade social e sustentabilidade ambiental. Este capítulo apresenta síntese dos principais elementos do PEMAMC-SE, reflexões sobre desafios e oportunidades, e perspectivas para a consolidação de Sergipe como referência nacional em governança climática subnacional.

6.1. SÍNTESE DO DIAGNÓSTICO: VULNERABILIDADES E EMISSÕES

O diagnóstico climático de Sergipe, apresentado no Capítulo 3, evidencia duplo desafio: o Estado já experimenta impactos expressivos das Mudanças Climáticas e contribui, ainda que modestamente em termos absolutos, para as emissões globais de gases de efeito estufa.

O diagnóstico climático completo evidencia aquecimento de +1,0°C na temperatura máxima (+0,9°C na média) entre 1985 e 2021, 404 ondas de calor identificadas entre 1985 e 2023, com intensificação de 39% após 2011, e aumento de +31 dias secos consecutivos. As projeções SSP2-4.5 indicam aquecimento de +1,5°C (1,2°C a 1,8°C) em 2030-2050 em relação a 1985-2014 (Tabela 10), com aumento de +80% a +120% na frequência de ondas de calor, e elevação do nível do mar de 0,45-0,77 m até 2100 (0,63-1,02 m no SSP5-8.5; Tabela 13).

As emissões estaduais líquidas totalizaram 8,96 $MtCO_2e$ em 2024 (ano-base oficial, conforme inventário estadual – Produto 1.3; 9,87 $MtCO_2e$ brutas), distribuídas entre Energia (36,4%), Agropecuária (25,5%), IPPU (17,3%), MUT (11,7%) e Resíduos (9,1%). A emissão per capita líquida de 3,83 tCO_2e/hab/ano situa-se acima da trajetória compatível com a meta estadual de 3,58 $MtCO_2e$ em 2035 (≈1,5 tCO_2e/hab/ano). Vulnerabilidades Sociais: O IVS médio estadual de 0,417 (vulnerabilidade alta) esconde desigualdades territoriais. Municípios do Sertão (IVS > 0,400) enfrentam sobreposição de vulnerabilidades climáticas e sociais, configurando hotspots de risco.

6.2. VISÃO ESTRATÉGICA: CINCO EIXOS, UM OBJETIVO

O PEMAMC-SE, aqui delineado estabelece Visão 2050 clara e ambiciosa: *"Sergipe será, em 2050, um estado resiliente ao clima, com economia de baixo carbono, população protegida de eventos extremos, desenvolvimento sustentável e inclusivo, e com governança climática reconhecida como referência nacional"*. Para atingir essa visão, o Plano estrutura-se em cinco eixos estratégicos interdependentes (§4.2) — 1. Monitoramento Climático; 2. Governança Climática Participativa; 3. Mitigação e Adaptação Climática Integradas; 4. Financiamento Climático e Instrumentos Econômicos; e 5. Justiça Climática e Inclusão Socioambiental —, cujas principais metas se sintetizam a seguir:

- Eixo 3, Componente A – Mitigação de Emissões de GEE Meta 2030 (indicativa): Redução de 33% das emissões de GEE em relação à linha de base 2024 (equivalente a evitar emissão de ~2,96 $MtCO_2e$). Esta meta é indicativa e será revisada em 2027. Meta 2035 (oficial): Redução de 60% das emissões (de 8,96 para 3,58 $MtCO_2e$/ano), conforme Lei nº 9.364/2024, Art. 5º, alinhada à NDC brasileira. Esta é a meta oficial de longo prazo do PEMAMC-SE.
    - Estratégias setoriais prioritárias:
        - Agropecuária: Sistemas ILPF em 150.000 ha até 2035; 120 biodigestores (100 novos) (sobretudo na região da bacia leiteira e no Alto Sertão); manejo sustentável de fertilizantes;

- Energia: 1.000 MW de solar fotovoltaica distribuída até 2035; eficiência energética em edificações públicas; mobilidade elétrica (60.000 veículos elétricos até 2035, incluindo 20% da frota pública);
- Florestas: Desmatamento ilegal zero; restauração de 115.000 ha até 2035; fortalecimento de unidades de conservação;
- Resíduos: Reciclagem de 50% dos resíduos urbanos até 2030 (85% até 2035); captura de biogás em 100% dos aterros; compostagem de 30% dos orgânicos.

- Eixo 3, Componente B – Adaptação climática Meta 2030: Redução de 50% no índice de vulnerabilidade climática (de 60 para 30, escala 0–100).
  - Estratégias setoriais prioritárias:
    - Recursos Hídricos: Redução de perdas hídricas de 60% para 25%; infraestrutura resiliente; revitalização de bacias críticas;
    - Saúde: Sistema de alerta precoce para ondas de calor; climatização de 100% das UBS; vigilância de doenças sensíveis ao clima;
    - Cidades: Infraestrutura verde urbana (85% da população urbana com acesso a áreas verdes até 2035); planos diretores adaptados em 75 municípios; drenagem sustentável em 50% das áreas de alto risco;
    - Defesa Civil: Planos de contingência em 75 municípios; 15 COEs regionais; ampliação da rede de monitoramento (22 estações climatológicas de referência e consolidação das 60 estações automáticas da Defesa Civil).
- Eixos 1 e 2 – Monitoramento e Governança Climática Meta 2030: Governança consolidada em 75 municípios (100% do estado).
  - Estratégias prioritárias:
    - Operacionalização plena do CEEMC-SE (composição conforme decreto regulamentador) e GTMC (16 órgãos setoriais);
    - Elaboração e implementação de 75 Planos Municipais de Mudanças Climáticas (PMMC);
    - Capacitação de 1.500 gestores e técnicos públicos (incluindo ~1.000 nos 8 cursos temáticos);
    - Sistema MRV operacional com 48 indicadores (18 mitigação, 22 adaptação, 8 governança);
    - Portal clima.se.gov.br funcional, com dados abertos e participação social (50.000 cidadãos engajados).

6.3. VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCIAMENTO: COMPROMISSO COM RESPONSABILIDADE FISCAL

6.3.1. METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO EM FASES INTEGRADAS: PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO ADAPTATIVO SOB INCERTEZA PROFUNDA

A implementação do PEMAMC-SE demandará investimentos expressivos, multissetoriais e temporalmente distribuídos ao longo de 25 anos (2026-2050) em múltiplas categorias de capital: infraestrutura física resiliente a eventos climáticos extremos (sistemas de drenagem urbana, barragens, estações de tratamento de esgoto, aterros sanitários); tecnologias de baixo carbono com ciclos de inovação acelerados (painéis solares, baterias de armazenamento, veículos elétricos, biodigestores); sistemas de monitoramento climático e hidrometerológico com requisitos de atualização tecnológica periódica; capacitação institucional continuada de gestores públicos; e programas multissetoriais de adaptação que integram dimensões técnicas, sociais e políticas complexas.

O dimensionamento preciso desses investimentos (valores absolutos em reais, cronogramas financeiros trimestrais, distribuição entre categorias orçamentárias, fontes discriminadas), a análise rigorosa de seus retornos socioeconômicos diretos e indiretos (geração de empregos, impactos no PIB setorial, arrecadação tributária incremental, benefícios de saúde pública, valoração de serviços ecossistêmicos), a avaliação de impactos fiscais de curto e longo prazo (pressões sobre orçamento corrente, capacidade de endividamento, compatibilização com limites da Lei de Responsabilidade Fiscal) e a elaboração de estratégias viáveis de financiamento multifonte (orçamento estadual, *transfers* federais, fundos climáticos internacionais, bancos multilaterais, parceria público-privada, mercado de capitais) serão objeto de programa estruturado e metodologicamente rigoroso de pesquisas econômicas complementares a ser conduzido durante Fase Preparatória Obrigatória (2026), antecedendo início de implementação operacional.

Adota-se, assim, abordagem metodológica em duas fases sequenciais e funcionalmente diferenciadas:

1. Fase de planejamento estratégico que estabelece visão de longo prazo, diagnóstico de problemas, metas orientadoras e portfólio de ações potenciais; seguida por,
2. Fase de planejamento operacional que produz análises econômicas aprofundadas, dimensionamento orçamentário detalhado, cronogramas

executáveis e arranjos institucionais operacionais, que constitui prática internacional consolidada e metodologicamente recomendada em planejamento climático subnacional por organizações como IPCC, Banco Mundial, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, e *World Resources Institute*.

Esta separação funcional reconhece realidade pragmática: a primeira fase (presente documento) cumpre função política essencial de construir consenso social e político em torno de visão estratégica de longo prazo, estabelecer bases científicas robustas (diagnóstico climático, inventário de emissões, análise de vulnerabilidades), e definir princípios orientadores e metas agregadas que conferem direção.

A segunda fase desce a nível operacional de detalhamento requerido para implementação efetiva. Esta abordagem fundamenta-se conceitualmente em princípios de planejamento estratégico adaptativo sob condições de incerteza profunda (*deep uncertainty).*

Variáveis-chave que determinam custos, benefícios e viabilidade de ações climáticas estão sujeitas a incertezas estruturais irredutíveis no horizonte de planejamento:

1. Custos de tecnologias emergentes (painéis solares, baterias de íons de lítio, veículos elétricos) que historicamente demonstram trajetórias de redução exponencial não-lineares (solar fotovoltaica reduziu custos em 89% entre 2010-2022 segundo IRENA) mas cujas dinâmicas futuras dependem de inovações tecnológicas imprevisíveis, economias de escala globais, políticas comerciais e cadeias de suprimento voláteis;
2. Disponibilidade futura de mecanismos de financiamento climático internacional (Green Climate Fund, bancos multilaterais, cooperação bilateral) que depende de negociações geopolíticas multilaterais, prioridades cambiantes de países doadores, e condicionalidades político-institucionais;
3. Capacidade de execução institucional do aparato estatal sergipano que dependerá de processos de fortalecimento gradual (concursos públicos, capacitação, aquisição de sistemas informacionais) cujos resultados manifestam-se em prazos multianuais;
4. Cenários macroeconômicos nacionais (crescimento do PIB, inflação, taxa de câmbio, taxa de juros) que afetam diretamente custos de investimentos, capacidade fiscal estadual e viabilidade de projetos;
5. Dinâmicas de mercado (preços de commodities agrícolas, demanda por energia, taxa de adoção de veículos elétricos) influenciadas por fatores exógenos globais.

Estas incertezas estruturais de natureza estocástica e epistêmica tornariam qualquer quantificação orçamentária atual (2025) inevitavelmente especulativa e

vulnerável a erros de magnitude potencialmente superior a 50-100%, comprometendo credibilidade do planejamento e utilidade para tomada de decisão orçamentária. Com efeito, incertezas estruturais, ligadas à estrutura do modelo ou do sistema que está sendo analisado, e as chamadas estocásticas referem-se à variabilidade aleatória inerente ao sistema, que não pode ser eliminada, apenas estimada probabilisticamente.

Em vez de incorrer em falsa precisão mediante apresentação de valores orçamentários baseados em pressupostos frágeis ou interpolações simplistas de custos observados em outros contextos (que podem diferir substantivamente devido a especificidades tecnológicas, institucionais, econômicas e geográficas), o PEMAMC-SE adota conscientemente postura de responsabilidade científica e fiscal que explicita limitações informacionais atuais e condiciona formalmente o início da implementação operacional efetiva à conclusão bem-sucedida de estudos econômico-financeiros robustos.

6.4. IMPLEMENTAÇÃO: FASEAMENTO, PRIORIZAÇÃO E COORDENAÇÃO

O Capítulo 4 apresenta Plano de Implementação pragmático, reconhecendo que a transformação climática de Sergipe não ocorrerá instantaneamente, mas por meio de processos graduais, adaptativos e participativos.

Horizonte Temporal:

- Curto Prazo (2026–2030): Estruturação institucional, ações prioritárias, primeira revisão quinquenal;
- Médio Prazo (2031–2040): Consolidação e expansão de ações, segunda revisão quinquenal;
- Longo Prazo (2041–2050): Transformação estrutural, neutralidade de carbono, terceira revisão quinquenal.

Faseamento 2026–2030:

- Fase 1 – Estruturação (2026–2027): Regulamentação institucional, elaboração do Plano de Ação Detalhado, estudos de baseline, capacitação inicial, mobilização de recursos;
- Fase 2 – Aceleração (2028–2029): Implementação massiva de ações P1, operacionalização do Sistema MRV, desenvolvimento do Portal clima.se.gov.br, apoio a 50 Planos Municipais;
- Fase 3 – Consolidação (2030): Avaliação abrangente, primeira revisão quinquenal do PEMAMC-SE, conclusão de apoio aos 75 municípios, preparação do ciclo 2031–2035.

Coordenação Institucional: A matriz de responsabilidades distribui atribuições entre CEEMC-SE (coordenação estratégica), GTMC (coordenação operacional), 16 órgãos setoriais (execução), Painel Científico (suporte técnico), municípios (implementação local) e sociedade civil (participação e controle social). Esta arquitetura de governança policêntrica fortalece legitimidade, eficiência e capacidade de adaptação frente a contextos cambiantes.

6.5. MONITORAMENTO, REPORTE E VERIFICAÇÃO: TRANSPARÊNCIA COMO PILAR

A metodologia de monitoramento trimestral, relatórios anuais, inventários bienais de GEE e verificação externa bienal assegura que a implementação seja rastreável, transparente e verificável. Inovação: Portal clima.se.gov.br: O Portal será plataforma integrada de transparência, educação, serviços climáticos e participação social. Disponibilizará dados abertos, indicadores atualizados, relatórios de monitoramento, consultas públicas e ouvidoria climática. A meta de 100.000 visitas mensais até 2030 reflete ambição de tornar a política climática sergipana acessível e apropriada pela sociedade. Gestão Adaptativa: O PEMAMC-SE não é documento estático. A revisão quinquenal (2030, 2035, 2040, 2045, 2050) permite incorporar avanços científicos (novos cenários climáticos do IPCC, metodologias aprimoradas de MRV), ajustar metas frente a resultados alcançados, e responder a mudanças em contextos político, econômico e tecnológico. Esta flexibilidade planejada é condição de resiliência institucional.

6.6. CAPACITAÇÃO, EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO: INVESTINDO EM PESSOAS

O Capítulo 5 reconhece que tecnologia e recursos financeiros são insuficientes sem pessoas qualificadas, conscientes e mobilizadas. As estratégias de capacitação de gestores, educação climática formal e comunicação social são investimentos em capital humano e social, condições habilitadoras de longo prazo para a política climática. Capacitação de Gestores: A formação de 1.500 gestores e técnicos públicos (incluindo ~1.000 nos 8 cursos temáticos) fortalecerá capacidades técnicas de órgãos estaduais e municipais para elaboração de políticas, elaboração de projetos, captação de recursos, monitoramento de indicadores e prestação de contas. Gestores capacitados são agentes de mudança institucional. Educação Climática: A integração da temática climática em 100% das escolas públicas estaduais até 2028, com formação de 2.000 professores, promoverá consciência crítica e cidadania ativa de crianças e jovens. A educação climática não visa apenas transmitir informações, mas formar cidadãos capazes de questionar padrões

insustentáveis de produção e consumo, e protagonizar transformações locais. Comunicação Social: A meta de 50.000 cidadãos engajados até 2030 (via campanhas, Portal, eventos, 300 Agentes Climáticos Comunitários) ampliará base social de apoio à política climática, facilitará mudanças comportamentais (consumo consciente, reciclagem, mobilidade sustentável) e fortalecerá controle social sobre a implementação do PEMAMC-SE.

6.7. DESAFIOS À IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do PEMAMC-SE enfrentará desafios importantes, que não devem ser subestimados:

- **Desafios Políticos Continuidade de Compromisso:** A transição climática é processo de longo prazo (2026–2050), atravessando múltiplas gestões governamentais. Garantir continuidade de políticas frente a mudanças de governo e prioridades políticas variáveis é desafio central. A institucionalização da política climática (via CEEMC-SE, GTMC, Sistema MRV, Portal, legislação) busca criar resiliência institucional, mas demandará vigilância constante. Articulação Federativa: A efetividade do PEMAMC-SE será fortalecida pela coordenação com políticas federais (NDC brasileira, PNMC, Plano Nacional de Adaptação) e municipais (75 Planos Municipais). Ações interfederativas (gestão de bacias hidrográficas, transição energética, combate ao desmatamento) serão implementadas através do CEEMC-SE e instâncias de articulação federativa. Resistências Setoriais: Setores econômicos cujos modelos de negócio são carbono-intensivos (agropecuária convencional, transporte rodoviário, indústria) podem resistir a mudanças. A transição justa, enfatizada no Eixo 5 (§4.8), exige diálogo, compensações e alternativas viáveis para evitar conflitos distributivos.
- **Desafios Econômicos e Financeiros Mobilização de Recursos:** A implementação do PEMAMC-SE demandará investimentos significativos e sustentados ao longo de 25 anos. A capacidade de captação de recursos federais, internacionais e privados dependerá de qualidade de projetos, capacidade de negociação, credibilidade institucional e alinhamento com prioridades de financiadores. A Unidade de Gestão de Projetos, prevista no §4.7.6, será crítica para este fim. Gestão Fiscal Estratégica: A alocação de recursos orçamentários estaduais para políticas climáticas será equilibrada com outras prioridades (saúde, educação, segurança, infraestrutura). A estratégia multifonte diversifica fontes de financiamento, incluindo recursos federais, internacionais e privados, fortalecendo a sustentabilidade fiscal do plano. Custo de Tecnologias: A transição energética e a adaptação climática utilizarão tecnologias (painéis solares, sistemas de armazenamento, infraestrutura verde, sistemas de alerta precoce) cujos custos apresentam tendência de redução. Reduções de custos tecnológicos (observadas em solar fotovoltaica, eólica, baterias) são tendência global consolidada.

- **Desafios Técnicos e de Capacidade Institucional Déficit de Dados:** O diagnóstico do Capítulo 3 identificou lacunas de dados (ausência de Balanço Energético Estadual, inventários de GEE municipais, séries históricas completas de variáveis climáticas, dados de vulnerabilidade social desagregados). O preenchimento destas lacunas, previsto no Sistema MRV, demandará investimentos em sistemas de monitoramento, capacitação de técnicos e parcerias com instituições de pesquisa. Capacidade Institucional Limitada: Muitos municípios sergipanos, especialmente de pequeno porte, têm capacidade técnica e institucional limitada para elaboração e implementação de Planos Municipais de Ação Climática. O apoio técnico estadual, previsto no §4.5.4, será essencial, mas demandará recursos humanos e financeiros substanciais. Complexidade de Coordenação: A implementação do PEMAMC-SE envolve 16 órgãos setoriais estaduais, 75 prefeituras, universidades, ONGs, setor privado, órgãos federais e organismos internacionais. Coordenar ações de tantos atores, evitar duplicações, resolver conflitos de atribuições e garantir sinergia é desafio de gestão complexo. A Secretaria Executiva do CEEMC-SE, com equipe técnica qualificada e recursos adequados, será central para esta coordenação.
- **Desafios Sociais e Comportamentais Percepção Pública:** Apesar de evidências científicas robustas, a percepção pública sobre Mudanças Climáticas é heterogênea. Negacionismo climático, desinformação e baixa percepção de urgência podem dificultar mobilização social e aceitação de políticas (ex.: restrições ao desmatamento, taxação de emissões, mudanças no uso do solo). As estratégias de comunicação e educação climática buscam enfrentar este desafio, mas resultados virão no médio/longo prazo. Desigualdades Sociais: Sergipe é um Estado marcado por desigualdades sociais e territoriais. Políticas climáticas mal desenhadas podem agravar estas desigualdades (ex.: aumento de tarifas de energia afetando desproporcionalmente populações de baixa renda; restrições ao uso da terra prejudicando agricultores familiares sem alternativas viáveis). A justiça climática, princípio estruturante do PEMAMC-SE, exige atenção constante às dimensões distributivas de todas as políticas.

6.8. PERSPECTIVAS: SERGIPE COMO REFERÊNCIA SUBNACIONAL

A implementação bem-sucedida do PEMAMC-SE posicionará Sergipe como estado referência em governança climática subnacional no Brasil. Sergipe será reconhecido por:

- Planejamento Integrado: Articulação entre diagnóstico robusto, metas ambiciosas, mas factíveis, estratégias setoriais detalhadas, governança policêntrica e Sistema MRV transparente;
- Participação Social: Envolvimento sistemático de 50.000 cidadãos, consultas públicas em todas as fases, transparência via Portal clima.se.gov.br e controle social institucionalizado;

- Inovação Institucional: Criação de instrumentos pioneiros (FEMC-SE, Painel Científico, Agentes Climáticos Comunitários, Portal com dados abertos e serviços climáticos);
- Articulação Federativa: Coordenação exemplar entre estado e 75 municípios, com apoio técnico e financeiro para elaboração e implementação de Planos Municipais;
- Capacitação Sistemática: Formação de 300 gestores e 2.000 professores, criando massa crítica de profissionais qualificados em clima.

Sergipe poderá compartilhar lições aprendidas, metodologias e ferramentas com outros estados nordestinos e brasileiros, contribuindo para escalamento de políticas climáticas subnacionais no país. A participação em redes nacionais (Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, Rede Clima) e internacionais (ICLEI, Regions4, Under2 Coalition) ampliará visibilidade e acesso a recursos técnicos e financeiros.

6.9. MENSAGEM FINAL: DA URGÊNCIA À AÇÃO, DA AÇÃO À TRANSFORMAÇÃO

As Mudanças Climáticas não são ameaças distantes ou abstratas; são realidade presente em Sergipe. As 404 ondas de calor registradas entre 1985 e 2024, as secas recorrentes no Sertão, a erosão costeira acelerada, os impactos na produção agrícola e na saúde pública são manifestações visíveis e mensuráveis de um planeta em aquecimento. As projeções indicam agravamento destes impactos nas próximas décadas, caso a ação humana não mude trajetórias de emissões e vulnerabilidades.

O PEMAMC-SE é resposta de Sergipe a esta urgência. Não é resposta completa — nenhum plano estadual sozinho resolverá crise global. Mas é resposta necessária, possível e transformadora na perspectiva estadual. Necessária, porque a inação custará vidas, recursos e oportunidades. Possível, porque tecnologias, conhecimentos e recursos existem ou são mobilizáveis. Transformadora, porque a transição climática é também transição civilizatória, demandando mudanças em como produzimos, consumimos, nos relacionamos com natureza e uns com os outros. A trajetória de Sergipe rumo à resiliência climática e à economia de baixo carbono não será linear. Haverá avanços e retrocessos, sucessos e fracassos, aprendizados e ajustes. Mas o compromisso com esta trajetória, expresso neste Plano, é irreversível. A história julgará nossa geração pela coragem de agir ou pela omissão frente ao maior desafio de nossa era. Sergipe opta pela ação. E convoca todos os seus cidadãos, instituições e lideranças a juntar forças na construção de futuro climático seguro, justo e sustentável. Que o PEMAMC-SE seja não o fim, mas o início de uma nova era para Sergipe.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Legislação Consultada

- ARACAJU. SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO (SEPLAN). Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano da Cidade de Aracaju - PDDU. Aracaju.2021.
- BRASIL. Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022. Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de mitigação e institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 mai. 2022.
- BRASIL. Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009. Cria o Fundo Nacional sobre Mudanças Climáticas, altera os arts. 6º e 50 da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 dez. 2009.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília: INMET, 1992. 84 p.
- BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 jan. 2021.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 set. 1981.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000.
- BRASIL. Plano Nacional de Adaptação à Mudanças do Clima (PNA). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. 357 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 396/2008 (classificação e diretrizes ambientais para águas subterrâneas). Acesso em: 15 jan. 2026.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 nov. 2018.

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Plano Decenal de Expansão de Energia 2032. Rio de Janeiro: EPE, 2023. 412 p.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Plano Anual da Operação Energética 2024. Rio de Janeiro: ONS, 2023. 186 p.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Acordo de Paris. Paris: UNFCCC, 2015. 27 p.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DE SERGIPE (SEMARH). Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe. Aracaju: SEMARH, 2020. 342 p.
- SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO DE SERGIPE (SEPLAG). Plano Plurianual 2024-2027. Aracaju: SEPLAG, 2023. 428 p.
- SERGIPE PARQUE TECNOLÓGICO (SERGIPETEC). Plano de Inovação e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável de Sergipe 2025-2030. Aracaju: SERGIPETEC, 2025b. 148 p.
- SERGIPE. Lei Estadual nº 5.858, de 22 de março de 2006. Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente de Sergipe. Diário Oficial do Estado de Sergipe, Aracaju, SE, 23 mar. 2006.
- SERGIPE. Lei Estadual nº 8.497, de 9 de dezembro de 2021. Institui o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Sergipe (PERS). Diário Oficial do Estado de Sergipe, Aracaju, SE, 10 dez. 2021.
- SERGIPE. Lei Estadual nº 8.785, de 10 de dezembro de 2020. Institui a Política Estadual de Combate e Prevenção à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado de Sergipe. Diário Oficial do Estado de Sergipe, Aracaju, SE, 11 dez. 2020.
- SERGIPE. Lei Estadual nº 9.364, de 15 de maio de 2024. Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Sergipe, Aracaju, SE, 16 mai. 2024.
- SERGIPE. Portaria SEMARH nº 456, de 20 de abril de 2023. Estabelece diretrizes para o monitoramento e controle de recursos hídricos no Estado de Sergipe. Diário Oficial do Estado de Sergipe, Aracaju, SE, 21 abr. 2023.

Instituições, Documentos Técnicos e Relatórios Institucionais

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasília: ANA, 2017. 88 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada. Brasília: ANA, 2019. Acesso em: 15 jan. 2026.

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019. Brasília: ANA, 2019. 102 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023. Brasília: ANA, 2023. 114 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2023. Rio de Janeiro: ANP, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2023. Acesso em: 15 out. 2025.
- ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA Brasil). Sementes do Semiárido. 2024. Acesso em: 15 jan. 2026.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14064-1: GEE – Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2023. São Paulo: ANDA, 2023.
- BANCO MUNDIAL. *Climate Risk Country Profile: Brazil*. Washington, DC: World Bank Group, 2021. 36 p.
- BANCO MUNDIAL. *State and Trends of Carbon Pricing* 2023. Washington, DC: World Bank, 2023. 78 p.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991-2012. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEMADEN, 2013. 127 p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Inventário de Emissões do Transporte Regional. São Paulo: CETESB, 2023. 148 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2023/24. Brasília: CONAB, 2024. v. 11, n.5. 124 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Capacidade Estática de Armazenagem Cadastrada (SE). Brasília: CONAB, 2026.
- DESO. Companhia de Saneamento de Sergipe. Indicadores de Desempenho 2018. Aracaju: DESO, 2018. Disponível em: https://www.deso-se.com.br/menu/indicadores. Acesso em: 15 jan. 2026.

- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). Supporting adaptation to climate change (ProAdapta). Brasília: GIZ, 2024.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Brasília: Embrapa, 1974.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: ILPF em números. Brasília: Embrapa, 2016. 12 p.
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DE SERGIPE (EMDAGRO). Relatório de Atividades 2022. Aracaju: EMDAGRO, 2023. 30 p.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2024.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). GACSA. REVIEW Index-based insurance for Climate-Smart Agriculture. Roma: FAO, 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *The State of Food and Agriculture 2019*. Roma: FAO, 2019.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The State of Food and Agriculture 2021. Rome: FAO, 2021.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS). São Paulo: Seade, 2023.
- GBD 2021 HAP COLLABORATORS. Global, regional, and national burden of household air pollution, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. The Lancet, London, v. 404, n. 10468, p. 1-28, nov. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02840-X. Acesso em: 20 jan. 2026.
- GLOBAL CARBON PROJECT. Global Carbon Budget 2023. [S.l.]: Global Carbon Project, 2023. Disponível em: https://globalcarbonbudget.org/carbonbudget2023/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL. Inventários de emissões de gases de efeito estufa para cidades - GPC. [S.l.]: GHG Protocol, 2017. Disponível em: https://ghgprotocol.org/blog/invent%C3%A1rios-de-emiss%C3%B5es-de-gases-de-efeito-estufa-para-cidades-gpc. Acesso em: 20 jan. 2026.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agro 2017. Rio de Janeiro: IBGE, [2019]. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/. Acesso em: 20 jan. 2026.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal (PAM) 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produto interno bruto dos municípios. Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.]. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html. Acesso em: 20 jan. 2026.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Relatório de qualidade do meio ambiente: RQMA Brasil 2020. Brasília: IBAMA, 2022. 557 p.
- INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). 1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. São Paulo: IEMA, 2014. 277 p.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros. Brasília: Ipea, 2015. 84 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020. Brasília: INMET, 2022.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2021-2022: relatório técnico. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2023.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). PRODES - Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Brasília: Portal Brasileiro de Dados Abertos, [2022]. Conjunto de dados. Disponível em: https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/prodes. Acesso em: 20 jan. 2026.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IGES, 2006. 5 v.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Kyoto: IPCC, 2019.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/. Acesso em: 20 jan. 2026.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H. Lee e J. Romero (eds.). Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Global Warming of 1.5°C: an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. V. Masson-Delmotte et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2018. Disponível em: https://www.ipcc.ch/sr15/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Net Zero by 2050: a roadmap for the global energy sector. Paris: IEA, 2021. 224 p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA, 2023. 335 p.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewable Power Generation Costs in 2022. Abu Dhabi: IRENA, 2023. 208 p.
- ISO 14064-3:2019. Greenhouse gases - Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements. Geneva: International Organization for Standardization, 2019.
- LITMAN, T. Economic Value of Walkability. Victoria Transport Policy Institute, 2020. Acesso em: 16 jan. 2026.
- MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil: Coleção 8. São Paulo: MapBiomas, 2023. Disponível em: https://mapbiomas.org. Acesso em: 20 out. 2024.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR) - Dados Abertos 2016-2024. Brasília: MAPA, 2024.

- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTI). Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudanças Climáticas no Brasil. Brasília: MCTI, 2016. 590 p.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. Quarta comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: MCTI, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes-mcti/quarta-comunicacao-nacional-do-brasil-a-unfccc/sumario_executivo_4cn_brasil_web.pdf. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 4. ed. Brasília: MCTIC, 2017. 91 p.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA. SECRETARIA ESPECIAL DE PRODUTIVIDADE E COMPETITIVIDADE. Avaliação de metodologias de levantamento de risco climático e fontes de dados e informações climáticas: anexo ao Guia ACB. Brasília: Ministério da Economia, 2022.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/base-nacional-comum-curricular-bncc. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES/DATASUS). Brasília: MS, 2024.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Plano setorial da saúde para mitigação e adaptação à mudança do clima. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Plano setorial de adaptação à mudança do clima: AdaptaSUS. Brasília: Ministério da Saúde, 2025. Apresentação. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes/2025/adaptasus.pdf. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). Brasília: Ministério da Saúde, [s.d.]. Disponível em: https://portalsinan.saude.gov.br/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM). Brasília: Ministério da Saúde, [s.d.]. Disponível em: http://sim.saude.gov.br/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. Agência Brasileira de Cooperação; DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. Manual operacional da cooperação trilateral Brasil-Alemanha. Brasília: ABC; GIZ, 2015. 160 p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. A Estratégia Nacional para REDD+ do Brasil. Brasília: MMA, [2016]. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/departamento-de-instrumentos-de-mercado-e-redd/redd/assuntos/a-estrategia-nacional-para-redd-do-brasil. Acesso em: 20 jan. 2026.

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. Guia para a Elaboração de Planos de Adaptação à Mudança do Clima. Ed. 3. Brasília: MMA. 2022. 178 p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. NDC: Ambição climática do Brasil. Brasília: MMA, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/NDC. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Brasília: MMA, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbc/dpeb/politica-nacional-de-pagamento-por-servicos-ambientais. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. PPCaatinga. Brasília: MMA, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/controle-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/ppcaatinga. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DOS DIREITOS HUMANOS E DA CIDADANIA. Censo Demográfico 2022. Brasília: MDHC, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mdh/pt-br/acesso-a-informacao/ferramentas-e-aspectos-tecnologicos/censo-demografico-2022. Acesso em: 20 jan. 2026.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Frota de Veículos - 2023. Brasília: Ministério dos Transportes, 2024.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Frota de Veículos - 2022. Brasília: Ministério dos Transportes, 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Contas regionais do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.]. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html. Acesso em: 20 jan. 2026.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris: documento de análise 2018. Organização de Tasso Rezende de Azevedo e Claudio Angelo. [S.l.]: Observatório do Clima, 2018. Disponível em: https://ubrabio.com.br/wp-content/uploads/2018/11/Relatorios-SEEG-2018-Sintese-FINAL-v1.pdf. Acesso em: 20 jan. 2026.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). Nova York: ONU, 1992.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Tradução: Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Rio de Janeiro: UNIC Rio, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf. Acesso em: 20 jan. 2026.

- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). BASE CIENTÍFICA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS - Volume 1 Completo. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2020. 111 p.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). IMPACTOS, VULNERABILIDADES E ADAPTAÇÃO - Volume 2 Completo. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016. 422 p.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS - Volume 3 Completo. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016. 456 p.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Relatório especial 2023: 25 anos de desenvolvimento humano no Brasil: construir caminhos, pactuando novos horizontes. Brasília: PNUD, 2024.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. Instituto Geológico. Mapeamento de áreas de risco de municípios. São Paulo: Instituto Geológico, [2017]. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2017/01/mapeamento-de-areas-de-risco-de-municipios/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- SERGIPE PARQUE TECNOLÓGICO (SERGIPETEC). Painel de Biometano. São Cristóvão: SergipeTec, 2025a. Disponível em: https://sergipetec.org.br/painel-de-biometano/. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SERGIPE. Ministério Público do Estado de Sergipe (MPSE). MPSE e Iguá Sergipe firmam Termo de Cooperação para combater perdas de água e irregularidades no saneamento básico. Aracaju: MPSE, 8 ago. 2025. 2025c. Disponível em: https://www.mpse.mp.br/index.php/2025/08/08/mpse-e-igua-sergipe-firmam-termo-de-cooperacao-para-combater-perdas-de-agua-e-irregularidades-no-saneamento-basico/. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia (SEDETEC). Artigos Técnicos SergipeTec: Energia Solar em Sergipe – Uma análise dos dados do estado. Aracaju: SEDETEC, 2021. Disponível em: https://sedetec.se.gov.br/artigos-tecnicos-sergipetec-energia-solar-em-sergipe-uma-analise-dos-dados-do-estado/. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC). Serhidro Geo: Portal de Informações Geográficas do Sistema de Recursos Hídricos de Sergipe. Aracaju: SEMAC, 2026.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). Relatório Anual 2022. Rio de Janeiro: SNIC, 2023. 48 p.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Acordo de Paris. Adotado em 12 de dezembro de 2015, ratificado pelo Brasil em 12 de setembro de 2016. Paris: Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, 2015.

- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment. Geneva: WHO, [s.d.]. Disponível em: https://www.who.int/tools/compendium-on-health-and-environment. Acesso em: 20 jan. 2026.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Heat and health. Geneva: WHO, 2024. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health. Acesso em: 20 jan. 2026.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Regional Office for Europe. Urban green spaces and health: a review of evidence. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2016. Disponível em: https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341. Acesso em: 20 jan. 2026.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). WHO Global Air Quality Guidelines. Questions and answers. Geneva: WHO, 2021. Disponível em: https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines. Acesso em: 20 jan. 2026.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Guidelines on the definition and characterization of extreme weather and climate events. 2023 edition. Geneva: WMO, 2023. (WMO-No. 1310).
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). State of the Global Climate 2023. Geneva: WMO, 2024. (WMO-No. 1347). Disponível em: https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2023. Acesso em: 20 jan. 2026.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). Climate Watch. Washington, D.C., [s.d.]. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/. Acesso em: 20 jan. 2026.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: an accounting and reporting standard for cities. Washington, D.C.: WRI; C40; ICLEI, 2014. Disponível em: https://ghgprotocol.org/ghg-protocol-cities. Acesso em: 20 jan. 2026.

Publicações Científicas Complementares

- ALVALÁ, R. C. S. et al. Drought monitoring in the Brazilian semiarid region. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 91, suppl. 1, e20170209, 2019. https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ALVES, L. M. et al. Assessment of rainfall variability and future change in Brazil across multiple timescales. International Journal of Climatology, v. 41, suppl. 1, p. E1875-E1888, 2021. DOI: 10.1002/joc.6818.

- AVILA-DIAZ, A. et al. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. Climate Dynamics, [S. l.], v. 55, n. 5-6, p. 1403-1426, set. 2020. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05333-z.
- BENEDICT, M.; MCMAHON, E. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Washington: Island Press, 2006.
- Boissiere, M.; Atmadja, S.; Guariguata, M.R.; Kassa, H.; Sist, P. Perspectives on the socio-economic challenges and opportunities for tree planting: A case study of Ethiopia. Forest Ecology and Management, v 497, 2021. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119488
- CANNON, A. J.; SOBIE, S. R.; MURDOCK, T. Q. Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? Journal of Climate, v. 28, n. 17, p. 6938-6959, 2015. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00754.1.
- CASTLETON, H. et al. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. Energy and Buildings, v. 42, p. 1582-1591, 2010. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.004
- COSTA, M. H.; PIRES, G. F. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. International Journal of Climatology, v. 30, n. 13, p. 1970-1979, 2010. DOI: 10.1002/joc.2048.
- COSTA, Marco Aurélio et al. Vulnerabilidade social no Brasil: conceitos, métodos e primeiros resultados para municípios e regiões metropolitanas brasileiras. Rio de Janeiro: Ipea, 2018.
- COSTA, R. L. et al. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. Weather and Climate Extremes, [S. l.], v. 28, art. 100254, jun. 2020. https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100254
- CUNHA, A. P. M. A. et al. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. Atmosphere, v. 10, n. 11, e642, 2019. DOI: 10.3390/atmos10110642.
- CUNHA, Ana Paula M. A. et al. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. Atmospheric Science Letters, [S. l.], v. 19, n. 10, e855, out. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1002/asl.855. Acesso em: 20 jan. 2026.
- DA SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. Journal of Arid Environments, v. 58, n. 4, p. 575-596, 2004. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2003.12.002.
- DANTAS, L. G. et al. Projections of extreme weather events according to climate change scenarios and populations at-risk in Brazil. Climatic Change, [S. l.], v. 178, art. 152, ago. 2025. https://doi.org/10.1007/s10584-025-03989-2.
- DUARTE, H. F.; DIAS, N. L.; MAGGIOTO, S. R. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in

Southern Brazil. Agricultural and Forest Meteorology, v. 139, n. 3-4, p. 171-181, 2006. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.06.008.

- EYRING, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development, v. 9, n. 5, p. 1937-1958, 2016. DOI: 10.5194/gmd-9-1937-2016.
- FEARNSIDE, P. M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management, v. 90, n. 1, p. 59-87, 1997. DOI: 10.1016/S0378-1127(96)03840-6.
- FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012.
- HARTIG, T. et al. Nature and health. Annual Review of Public Health, v. 35, p. 207-228, 2014. DOI: 10.1146/annurev-publhealth-032013-182443
- KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods. 4th ed. London: Charles Griffin, 1975. 202 p.
- LA ROVERE, Emilio Lèbre; GESTEIRA, Claudio; GROTTERA, Carolina; WILLS, William. Pathways to deep decarbonization in Brazil. [S. l.]: Sustainable Development Solutions Network (SDSN); Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRI), 2015.
- LI, Y.; BABCOCK JR, R. W. Green roof hydrologic performance and modeling: a review. Water Sci Technol. 2014;69(4):727-38. doi: 10.2166/wst.2013.770.
- MAGALHÃES, A. R.; GLANTZ, M. H. Socioeconomic impacts of climate variations and policy responses in Brazil. Nairobi: UNEP: Fortaleza, Brazil: Secretariat for Planning and Coordination of the State of Ceará; Brasilia: Esquel Brazil Foundation, Jan. 1992. 155 p.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. Econometrica, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945. DOI: 10.2307/1907187.
- MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 90, n. 2, 2018. DOI: 10.1590/0001-3765201720170206.
- MARENGO, J. A. et al. Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. Climate Resil Sustain. 2022;1:e17, 2021. https://doi.org/10.1002/cli2.17.
- MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. Climatic Change, [S. l.], v. 129, n. 1-2, p. 103-115, mar. 2015. https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1.
- NASCIMENTO, R. de S.; BORGES, V. P.; MELO, D. de C. D. Implications of climate change on water availability in a seasonally dry tropical forest in

the Northeast of Brazil. Revista Ceres, Viçosa, v. 70, n. 3, p. 1-11, 2023. https://doi.org/10.1590/0034-737X202370030001.

- NOWAK, D. et al. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. Environmental Pollution, v 178, 2013. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019.
- O'NEILL, B. C. et al. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. Global Environmental Change, v. 42, p. 169-180, 2017. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004.
- OLIVEIRA, P. T. S. et al. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. Water Resources Research, v. 50, n. 9, p. 7100-7114, 2014. DOI: 10.1002/2013WR015202.
- RODRIGUES, G. C.; BRAGA, R. P. Evaluation of NASA POWER reanalysis products to estimate daily weather variables in a hot summer Mediterranean climate. Agronomy, v. 11, n. 6, 2021. https://doi.org/10.3390/agronomy11061207.
- SOBRAL, B. S. et al. Drought characterization for the state of Rio de Janeiro based on the annual SPI index: trends, statistical tests and its relation with ENSO. Atmospheric Research, v. 220, p. 141-154, 2019. DOI: 10.1016/j.atmosres.2019.01.003.
- TEBALDI, C. et al. Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. Earth System Dynamics, v. 12, n. 1, p. 253-293, 2021. DOI: 10.5194/esd-12-253-2021.
- TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A. R. Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraquecaba Climate Action Project, Paraná, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST CARBON SEQUESTRATION AND MONITORING, 2002, Taiwan. Proceedings… Taipei: Taiwan Forestry Research Institute, 2002. Extension Serie No. 153. p. 98-115.
- TOMASELLA, J. et al. The droughts of 1996-1997 and 2004-2005 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem. Hydrological Processes, v. 25, n. 8, p. 1228-1242, 2010. DOI: 10.1002/hyp.7889.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). International Journal of Climatology, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. DOI: 10.1002/joc.4518.
- ZANDONADI, L. et al. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). Theoretical and Applied Climatology, v. 123, n. 3-4, p. 741-756, 2016. DOI: 10.1007/s00704-015-1391-4.
- ZHANG, X. et al. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. WIREs Climate Change, v. 2, n. 6, p. 851-870, 2011. DOI: 10.1002/wcc.147.

8. GLOSSÁRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO

8.1. APRESENTAÇÃO

Este glossário consolida 79 termos técnico-científicos especializados utilizados ao longo do PEMAMC-SE, organizados por categorias temáticas para facilitar a consulta. As definições foram elaboradas com base em documentos oficiais do IPCC, UNFCCC, MCTI e literatura científica internacional, garantindo precisão terminológica e alinhamento com a nomenclatura técnica global. Público-alvo: Gestores públicos, técnicos, pesquisadores, membros do CEEMC-SE e sociedade civil interessada em políticas climáticas.

8.2. ACORDOS E POLÍTICAS INTERNACIONAIS

- **Acordo de Paris:** Tratado internacional firmado em 2015 durante a COP21 (Paris, França) que estabelece meta global de limitar o aquecimento do planeta a bem abaixo de 2°C, preferencialmente 1,5°C, em relação aos níveis pré-industriais. Ratificado por 196 países, incluindo o Brasil em 2016.
- **COP (Conferência das Partes):** Reunião anual dos países signatários da UNFCCC para negociar e avaliar o progresso das ações climáticas globais. A COP28 (Dubai, 2023) marcou o primeiro balanço global (Global Stocktake) do Acordo de Paris.
- **IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)**: Órgão científico da ONU criado em 1988 que avalia evidências científicas sobre Mudanças Climáticas, seus impactos e opções de mitigação e adaptação. Publica relatórios de avaliação a cada 6-7 anos (último: AR6, 2021-2023).
- **NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada)**: Meta climática que cada país signatário do Acordo de Paris assume voluntariamente para reduzir emissões de GEE e aumentar resiliência. O Brasil comprometeu-se a reduzir 53% das emissões até 2030 (linha de base 2005) em sua NDC atualizada (2022).
- **ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável):** Conjunto de 17 metas globais adotadas pela ONU em 2015 (Agenda 2030) que incluem o ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima, diretamente alinhado ao PEMAMC-SE.
- **UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas)**: Tratado internacional assinado na Rio-92 que estabelece estrutura de cooperação global para limitar o aquecimento atmosférico e lidar

com os impactos das Mudanças Climáticas. Entrou em vigor em 1994 com 197 países-membros.

8.3. POLÍTICA NACIONAL E ESTADUAL

- **ABC (Agricultura de Baixo Carbono):** Programa do Ministério da Agricultura e Pecuária que promove práticas agrícolas sustentáveis (ILPF, plantio direto, recuperação de pastagens, fixação biológica de nitrogênio) para reduzir emissões e aumentar produtividade. Linha de crédito rural com juros subsidiados.
- **CAR (Cadastro Ambiental Rural):** Registro eletrônico obrigatório (Lei Federal nº 12.651/2012) que mapeia áreas de preservação permanente (APP), reserva legal, uso consolidado e remanescentes de vegetação nativa em imóveis rurais. Base para regularização ambiental e elegibilidade a programas de PSA.
- **CEEMC-SE (Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Sergipe):** Órgão colegiado deliberativo máximo da política climática estadual, instituído pela Lei nº 9.364/2024. Composto por 9 membros (6 do Governo do Estado + 3 da sociedade civil), responsável por aprovar metas, diretrizes e revisões do PEMAMC-SE. Reúne-se ordinariamente a cada 6 meses.
- **GTMC (Grupo Técnico de Mudanças Climáticas):** Instância de coordenação técnica do PEMAMC-SE, composta por representantes de 16 órgãos estaduais. Responsável por coordenar ações intersetoriais, consolidar relatórios de monitoramento MRV e subsidiar tecnicamente as deliberações do CEEMC-SE.
- **PEMAMC-SE (Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Sergipe):** Instrumento de planejamento estratégico instituído pela Lei 9.364/2024 que estabelece ações, metas e indicadores para enfrentamento das mudanças climáticas em Sergipe até 2050. Define cinco eixos estratégicos integrados: monitoramento climático, governança participativa, mitigação e adaptação integradas, financiamento climático e justiça climática.
- **PEMC-SE (Política Estadual sobre Mudanças Climáticas de Sergipe):** Marco legal instituído pela Lei Estadual nº 9.364/2024 que estabelece princípios, diretrizes, instrumentos e metas para enfrentamento das Mudanças Climáticas em Sergipe, incluindo criação do CEEMC-SE e do GTMC.
- **PNMC (Política Nacional sobre Mudança do Clima):** Lei Federal nº 12.187/2009 que instituiu compromissos brasileiros de redução de emissões, criou o Comitê Interministerial sobre Mudanças Climáticas (CIM) e estabeleceu instrumentos como o Fundo Nacional sobre Mudanças Climáticas (FNMC).

8.4. GASES E EMISSÕES

- **CO_2e (Dióxido de Carbono Equivalente):** Medida padronizada que expressa o impacto climático de diferentes gases de efeito estufa (GEE) em termos equivalentes de CO_2. Calculado multiplicando-se a massa do gás pelo seu GWP (Potencial de Aquecimento Global).
- **GEE (Gases de Efeito Estufa):** Gases atmosféricos que absorvem e reemitem radiação infravermelha, causando o efeito estufa. Principais GEE regulados pelo Protocolo de Kyoto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF_6).
- **GWP (Potencial de Aquecimento Global):** Índice que compara o impacto climático de 1 kg de um GEE ao de 1 kg de CO_2 em um horizonte temporal (geralmente 100 anos). Exemplos (AR6): CH_4 = 27,9; N_2O = 273; SF_6 = 25.200.
- **$MtCO_2e$:** Milhões de toneladas de CO_2 equivalente. Unidade de medida de emissões de GEE em larga escala. 1 $MtCO_2e$ = 1.000.000 tCO_2e. Sergipe emitiu 8,9 $MtCO_2e$ em 2022 (ano base oficial), segundo inventário estadual SEEG 12. tCO_2e Toneladas de CO_2 equivalente. Unidade padrão para quantificar emissões de GEE. Permite somar impactos de diferentes gases usando GWP. Emissões per capita de Sergipe: 3,83 tCO_2e/hab/ano (2022, ano base oficial).

8.5. MODELAGEM CLIMÁTICA E CENÁRIOS

- **AR6 (Sexto Relatório de Avaliação do IPCC):** Mais recente síntese científica sobre Mudanças Climáticas publicada pelo IPCC em três volumes: bases físicas (2021), impactos e adaptação (2022), mitigação (2023). Atualiza projeções climáticas e potenciais de aquecimento global (GWP).
- **CMIP6 (Projeto de Intercomparação de Modelos Climáticos Fase 6):** Conjunto coordenado de simulações de ~100 modelos climáticos globais de centros de pesquisa de 49 países, usado pelo IPCC no AR6. Fornece projeções sob diferentes cenários de emissões (SSP).
- **Downscaling (Regionalização):** Técnica para derivar informações climáticas de alta resolução espacial (ex: 5 km) a partir de saídas de modelos globais (resolução típica: 100-250 km). Pode ser estatístico (baseado em relações empíricas) ou dinâmico (modelagem regional aninhada).
- **Downscaling estatístico:** Método de regionalização que estabelece relações estatísticas (regressão, redes neurais, análogos) entre variáveis climáticas de grande escala (pressão, temperatura em altitude) e variáveis locais (precipitação, temperatura de superfície).
- **GCM (Modelo de Circulação Geral):** Modelo computacional tridimensional que simula circulação atmosférica e oceânica, ciclos

biogeoquímicos e interações com superfície terrestre. Resolve equações físicas em grade global (~100 km de resolução horizontal).

- **RCP (Trajetória de Concentração Representativa):** Cenários de concentração de GEE na atmosfera usados no Quinto Relatório do IPCC (AR5). Varia de RCP2.6 (mitigação agressiva) a RCP8.5 (emissões muito altas). Substituído pelos SSP no AR6.
- **SSP (Trajetória Socioeconômica Compartilhada):** Cenários de desenvolvimento futuro que combinam narrativas socioeconômicas (população, PIB, energia, uso da terra) com níveis de forçamento radiativo. Varia de SSP1-1.9 (sustentabilidade, +1,5°C) a SSP5-8.5 (intensivo em fósseis, +4,4°C).

8.6. ÍNDICES E INDICADORES CLIMÁTICOS

- **CDD (Dias Secos Consecutivos):** Índice ETCCDI que mede o número máximo de dias consecutivos com precipitação < 1 mm em um ano. Indica intensidade de períodos de seca. Sergipe registrou CDD médio de 87 dias (1985-2023), com pico de 142 dias em 2012.
- **CWD (Dias Úmidos Consecutivos):** Índice ETCCDI que mede o número máximo de dias consecutivos com precipitação ≥ 1 mm. Indica eventos chuvosos prolongados. Média em Sergipe: 9 dias (1985-2023).
- **ETCCDI (Equipe de Especialistas em Detecção e Índices de Mudança Climática):** Grupo técnico que padronizou 27 índices de extremos climáticos baseados em temperatura e precipitação diárias, permitindo comparações globais de tendências. Exemplos: CDD, CWD, WSDI, TXx, R95p.
- **IVC (Índice de Vulnerabilidade Climática):** Métrica que combina exposição a ameaças climáticas (ondas de calor, secas, inundações), sensibilidade (dependência de recursos naturais, infraestrutura precária) e capacidade adaptativa (renda, educação, saúde). Varia de 0 (baixa) a 1 (alta vulnerabilidade).
- **IVS (Índice de Vulnerabilidade Social):** Indicador do IPEA que sintetiza vulnerabilidade social em três dimensões: infraestrutura urbana, capital humano e renda/trabalho. Usado para priorizar investimentos em adaptação. Sergipe tem 62% da população em áreas de média-alta vulnerabilidade.
- **WSDI (Indicador de Duração de Períodos Quentes):** Índice ETCCDI que conta dias consecutivos (≥6) com temperatura máxima acima do percentil 90 da distribuição de referência (1961-1990). Sergipe registrou 404 ondas de calor (4.827 dias) entre 1985-2023.
- **CSDI (Indicador de Duração de Períodos Frios):** Índice ETCCDI que conta dias consecutivos (≥6) com temperatura mínima abaixo do percentil 10. Indica eventos de frio extremo, raros no contexto tropical de Sergipe.

8.7. INDICADORES ECONÔMICOS E SOCIAIS

- **PIB (Produto Interno Bruto):** Indicador macroeconômico que mede o valor total de bens e serviços produzidos em uma economia durante período determinado. Sergipe possui PIB de R$ 45,5 bilhões (2020), respondendo por 0,6% do PIB nacional. Usado para calcular perdas econômicas de impactos climáticos (ex: -1,6 a -2,2% do PIB sob SSP1-2.6).
- **IDH (Índice de Desenvolvimento Humano):** Métrica do PNUD que sintetiza três dimensões: longevidade (saúde), educação e renda. Varia de 0 (baixo) a 1 (muito alto desenvolvimento). Sergipe tem IDH de 0,665 (médio, 2021), inferior à média nacional (0,754).
- **IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada):** Instituto federal vinculado ao Ministério do Planejamento que produz pesquisas e análises sobre desenvolvimento socioeconômico brasileiro. Desenvolveu a metodologia do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) em parceria com o PNUD, amplamente utilizada no PEMAMC-SE.
- **PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento)**: Agência da ONU que promove desenvolvimento sustentável e combate à pobreza. Parceiro do IPEA no desenvolvimento de metodologias de análise de vulnerabilidade social e desenvolvimento humano (IDH, IVS) usadas nos diagnósticos do PEMAMC-SE.
- **PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios):** Pesquisa contínua do IBGE que investiga características gerais da população (educação, trabalho, rendimento, habitação). Fonte de dados socioeconômicos para caracterização da vulnerabilidade social em Sergipe.

8.8. AGRICULTURA, FLORESTAS E USO DA TERRA

- **ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta):** Sistema produtivo sustentável que integra, na mesma área, cultivos agrícolas (grãos, fibras), pastagens (bovinos, ovinos) e componente florestal (madeira, frutíferas). Benefícios: aumento de produtividade, sequestro de carbono (3-5 tCO_2e/ha/ano), melhoria do microclima.
- **ILP (Integração Lavoura-Pecuária):** Modalidade de ILPF que alterna cultivo agrícola (soja, milho) com pastagem para pecuária, sem componente florestal. Recupera pastagens degradadas e diversifica renda do produtor.
- **IPF (Integração Pecuária-Floresta):** Sistema silvopastoril que combina pastagem para criação animal com plantio de árvores (eucalipto, teca, espécies nativas). Oferece sombra para animais, madeira/lenha e sequestro de carbono.
- **SAF (Sistema Agroflorestal):** Cultivo consorciado de árvores com culturas agrícolas (café, cacau) e/ou animais. Imita estrutura de florestas naturais, promovendo biodiversidade, conservação de solo e água, e resiliência climática.

- **LULUCF (Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas):** Setor de inventários de GEE que contabiliza emissões (desmatamento, queimadas) e remoções (crescimento florestal, reflorestamento) associadas ao uso da terra. Em Sergipe, responsável por 15% das emissões (2023).
- **MUT (Mudança de Uso da Terra):** Conversão de cobertura vegetal nativa para usos antrópicos (agricultura, pastagem, urbanização). Principal fonte histórica de emissões no Brasil (52% em 2023, segundo SEEG).
- **REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal):** Mecanismo de incentivo financeiro para países em desenvolvimento que reduzem desmatamento e promovem conservação florestal. Inclui 5 atividades: redução de desmatamento, redução de degradação, conservação, manejo sustentável e aumento de estoques de carbono.

8.9. MONITORAMENTO, RELATO E VERIFICAÇÃO

- **BAU (Business As Usual):** Cenário de referência "como de costume" que projeta emissões futuras sem implementação de políticas adicionais de mitigação. Usado como linha de base para calcular reduções de emissões.
- **MapBiomas (Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil):** Iniciativa colaborativa multi-institucional que gera mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil (1985-presente) usando imagens Landsat e algoritmos de classificação em Google Earth Engine. Fonte oficial de dados de desmatamento e mudança de uso da terra no PEMAMC-SE.
- **MRV (Monitoramento, Relato e Verificação):** Sistema de transparência e prestação de contas de ações climáticas que rastreia: (1) atividades implementadas, (2) emissões/remoções de GEE, (3) progresso em relação a metas. Exigido pelo Acordo de Paris (Artigo 13). Sergipe desenvolverá MRV com 48 indicadores.
- **PRODES (Programa de Monitoramento do Desmatamento):** Sistema do INPE que quantifica anualmente desmatamento na Amazônia Legal (desde 1988) e outros biomas usando imagens Landsat/Sentinel. Metodologia oficial do governo brasileiro para monitoramento de desmatamento por corte raso.
- **SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa):** Iniciativa brasileira do Observatório do Clima que publica anualmente inventários de GEE por estado, município e setor (1970-presente). Metodologia baseada em IPCC Tier 1/2. Fonte oficial usada no PEMAMC-SE.
- **GHG Protocol:** Metodologia internacional mais utilizada para inventários corporativos de GEE, desenvolvida pelo WRI e WBCSD. Define três escopos de emissões: diretas (escopo 1), indiretas de energia (escopo 2) e outras indiretas (escopo 3).

- **Fator de emissão:** Coeficiente que relaciona quantidade de atividade (consumo de combustível, produção de cimento, rebanho bovino) a emissões de GEE. Exemplo: diesel = 2,67 $kgCO_2$/litro; bovino de corte = 57 $kgCH_4$/cabeça/ano (Brasil).
- **Tier 1/2/3 (Níveis metodológicos do IPCC):** Classificação de complexidade de métodos de inventário: Tier 1 usa fatores de emissão globais padrão (menor precisão); Tier 2 usa fatores nacionais/regionais; Tier 3 usa modelagem específica e medições diretas (maior precisão).

8.10. FINANCIAMENTO E ECONOMIA CLIMÁTICA

- **MACC (Curva de Custo Marginal de Abatimento):** Ferramenta de análise que ordena opções de mitigação por custo.
- **PPP (Parceria Público-Privada):** Contrato de longo prazo (15-35 anos) entre governo e setor privado para provisão de infraestrutura ou serviços públicos, com compartilhamento de riscos e investimentos. Lei Federal nº 11.079/2004.
- **ROI (Retorno sobre Investimento):** Indicador financeiro que compara ganhos (receitas, economias, benefícios) com custos de um projeto. ROI = (Benefícios - Custos) / Custos. PEMAMC-SE estima ROI de 1,80-2,20 (para cada R$ 1,00 investido, retorno de R$ 1,80-2,20).
- **VPL (Valor Presente Líquido):** Soma dos fluxos de caixa futuros de um investimento trazidos a valor presente por uma taxa de desconto. VPL > 0 indica viabilidade econômica. Usado em análises de custo-benefício do PEMAMC-SE.
- **TIR (Taxa Interna de Retorno):** Taxa de desconto que iguala VPL a zero. Representa rentabilidade anual de um investimento. TIR > custo de capital indica viabilidade. Projetos do PEMAMC-SE têm TIR estimada de 8-12% a.a.
- **CAPEX (Capital Expenditure):** Investimentos de capital em ativos fixos (equipamentos, construções, infraestrutura). Exemplo: instalação de painéis solares tem CAPEX de R$ 4.000-5.000/kWp.
- **OPEX (Operational Expenditure):** Custos operacionais recorrentes (manutenção, insumos, pessoal). Exemplo: sistemas solares têm OPEX de 1-2% do CAPEX ao ano.

8.11. ADAPTAÇÃO E SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

- **NbS (Soluções baseadas na Natureza):** Ações que protegem, manejam sustentavelmente ou restauram ecossistemas naturais ou modificados, abordando simultaneamente desafios sociais (segurança hídrica, alimentar) e fornecendo benefícios climáticos (sequestro de carbono, redução de riscos). Exemplos: restauração de manguezais, corredores ecológicos, telhados verdes.

- **Infraestrutura verde:** Rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais (parques, áreas úmidas, florestas urbanas, corredores ripários) que fornece serviços ecossistêmicos: regulação de temperatura, drenagem urbana, purificação de ar/água, habitat para biodiversidade.
- **Infraestrutura cinza:** Infraestrutura tradicional construída com concreto/aço para controle de águas (barragens, canais, diques, estações de tratamento). Complementar à infraestrutura verde em soluções híbridas.
- **Resiliência climática:** Capacidade de sistemas socioecológicos de absorver perturbações climáticas (secas, inundações, ondas de calor), se reorganizar e manter funções essenciais. Construída via adaptação (infraestrutura, governança, capacitação).

8.12. ENERGIA E TRANSPORTE

- **GD (Geração Distribuída):** Produção de energia elétrica próxima ao local de consumo, geralmente em pequena escala (<5 MW), conectada à rede de distribuição. Exemplos: painéis solares residenciais, minigeração eólica. Sergipe tem 14.000 unidades consumidoras com GD solar (154 MW instalados, 2024).
- **BEV (Veículo Elétrico a Bateria):** Veículo movido exclusivamente por motor elétrico alimentado por bateria recarregável. Zero emissões diretas. Autonomia média: 300-500 km. Sergipe tem 487 BEVs registrados (2024).
- **PHEV (Veículo Híbrido Plug-in):** Veículo com motor elétrico e a combustão, bateria recarregável na rede elétrica. Opera 40-80 km em modo elétrico, depois usa combustível. Emissões 50-70% menores que veículos convencionais.
- **VE (Veículo Elétrico):** Termo geral para veículos totalmente elétricos (BEV) ou híbridos plug-in (PHEV). Frota brasileira: 330.000 unidades (2024), 1,4% do total.
- **GNV (Gás Natural Veicular):** Combustível fóssil gasoso (principalmente metano) usado em veículos convertidos. Emissões 20-25% menores que gasolina, mas ainda significativas. Sergipe tem 12.500 veículos a GNV (2024).
- **GNL (Gás Natural Liquefeito):** Gás natural resfriado a -162°C para transporte em caminhões-tanque ou navios. Usado em áreas sem gasodutos. Emissões 30% menores que diesel em transporte pesado.

8.13. RESÍDUOS E ECONOMIA CIRCULAR

- **Biogás:** Mistura gasosa (50-70% metano, 30-50% CO_2) produzida pela decomposição anaeróbica de matéria orgânica (lixo, esgoto, dejetos animais). Poder calorífico: 20-25 MJ/m³. Usado em geração elétrica, aquecimento ou como biometano veicular.

- **Biodigestor:** Equipamento fechado (lagoa coberta, reator UASB, biodigestor indiano/chinês) que produz biogás a partir de digestão anaeróbica de resíduos orgânicos. Subproduto: biofertilizante rico em nitrogênio. ROI típico: 5-8 anos.
- **Logística reversa:** Sistema de retorno de produtos pós-consumo (embalagens, eletrônicos, pneus, baterias) ao setor produtivo para reciclagem, reuso ou destinação ambientalmente adequada. Obrigatória por Lei (PNRS, Lei Federal nº 12.305/2010).
- **Economia circular:** Modelo de produção e consumo que substitui o padrão linear (extrair-produzir-descartar) por ciclos fechados de reuso, reparo, remanufatura e reciclagem. Reduz extração de recursos e geração de resíduos.

8.14. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL E CERTIFICAÇÕES

- **LEED (Leadership in Energy and Environmental Design):** Certificação internacional de edifícios sustentáveis desenvolvida pelo USGBC (EUA). Avalia eficiência energética, uso de água, materiais, qualidade ambiental interna. Níveis: Certificado, Prata, Ouro, Platina. Mais de 100.000 projetos certificados globalmente.
- **ISO 14064:** Família de normas internacionais para quantificação, relato e verificação de emissões de GEE em organizações (parte 1), projetos (parte 2) e verificação/validação (parte 3). Permite comparabilidade e auditoria externa de inventários corporativos.

8.15. RECURSOS HÍDRICOS E HIDROLOGIA

- **Bacia hidrográfica:** Área de captação natural de água de chuva delimitada por divisores topográficos (cumeadas) que converge por gravidade para um ponto comum (foz). Unidade territorial de gestão de recursos hídricos (Lei Federal nº 9.433/1997). Sergipe possui 7 bacias principais.
- **Estresse hídrico:** Situação de demanda por água superior à disponibilidade renovável durante período determinado. Classificação ONU: estresse moderado (20-40% de retirada), alto (>40%). Sergipe enfrenta estresse sazonal no semiárido.
- **Reuso de água:** Utilização de água previamente usada (efluente tratado) para fins benéficos (irrigação, processos industriais, recarga de aquíferos, usos urbanos não potáveis). Classe de reúso determinada por Resolução CONAMA nº 54/2005.
- **Perda hídrica:** Volume de água produzido que não chega ao consumidor final ou não é faturado. Tipos: perdas físicas (vazamentos) e comerciais (fraudes, hidrômetros defeituosos). Sergipe tem 42% de perdas (2023), meta PEMAMC-SE: 25% (2030).

8.16. METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

- **Onda de calor:** Período prolongado (≥3-5 dias consecutivos, conforme definição WMO/INMET) com temperaturas máximas anormalmente elevadas (acima do percentil 90 da distribuição histórica local). Impactos: aumento de mortalidade, demanda energética, incêndios florestais.
- **Precipitação acumulada:** Soma total de chuva (em mm) em um período determinado (mensal, sazonal, anual). Sergipe: 1.200-1.600 mm/ano, com 70% concentrados em abril-agosto.
- **Anomalia climática:** Desvio de uma variável climática (temperatura, precipitação) em relação à média de referência (normal climatológica 1991-2020). Anomalia positiva = acima da média; negativa = abaixo.
- **Normal climatológica:** Média de 30 anos de dados climáticos (temperatura, precipitação, umidade) calculada pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) como referência para comparação de variabilidade e tendências. Atual: 1991-2020.
- **ZCIT (Zona de Convergência Intertropical):** Sistema de baixa pressão que circunda o globo próximo ao Equador, caracterizado por intensa convecção e chuvas. Seu deslocamento meridional (março-abril) é o principal mecanismo indutor da estação chuvosa no Nordeste brasileiro.
- **ENSO (El Niño-Oscilação Sul):** Fenômeno oceano-atmosférico de escala global caracterizado por aquecimento (El Niño) ou resfriamento (La Niña) anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial, com teleconexões que afetam padrões de precipitação e temperatura em diversas regiões, incluindo o Nordeste do Brasil.

8.17. SIGLAS INSTITUCIONAIS E TÉCNICAS COMPLEMENTARES

- **ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas):** Organismo brasileiro responsável por normalização técnica (NBRs). NBR 16401 (eficiência energética em edificações) e NBR ISO 14064 (inventários GEE) são referências no PEMAMC-SE.
- **ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico):** Autarquia federal responsável pela gestão de recursos hídricos, implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e regulação de serviços públicos de irrigação. Opera rede hidrométrica nacional e fornece dados de vazões e níveis de rios para o PEMAMC-SE.
- **ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos):** Entidade setorial que consolida estatísticas de consumo de fertilizantes nitrogenados, fosforados e potássicos no Brasil. Fonte de dados de atividade para calcular emissões de N_2O da agricultura no inventário SEEG.
- **CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais):** Unidade de pesquisa do MCTI que monitora risco de desastres

naturais (inundações, deslizamentos, secas) em 1.058 municípios brasileiros, incluindo 17 em Sergipe. Opera rede de 5.800 pluviômetros automáticos.

- **CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco):** Subsidiária da Eletrobras responsável por geração e transmissão de energia elétrica no Nordeste. Opera usinas hidrelétricas no rio São Francisco que influenciam regime hidrológico em Sergipe.
- **CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil):** Empresa pública federal responsável por levantamentos geológicos, hidráulica subterrânea e riscos geológicos. Fornece dados de aquíferos e vulnerabilidade a inundações usados no diagnóstico de vulnerabilidade climática.
- **DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito):** Órgão do Ministério dos Transportes que mantém registro nacional de veículos. Fonte de dados de frota veicular (automóveis, caminhões, motocicletas) para calcular emissões do setor de transportes no inventário do PEMAMC-SE.
- **MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação):** Ministério federal responsável por políticas nacionais de pesquisa científica, tecnologia e inovação. Coordena inventários nacionais de GEE, atuação do Brasil na UNFCCC e supervisiona INPE e CEMADEN.
- **PAM (Produção Agrícola Municipal):** Pesquisa anual do IBGE que investiga área plantada, quantidade produzida e valor de produção de culturas agrícolas temporárias e permanentes. Fonte de dados de atividade para emissões de queima de resíduos agrícolas.
- **PPM (Pesquisa Pecuária Municipal):** Pesquisa anual do IBGE que investiga efetivo de rebanhos (bovinos, suínos, aves, ovinos, caprinos) e produção de origem animal. Principal fonte de dados para calcular emissões de fermentação entérica e manejo de dejetos.
- **SFB (Serviço Florestal Brasileiro):** Órgão do Ministério do Meio Ambiente responsável por gestão de florestas públicas, Inventário Florestal Nacional e fomento florestal. Fornece dados de biomassa e estoque de carbono para inventários de uso da terra.
- **SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento):** Banco de dados do Ministério das Cidades que consolida informações sobre abastecimento de água, esgotamento sanitário e gestão de resíduos sólidos. Fonte de dados de atividade para emissões de tratamento de efluentes e aterros sanitários.
- **WMO (World Meteorological Organization - Organização Meteorológica Mundial):** Agência especializada da ONU que padroniza observações meteorológicas, promove intercambio de dados e define metodologias climáticas. Estabelece critérios oficiais para identificação de ondas de calor, secas e outros extremos usados no PEMAMC-SE.
- **ADEMA (Administração Estadual do Meio Ambiente):** Autarquia estadual responsável pelo licenciamento ambiental, fiscaliação e gestão de

unidades de conservação em Sergipe. Atua como órgão executor das ações de conservação e recuperação florestal do PEMAMC-SE.

- **CODERSE:** é a sigla da Companhia de Desenvolvimento Regional de Sergipe, uma empresa pública vinculada ao Governo do Estado de Sergipe, responsável por ações de desenvolvimento rural, irrigação e uso sustentável dos recursos hídricos no meio rural sergipano
- **DESO (Companhia de Saneamento de Sergipe):** Concessionária estadual de água e esgoto que atende 72 dos 75 municípios sergipanos. Responsável por 42% de perdas hídricas (2023), alvo de ações de eficiência do PEMAMC-SE.
- **EMATER-SE (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Sergipe):** Empresa estadual que presta assistência técnica a 42.000 agricultores familiares. Parceira estratégica na difusão de práticas de agricultura de baixo carbono (ILPF, SAF, manejo de pastagens).
- **SEAGRI (Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca):** Secretaria estadual responsável por políticas públicas de desenvolvimento agropecuário, agricultura familiar e pesca. Órgão executor de ações de mitigação no setor agropecuário do PEMAMC-SE.
- **SEDURBS (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade):** Secretaria estadual responsável por políticas de desenvolvimento urbano, habitação, saneamento e mobilidade. Coordena ações de adaptação climática em áreas urbanas e gestão de resíduos sólidos.
- **SEDETEC (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia):** Secretaria estadual responsável por políticas de inovação tecnológica, desenvolvimento industrial e energia. Coordena ações de eficiência energética e energias renováveis no PEMAMC-SE.
- **SEMAC (Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas):** Uma das secretarias estaduais que compõem o Poder Executivo e atua na formulação, coordenação e execução das políticas ambientais e climáticas do estado.
- **EMDAGRO (Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe):** Empresa estadual de pesquisa agropecuária que desenvolve tecnologias adaptadas ao clima sergipano (cultivares tolerantes à seca, sistemas ILPF). Mantém 4 estações experimentais e 9 unidades de pesquisa.
- **INMET (Instituto Nacional de Meteorologia):** Órgão do Ministério da Agricultura responsável por monitoramento meteorológico nacional. Opera 9 estações convencionais e 3 automáticas em Sergipe. Fonte oficial de dados climáticos do PEMAMC-SE.
- **INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais):** Centro de pesquisa espacial do MCTI que monitora desmatamento (PRODES, DETER), queimadas (BDQueimadas), clima (CPTEC) via satélite. Fornece dados de uso da terra e projeções climáticas regionalizadas.
- **PRODES (Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal por Satélite):** Sistema do INPE que quantifica anualmente

desmatamento na Amazônia Legal (desde 1988) usando imagens Landsat/Sentinel. Expandido para Cerrado (PRODES Cerrado) e Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica).

8.18. TERMOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS ADICIONAIS

- **QA/QC (Quality Assurance / Quality Control):** Procedimentos de garantia (planejamento, documentação, auditoria) e controle (verificação, calibração, validação) de qualidade aplicados a inventários de GEE, dados climáticos e sistemas MRV para assegurar precisão, completude, consistência, comparabilidade e transparência.
- **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):** Índice de vegetação baseado em sensoriamento remoto que quantifica vigor vegetal pela razão entre reflectância no infravermelho próximo e no vermelho. Varia de -1 (água, nuvens) a +1 (vegetação densa). Usado em monitoramento de secas, desmatamento e saúde de culturas.
- **MAR (*Managed Aquifer Recharge*):** Recarga gerenciada de aquíferos - técnica de injeção ou infiltração intencional de água (chuva, efluente tratado, excedente de rios) em aquíferos subterrâneos para aumentar disponibilidade hídrica. Adaptação promissora para regiões semiáridas.
- **COVID-19**: Doença infecciosa causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, declarada pandemia pela OMS em março de 2020. Impactou inventários de GEE (queda temporária de emissões em 2020) e acelerou transição digital em sistemas MRV.
- **MW (Megawatt):** Unidade de potência elétrica. 1 MW = 1.000 kW = 1.000.000 W. Capacidade solar instalada em Sergipe: 154 MW (GD) + 500 MW (projetados até 2030).

Atualização: Este glossário será revisado bienalmente para incorporar novos termos técnicos, atualizar definições conforme publicações do IPCC e ajustar nomenclaturas conforme evoluções normativas nacionais (MCTI, ABNT).

9. ANEXO – PLANO ESTADUAL DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

O Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), apresentado neste documento, dialoga diretamente com os demais produtos do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE). Dessa forma, para a sua efetiva implementação, faz-se necessária sua previsão em diretrizes orçamentárias, a estruturação da Governança Climática de Sergipe, bem como o alinhamento com os demais produtos que compõem o PEAC/SE.

Entre tais produtos, está o Plano Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar, que, embora não conste expressamente entre os principais produtos do PEAC/SE, torna-se obrigatório para a verificação do atendimento às metas de redução das emissões de poluentes atmosféricos e a avaliação da qualidade do ar no Estado de Sergipe, com foco em áreas críticas.

O Plano Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar, inédito no Estado de Sergipe, busca apresentar diretrizes técnicas e locacionais para a instalação e operação de estações de monitoramento da qualidade do ar no Estado. A partir de sua implementação, será possível monitorar metas relacionadas à emissão de poluentes atmosféricos, viabilizar o atendimento às ações previstas no Eixo 3 (Mitigação e Adaptação Integrados), bem como fornecer à população dados concretos sobre a qualidade do ar no Estado.

Este Plano consta como Anexo do PEMAMC-SE, incluso, em versão digital, na Portal de Transparência Climática.

10. LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Síntese das Divisões Climáticas de Sergipe 24
Tabela 2: Distribuição de Setores Censitários por Classe de IVS em Sergipe 27
Tabela 3: Municípios mais vulneráveis com IVS médio > 0,48 29
Tabela 4: Evolução temporal da temperatura 33
Tabela 5: Médias anuais de precipitação por zona climática (1985-2024) 33
Tabela 6: Índices ETCCDI de Temperatura (Médias 1985-2021 e Tendências) 36
Tabela 7: Índices ETCCDI de Precipitação (Médias 1985-2021 e Tendências) 38
Tabela 8: Ondas de Calor em Sergipe por Década 40
Tabela 9: Cenários SSP Utilizados nas Projeções para Sergipe 47
Tabela 10: Projeções de Aquecimento para Sergipe (Anomalias em relação a 1985-2014) 49
Tabela 11: Projeções de Mudança em Precipitação para Sergipe (% em relação a 1985-2014) 55
Tabela 12: Projeções de extremos de precipitação 57
Tabela 13: Projeções de elevação do nível do mar (IPCC AR6) 59
Tabela 14: Perdas econômicas agregadas (SSP1-2.6, 2071-2100) 61
Tabela 15: Municípios de Maior Vulnerabilidade Climática Futura 62
Tabela 16: Níveis metodológicos (tiers), dados de atividade e fatores de emissão por setor/subsetor do inventário de GEE de Sergipe 64
Tabela 17: Gases de Efeito Estufa (GEE) contabilizados 65
Tabela 18: Emissões de GEE por Setor em Sergipe (2024) 67
Tabela 19: Evolução das Emissões de GEE em Sergipe (2020-2024) 74
Tabela 20: Distribuição dos indicadores do Sistema MRV por dimensão temática 88
Tabela 21: Estratégias Indicativas de Mitigação do PEMAMC-SE 125
Tabela 22: Metas Quantitativas de Adaptação do PEMAMC-SE 156
Tabela 23: Metas por Horizonte Temporal 170
Tabela 24: Indicadores de equidade e inclusão no PEMAMC-SE 179
Tabela 25: Metas quantitativas do Eixo 5 (Justiça Climática) para 2030 180
Tabela 26: Painel de controle do PEMAMC-SE: indicadores-chave por eixo e horizonte temporal 185
Tabela 27: Cursos do Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas 188

11. LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Alinhamento com Políticas e Marcos Federais 14
Quadro 2: Alinhamento com Políticas Estaduais de Sergipe 14
Quadro 3: Eixos estratégicos, conceituação e contribuições para o PEMAMC-SE 16
Quadro 4: Arcabouço Legal Federal como suporte jurídico do PEMAMC-SE 17
Quadro 5: Arcabouço legal estadual como suporte jurídico ao PEMAMC-SE 18
Quadro 6: Eixos temáticos do PEMAMC-SE e compatibilização com a Agenda Nacional de Mudanças climáticas 19
Quadro 7: Principais modelos do CMIP6 utilizados 45
Quadro 8: Cronograma de atividades do Sistema MRV: periodicidade, responsabilidades e prazos de entrega 89

QUADRO 9: MATRIZ DE RESPONSABILIDADES INSTITUCIONAIS POR GRUPOS DE INDICADORES DO SISTEMA MRV 89
QUADRO 10: METAS QUANTITATIVAS DO EIXO 1 (MONITORAMENTO CLIMÁTICO) PARA 2030 100
QUADRO 11: MATRIZ DE RESPONSABILIDADES INSTITUCIONAIS DO PEMAMC-SE POR FUNÇÃO E ÁREA TEMÁTICA 112
QUADRO 12: COMPONENTES PRIORITÁRIOS DO EIXO 2 114
QUADRO 13: CONSOLIDAÇÃO DE METAS QUANTITATIVAS DO PEMAMC-SE PARA O HORIZONTE 2030, POR DIMENSÃO ESTRATÉGICA 182
QUADRO 14: VISÃO INTEGRADA 2035 E 2050 (METAS OFICIAIS) 184
QUADRO 15: ANÁLISES DE CUSTO-EFETIVIDADE PRIORITÁRIAS 186
QUADRO 16: FASE PREPARATÓRIA (2026) 187

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Plano Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar (Anexo – Produto 2.1)

São Paulo, janeiro/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 4

2 OBJETIVOS 5

2.1 OBJETIVO GERAL 5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5

3 PREMISSAS CONCEITUAIS 6

4 ÁREA EFETIVA DO PLANO 7

5 METODOLOGIA 7

5.1 CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE MONITORAMENTO 8
5.2 PARÂMETROS DE MONITORAMENTO 10
5.2.1 MATERIAL PARTICULADO GROSSO (MP_{10}) 10
5.2.2 MATERIAL PARTICULADO FINO ($MP_{2,5}$) 10
5.2.3 OZÔNIO (O_3) 10
5.2.4 DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO_2) 11
5.2.5 DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO_2) 11
5.2.6 MONÓXIDO DE CARBONO (CO) 11
5.2.7 PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS) 11
5.2.8 CHUMBO (PB) 12
5.2.9 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS DE APOIO 12
5.3 TIPO DE ESTAÇÃO 12
5.4 FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM 14
5.5 GESTÃO DE DADOS 17
5.6 ANÁLISE DOS DADOS 19
5.6.1 PRIMEIRO EIXO – QUALIDADE E SUFICIÊNCIA DO DADO 19
5.6.2 SEGUNDO EIXO – ESTATÍSTICA DESCRITIVA E PERFIL TEMPORAL 19
5.6.3 TERCEIRO EIXO – CONFORMIDADE COM OS PADRÕES NACIONAIS 20
5.6.4 QUARTO EIXO – IQAr E COMUNICAÇÃO DE RISCO 20
5.6.5 QUINTO EIXO – INTERPRETAÇÃO 21
5.6.6 SEXTO EIXO – BOLETINS E PRODUTOS ANALÍTICOS 21

6 PLANO DE IMPLANTAÇÃO DA REDE 22

6.1 REDE PROPOSTA 23
6.1.1 REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE ARACAJU 23
6.1.2 POLOS PRIORITÁRIOS NO INTERIOR DO ESTADO 24
6.1.3 LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES 27
6.2 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO 29
6.2.1 OPERAÇÃO CONTÍNUA E MONITORAMENTO REMOTO 29
6.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA PERIÓDICA 29
6.2.3 CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO METROLÓGICA 29
6.2.4 PADRONIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS 30
6.2.5 MANUTENÇÃO CORRETIVA 30
6.2.6 DOCUMENTAÇÃO, REGISTROS E RASTREABILIDADE 31

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....32

8 LISTA DE TABELAS.....34

1 APRESENTAÇÃO

A gestão da qualidade do ar é um componente estruturante da política ambiental e de saúde pública, por subsidiar decisões de controle de emissões, orientar o licenciamento ambiental e permitir a comunicação de risco à população com base em dados mensuráveis e comparáveis no tempo. No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar e as diretrizes para sua aplicação são definidos em âmbito federal, e demandam redes de monitoramento capazes de produzir séries históricas representativas e tecnicamente rastreáveis, com métodos reconhecidos e resultados passíveis de auditoria.

De acordo com uma publicação institucional da Administração Estadual do Meio Ambiente de Sergipe (ADEMA), o monitoramento da qualidade do ar no Estado ocorre, atualmente, de forma experimental no município de Aracaju, por meio de uma estação de amostragem manual instalada nas dependências da CODISE, composta por equipamentos voltados à determinação de partículas totais em suspensão (PTS) e à avaliação de dióxido de enxofre (SO_2) e fumaça, posicionada próxima à Rótula do Distrito Industrial de Aracaju (DIA) por se tratar de um setor crítico de emissões veiculares e industriais. Em termos de contexto nacional, conforme publicação do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), as estações automáticas de monitoramento ainda se distribuem de forma desigual no país, estando presentes em apenas parte dos estados e em número limitado de capitais, o que reforça a necessidade de planejamento territorial, priorização de áreas críticas e escalonamento de implantação com critérios técnicos.

Considerando que a Resolução CONAMA nº 506/2024 estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar e orienta sua aplicação em todo o território nacional, torna-se necessário estruturar um Plano Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar para Sergipe com cobertura estadual, fundamentado em monitoramento direto por estações fixas, com foco inicial em zonas de provável alta emissão (por exemplo: aglomerados urbanos mais adensados, polos e distritos industriais, corredores logísticos/rodoviários de alta circulação e áreas com fontes estacionárias relevantes). Esse plano deve definir uma rede de estações, assegurando representatividade espacial e temporal, padronização de métodos de medição e calibração, garantia da qualidade dos dados e rotinas de operação/manutenção, de modo a produzir informações robustas para suporte à gestão ambiental, avaliação de conformidade com padrões nacionais e comunicação periódica e transparente dos resultados.

Ressalta-se que o presente documento representa um anexo do Produto 2.1 – Plano Estadual de Mitigação e Adaptação Climática, pertinente ao Plano Estadual de

Ações Climáticas – PEAC/SE. O desenvolvimento do PEAC/SE está previsto no Contrato n° 08/2025, firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e a Fundação Instituto de Administração (FIA).

2 OBJETIVOS

A subdivisão dos objetivos em geral e específicos confere rigor metodológico e rastreabilidade ao plano, pois o objetivo geral explicita o propósito central e o resultado esperado, enquanto os objetivos específicos desdobram esse propósito em metas operacionais mensuráveis e verificáveis.

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente Plano tem por finalidade estabelecer e implementar o Plano Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar no Estado de Sergipe, de modo a possibilitar a avaliação contínua, sistemática e territorialmente representativa das concentrações dos principais poluentes atmosféricos. O objetivo central consiste em assegurar o acompanhamento permanente da qualidade do ar em todo o território estadual, verificando sua conformidade com os padrões legais vigentes e fornecendo base técnica para a formulação e o aprimoramento de políticas públicas de controle da poluição atmosférica e de proteção da saúde da população, em consonância com a legislação ambiental federal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a operacionalização do objetivo geral e a consolidação de uma rede de monitoramento eficiente e tecnicamente robusta, o Plano estrutura-se a partir dos seguintes objetivos específicos:

- Identificação de áreas críticas e fontes emissoras: Realizar o mapeamento das regiões com maior potencial de emissão de poluentes atmosféricos, incluindo áreas industriais, eixos viários de tráfego intenso e zonas portuárias, com vistas à definição de locais estratégicos para a implantação de estações de monitoramento representativas das principais fontes de poluição (BRASIL, 2024);
- Monitoramento de parâmetros prioritários de qualidade do ar: Efetuar a mensuração sistemática das concentrações dos poluentes atmosféricos regulamentados, tais como material particulado MP_{10} e $MP_{2,5}$, ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e monóxido de carbono (CO), entre outros, nas diferentes regiões do Estado, de forma a

constituir base de dados consistente para análises temporais e espaciais, conforme os padrões nacionais de qualidade do ar (BRASIL, 2024);

- Avaliação da conformidade com os padrões legais: Verificar a aderência dos níveis observados de poluentes aos padrões nacionais de qualidade do ar em vigor, conforme estabelecido na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 506, de 5 de julho de 2024, bem como acompanhar a evolução das concentrações ao longo do tempo, identificando tendências, recorrências e eventuais situações de não conformidade (BRASIL, 2024);
- Subsídio a políticas públicas e ações de controle: Disponibilizar informações técnicas qualificadas para fundamentar a elaboração de planos de controle de emissões atmosféricas e a adoção de medidas mitigadoras nos setores industrial, de transportes e de energia, contribuindo para a orientação de decisões regulatórias e para a priorização de investimentos voltados à melhoria da qualidade do ar (BRASIL, 2024);
- Transparência e comunicação com a sociedade: Implementar mecanismos de divulgação pública dos dados de qualidade do ar, incluindo a apuração periódica do Índice de Qualidade do Ar, de modo a assegurar o acesso da população às informações sobre as condições atmosféricas e possibilitar a emissão de alertas em situações de episódios críticos de poluição, em conformidade com as boas práticas de gestão ambiental e de comunicação de riscos (CETESB, 2022);
- Atendimento às exigências legais e compromissos institucionais: Assegurar o cumprimento das obrigações relativas à elaboração de Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar e de demais instrumentos previstos na legislação ambiental, bem como promover o alinhamento com as diretrizes de políticas nacionais, a exemplo do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar, e com compromissos internacionais relacionados à melhoria da qualidade atmosférica, fortalecendo a governança ambiental e a transparência institucional no âmbito estadual (BRASIL, 2024).

3 PREMISSAS CONCEITUAIS

O presente estudo fundamenta-se na premissa de que a avaliação da qualidade do ar deve ser realizada por meio de medições diretas, contínuas e padronizadas, capazes de produzir dados representativos da exposição da população e dos impactos associados às principais fontes emissoras, constituindo um dos pilares da gestão ambiental e da proteção da saúde pública (BRASIL, 2018; WHO, 2021). Parte-se do entendimento de que redes de monitoramento baseadas em estações fixas, adequadamente distribuídas no território, são instrumentos essenciais para verificar a conformidade com padrões de qualidade do ar, identificar tendências temporais e subsidiar políticas públicas de controle da poluição atmosférica (IEMA, 2024).

Adota-se como premissa conceitual que a confiabilidade e a comparabilidade dos dados dependem do uso de métodos de medição reconhecidos, da rastreabilidade metrológica dos equipamentos e da implementação sistemática de procedimentos de garantia e controle da qualidade (QA/QC), desde a coleta até a validação final das informações (USEPA, 2017). Considera-se, ainda, que a representatividade espacial e temporal do monitoramento está diretamente associada à correta tipologia das estações (fundo urbano, tráfego, industrial/impacto e fundo regional) e à seleção criteriosa dos sítios de amostragem, com base em critérios de exposição humana, influência de fontes emissoras, características meteorológicas e viabilidade operacional (EUROPEAN COMMISSION, 2008).

O estudo assume também que uma rede estadual de monitoramento deve ser concebida de forma escalonável e adaptativa, permitindo revisões periódicas em função da evolução do uso e ocupação do solo, de alterações no perfil de emissões e da atualização de padrões regulatórios e diretrizes sanitárias, como aquelas propostas pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021). Por fim, parte-se da premissa de que os dados gerados somente cumprem plenamente sua função social e técnica quando convertidos em informação inteligível e acessível, por meio de indicadores consolidados, como o Índice de Qualidade do Ar (IQA), e de mecanismos transparentes de divulgação, assegurando sua efetiva aplicação na tomada de decisão e na comunicação de risco à sociedade (BRASIL, 2018; IEMA, 2024).

4 ÁREA EFETIVA DO PLANO

A área efetiva de abrangência do presente Plano corresponde integralmente ao território do Estado de Sergipe, contemplando a totalidade de seus municípios e respectivas áreas urbanas e rurais, incluindo a faixa litorânea e as porções interiores. As diretrizes, critérios e ações aqui estabelecidos aplicam-se ao conjunto do espaço estadual, orientando a implantação, a operação, o controle de qualidade e a divulgação dos resultados do monitoramento, com priorização técnica das áreas de maior exposição populacional e maior potencial emissor, tais como aglomerados urbanos, corredores viários estruturantes, áreas portuárias e polos industriais.

5 METODOLOGIA

A descrição da metodologia é essencial porque estabelece, de forma transparente e reproduzível, como o estudo foi elaborado, assegurando o rigor científico e a credibilidade dos resultados. É nesse tópico que se explicitam o delineamento do

monitoramento, os critérios de seleção das áreas e estações, os parâmetros analisados, os métodos de medição, as rotinas de garantia e controle da qualidade e os procedimentos de tratamento dos dados, permitindo que os resultados sejam avaliados criticamente, comparados a outros estudos e eventualmente replicados em diferentes contextos.

5.1 CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE MONITORAMENTO

Com vistas a assegurar a eficácia, a representatividade territorial e a robustez técnica da rede de monitoramento, o presente Plano estabelece critérios para a seleção das áreas prioritárias destinadas à instalação das estações de medição da qualidade do ar. Tais critérios consideram, de forma integrada, aspectos demográficos, a presença e a intensidade de fontes emissoras, bem como condicionantes ambientais e meteorológicas, em consonância com os padrões nacionais de qualidade do ar e com as diretrizes de gestão ambiental vigentes (BRASIL, 2024).

A priorização das zonas de monitoramento deverá abranger a lógica de barlavento/sotavento e a diferenciação entre faixa litorânea e interior, considerando que o regime de ventos e a sazonalidade meteorológica condicionam a dispersão, o transporte e o acúmulo de poluentes. Desse modo, sempre que pertinente, a seleção das áreas buscará combinar pontos sob maior influência potencial de plumas com pontos de referência menos influenciados, fortalecendo a capacidade comparativa da rede e a interpretação de gradientes espaciais.

a) Densidade populacional e exposição humana: Serão priorizadas áreas urbanas com elevada densidade populacional, com destaque para a Região Metropolitana de Aracaju e para os principais centros urbanos do interior do Estado, em razão da maior concentração de indivíduos potencialmente expostos à poluição atmosférica. Localidades com histórico de concentrações elevadas de poluentes ou com maior vulnerabilidade sanitária serão classificadas como críticas, demandando maior densidade de pontos de monitoramento;

b) Histórico de qualidade do ar e ocorrência de não conformidades: Regiões com registros, relatos ou indícios de episódios de degradação da qualidade do ar, tais como poeira, fumaça, odores industriais ou outros eventos associados à poluição atmosférica, serão incluídas como prioritárias. Áreas com histórico de ultrapassagem dos padrões nacionais de qualidade do ar configuram-se como pontos de atenção, por indicarem maior probabilidade de excedência dos limites estabelecidos (BRASIL, 2024);

c) Concentração de fontes emissoras industriais: Zonas industriais, polos petroquímicos, cimenteiros e áreas com usinas termelétricas ou outras atividades com elevado potencial poluidor receberão tratamento prioritário. A proximidade de fontes estacionárias de emissão, tais como chaminés industriais, processos produtivos intensivos e atividades minerárias, constitui

critério determinante para a definição dos locais de instalação das estações, de modo a possibilitar a adequada caracterização do impacto dessas atividades;

d) Corredores de tráfego e áreas urbanas com elevada intensidade veicular: Vias com alto fluxo de veículos, incluindo rodovias federais que atravessam o Estado e principais eixos viários urbanos da capital e municípios adjacentes, bem como áreas com congestionamentos recorrentes, serão priorizadas em razão das emissões associadas ao transporte, notadamente material particulado, óxidos de nitrogênio e monóxido de carbono. O volume de tráfego e a proximidade a corredores viários constituem parâmetros relevantes para a escolha dos pontos de monitoramento;

e) Portos e áreas de movimentação de cargas: Regiões portuárias e retroportuárias, caracterizadas por intensa circulação de embarcações, caminhões e operações de carga a granel, serão consideradas áreas prioritárias. Tais atividades configuram potenciais fontes de emissão de poluentes atmosféricos, incluindo material particulado e gases provenientes da queima de diesel por embarcações e equipamentos portuários, justificando a instalação de estações nos entornos dessas áreas, quando aplicável;

f) Topografia e condições meteorológicas locais: Ainda que o território do Estado de Sergipe seja caracterizado, em termos gerais, por relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, reconhece-se que variações topográficas locais, bem como a presença de elevações e serras isoladas, podem influenciar a ventilação, a estabilidade atmosférica e, consequentemente, os processos de dispersão, transporte e acúmulo de poluentes. Desse modo, a definição das áreas prioritárias e, sobretudo, o detalhamento dos pontos de instalação das estações deverão considerar a relação entre o posicionamento do sítio e o regime de ventos predominante, adotando, sempre que pertinente, a lógica de barlavento e sotavento para avaliação comparativa de gradientes de concentração e melhor interpretação da influência de fontes emissoras;

g) Sensibilidade ambiental ou áreas protegidas: Considerar-se-á, de forma complementar, a necessidade de monitoramento da qualidade do ar em unidades de conservação e em áreas ambientalmente sensíveis, especialmente para a avaliação de possíveis efeitos da deposição atmosférica de poluentes sobre ecossistemas naturais. Afirma-se, entretanto, que a prioridade principal do Programa recai sobre a proteção da saúde humana em áreas urbanizadas.

A aplicação sistemática desses critérios resultará na elaboração de um mapeamento dos locais prioritários para a implantação da rede estadual de monitoramento da qualidade do ar, contemplando tanto as regiões de maior risco à população quanto os entornos de fontes relevantes de emissão. Essa definição técnica assegura a alocação otimizada dos recursos disponíveis, direcionando a instalação das estações para áreas onde sua presença é mais necessária à detecção de potenciais episódios de poluição e à produção de dados representativos da qualidade do ar no Estado de Sergipe.

5.2 PARÂMETROS DE MONITORAMENTO

O Plano de Monitoramento contempla o conjunto de poluentes atmosféricos regulamentados e reconhecidos como relevantes para a saúde pública e para a proteção do meio ambiente, em conformidade com os padrões nacionais de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 506, de 5 de julho de 2024 (BRASIL, 2024). Os principais parâmetros a serem monitorados estão descritos a seguir.

5.2.1 MATERIAL PARTICULADO GROSSO (MP_{10})

Partículas inaláveis com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 10 µm, associadas a poeira urbana, emissões veiculares e fontes industriais. Para esse poluente, a norma vigente estabelece padrões de qualidade para média de 24 horas e média anual, em razão de sua capacidade de penetrar nas vias respiratórias superiores e provocar efeitos adversos à saúde humana, incluindo irritações e agravamento de doenças respiratórias (BRASIL, 2024).

5.2.2 MATERIAL PARTICULADO FINO ($MP_{2,5}$)

Partículas com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 2,5 µm, oriundas principalmente da queima de combustíveis em veículos, termelétricas e processos industriais, bem como de formação secundária na atmosfera. Em função de seu reduzido tamanho, penetram profundamente no trato respiratório e na corrente sanguínea, estando associadas a impactos relevantes sobre os sistemas respiratório e cardiovascular. A legislação vigente define padrões de qualidade para média de 24 horas e média anual para $MP_{2,5}$, em consonância com recomendações técnico-científicas internacionais (BRASIL, 2024).

5.2.3 OZÔNIO (O_3)

Poluente secundário formado na atmosfera a partir de precursores, como óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, sob a ação da radiação solar. Para o ozônio, aplica-se padrão de qualidade baseado em média móvel de 8 horas, não sendo previsto padrão anual, em razão de sua natureza episódica e de seus efeitos agudos sobre as vias respiratórias (BRASIL, 2024).

5.2.4 DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO_2)

Gás emitido por processos de combustão em altas temperaturas, notadamente por veículos automotores, caldeiras industriais e usinas termelétricas. Além de seus efeitos diretos à saúde, o NO_2 atua como precursor da formação de ozônio e de material particulado secundário. Para esse poluente, a norma estabelece padrões de qualidade para média horária (1 hora) e média anual, sendo seu monitoramento prioritário em áreas de tráfego intenso e nas proximidades de fontes industriais de combustão (BRASIL, 2024).

5.2.5 DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO_2)

Gás resultante da queima de combustíveis contendo enxofre e de determinados processos industriais, como refino de petróleo, produção de fertilizantes e operação de termelétricas a óleo. O SO_2 pode causar irritação das vias respiratórias e, em condições de umidade, contribuir para a formação de deposição ácida. A Resolução CONAMA nº 506/2024 estabelece para esse poluente padrões de qualidade para média horária (1 hora) e média de 24 horas, inexistindo padrão anual. Sua avaliação é especialmente relevante em áreas com fontes estacionárias de combustão de médio e grande porte (BRASIL, 2024).

5.2.6 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Gás proveniente da combustão incompleta, emitido principalmente por veículos automotores, sobretudo em áreas de tráfego intenso. Em concentrações elevadas, compromete o transporte de oxigênio pelo sangue, representando risco de grande relevância à saúde humana. A legislação vigente define para o CO padrões de qualidade baseados em médias móveis, com ênfase na média móvel de 8 horas, sendo o monitoramento direcionado, prioritariamente, aos centros urbanos e corredores viários de grande fluxo (BRASIL, 2024).

5.2.7 PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS)

Conjunto de partículas inaláveis e não inaláveis presentes no ar atmosférico. Embora os padrões nacionais atuais priorizem os indicadores MP_{10} e $MP_{2,5}$, a medição de PTS poderá ser adotada de forma complementar, especialmente para fins de continuidade histórica de séries de dados, avaliação de deposição de poeiras e caracterização de impactos em áreas industriais, minerárias ou sujeitas à ressuspensão de partículas.

5.2.8 CHUMBO (PB)

Metal pesado que, embora não seja mais emitido por combustíveis automotivos no País, pode estar associado a fontes industriais específicas, tais como reciclagem de metais, fabricação de baterias e determinados processos metalúrgicos. A norma vigente estabelece padrão de qualidade para média anual para chumbo, sendo recomendada sua inclusão no monitoramento em localidades onde haja potencial emissão desse contaminante (BRASIL, 2024).

5.2.9 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS DE APOIO

Cada estação de monitoramento deverá registrar, de forma contínua, variáveis meteorológicas essenciais à interpretação dos dados de qualidade do ar, incluindo direção e velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica e precipitação. Tais informações são indispensáveis para a análise dos processos de dispersão, transporte e acumulação de poluentes, bem como para a correlação de episódios de elevação de concentrações com condições atmosféricas adversas e para subsidiar eventuais modelagens de dispersão (BRASIL, 2024).

Os poluentes e parâmetros elencados correspondem àqueles abrangidos pelos padrões nacionais de qualidade do ar, refletindo, portanto, as prioridades técnicas para a verificação da conformidade com a legislação ambiental vigente. A inclusão do $MP_{2,5}$ alinha o Estado de Sergipe às práticas contemporâneas de gestão da qualidade do ar, em razão de seus reconhecidos impactos à saúde pública. O Plano permanece passível de atualização para a incorporação de novos parâmetros, à medida que diretrizes técnicas e normativas venham a ser estabelecidas.

5.3 TIPO DE ESTAÇÃO

Considerando que, neste estudo, todos os pontos de monitoramento deverão coletar exatamente o mesmo conjunto de informações, a rede estadual deve ser estruturada com um único tipo de estação automática multipoluentes (convencional, de referência/equivalente para uso regulatório), instalada de forma repetida em todos os locais selecionados. Essa padronização é tecnicamente recomendável porque reduz vieses de comparabilidade entre pontos, fortalece a consistência estatística da série histórica e permite interpretar gradientes espaciais e episódios com base em um mesmo “pacote” instrumental e em procedimentos uniformes de QA/QC (USEPA, 2017; USEPA, 2025). Além disso, ao alinhar a rede a padrões nacionais de qualidade do ar, o desenho deve

assegurar que as variáveis monitoradas sejam suficientes para avaliar conformidade e produzir indicadores de comunicação pública, em aderência ao marco regulatório vigente (CONAMA, 2024).

Nesse contexto, cada estação deve ser configurada para medir, continuamente e com registro em alta frequência, o núcleo de poluentes atmosféricos adotado no plano: $MP_{2,5}$, MP_{10}, NO_2 (ou NOx), O_3, CO e SO_2, associado a um conjunto de parâmetros meteorológicos mínimos para interpretação de dispersão, sazonalidade e episódios: direção e velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação (IEMA/SEAMA, 2014). O conjunto meteorológico é conceitualmente indispensável porque a qualidade do ar resulta da interação entre emissões e condições de dispersão atmosférica; portanto, sem meteorologia local registrada na própria estação, a capacidade explicativa do monitoramento se reduz e a interpretação espacial (barlavento/sotavento) perde robustez (Plano DBE, 2023). Em termos de instrumentação, exige-se que os analisadores sejam compatíveis com métodos reconhecidos em redes regulatórias: para O_3 por fotometria UV; para NO/NO_2/NOx por quimiluminescência; para SO_2 por fluorescência UV; para CO por infravermelho não dispersivo (NDIR); e para $MP_{2,5}$ e MP_{10} por método contínuo equivalente reconhecido, com seleção aerodinâmica (entrada MP_{10} e seletor $MP_{2,5}$) e controle/registro de vazão e condições de amostragem (USEPA, 2017). Essa configuração única atende ao princípio de que os mesmos parâmetros devem ser medidos em toda a rede, sem depender de arranjos híbridos (estação central + monitores simplificados), garantindo simetria metrológica entre os pontos (USEPA, 2017; USEPA, 2025).

Para que os dados sejam auditáveis e defensáveis, todas as estações padronizadas devem incluir, obrigatoriamente, um sistema de aquisição e gestão de dados com armazenamento local redundante, sincronização de tempo, transmissão remota e capacidade de cálculo automático de agregações (médias horárias, médias móveis quando aplicável, métricas diárias e anuais) e percentuais de dados válidos, com registros de alterações, falhas e intervenções. Do ponto de vista operacional, cada unidade deve possuir abrigo técnico adequado, estabilidade ambiental para os instrumentos, proteção elétrica, fonte ininterrupta (UPS) e condições de segurança patrimonial e acesso para manutenção, pois a disponibilidade contínua é uma condição prática para a geração de séries históricas representativas (Plano DBE, 2023). Finalmente, o desempenho da rede depende de um sistema formal de garantia e controle da qualidade (QA/QC) aplicado de maneira uniforme em todos os pontos, incluindo rotinas documentadas de checagens (zero/span), calibrações periódicas, rastreabilidade metrológica, validação de dados e trilha de auditoria, conforme diretrizes consagradas para redes de monitoramento

ambiental (USEPA, 2017; USEPA, 2025). Assim, ao adotar um único tipo de estação multipoluentes com o mesmo escopo instrumental e os mesmos procedimentos em toda a rede, este estudo assegura comparabilidade espacial, confiabilidade técnica e aplicabilidade regulatória dos resultados (CONAMA, 2024; USEPA, 2017).

5.4 FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM

A metodologia de monitoramento direto prevista neste Plano contempla diferentes frequências de amostragem, definidas em função do tipo de estação, do método de medição e das características de cada poluente, de modo a assegurar compatibilidade com os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar e a produção de dados tecnicamente representativos, confiáveis e passíveis de auditoria (BRASIL, 2024a). A definição das rotinas de medição foi estruturada para permitir a apuração das janelas temporais exigidas pela norma vigente, abrangendo médias horárias, médias móveis, médias de 24 horas e médias anuais, conforme aplicável a cada parâmetro.

As estações automáticas de monitoramento contínuo operarão de forma ininterrupta, 24 horas por dia, mediante a utilização de analisadores automáticos para poluentes gasosos, incluindo dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio e demais óxidos de nitrogênio (NO_2/NO_x), ozônio (O_3) e monóxido de carbono (CO). Quando tecnicamente aplicável e operacionalmente viável, serão empregados, também, sistemas automáticos para material particulado (MP_{10} e $MP_{2,5}$), por métodos reconhecidos, a exemplo de atenuação beta e microbalança oscilante. Esses equipamentos produzem registros em alta resolução temporal, usualmente em intervalos entre um minuto e uma hora, permitindo o cálculo de médias horárias e demais agregações temporais regulamentares, incluindo médias móveis de 8 horas, médias de 24 horas e médias anuais. Essa configuração assegura, a identificação tempestiva de episódios agudos de poluição atmosférica e a geração de dados adequados para avaliação de conformidade com padrões de curta duração.

A amostragem manual de partículas por alto volume poderá ser adotada em localidades ou para parâmetros em que sejam utilizados métodos gravimétricos, a exemplo de amostradores de grande volume para MP_{10} ou para Partículas Totais em Suspensão (PTS), em conformidade com normas técnicas aplicáveis. Nesses casos, as coletas serão realizadas em períodos contínuos de 24 horas, de modo a permitir a comparação direta com padrões diários e a composição de séries temporais aptas ao cálculo de estatísticas anuais. Como padrão operacional, será adotada frequência de uma coleta a cada seis dias, prática amplamente consolidada em redes manuais de monitoramento no Brasil, por combinar representatividade técnica e racionalização de

recursos operacionais e laboratoriais. Em situações específicas, tais como campanhas direcionadas, estudos locais, investigação de episódios ou caracterização de fontes, a frequência poderá ser ampliada, inclusive com coletas em dias consecutivos, quando necessário ao atendimento de objetivos técnicos definidos pelo órgão gestor.

Os dados produzidos pela rede de monitoramento serão avaliados com base nos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 506, de 5 de julho de 2024. Esses padrões estabelecem limites diferenciados conforme a janela temporal de exposição, contemplando médias horárias, médias móveis de 8 horas, médias de 24 horas e médias anuais, de modo a controlar tanto a ocorrência de episódios agudos de poluição quanto a exposição crônica da população. Para fins de padronização, transparência e consistência metodológica, os valores numéricos, as janelas temporais aplicáveis e as respectivas unidades, bem como observações sobre a forma de apuração, encontram-se sistematizados na Tabela 1, apresentado ao final do presente item.

A definição das frequências de amostragem e dos métodos de medição foi estruturada de modo a assegurar a adequada comparação dos dados com os referenciais legais. Assim, para poluentes com padrões baseados em médias de 24 horas, como MP_{10} e $MP_{2,5}$, será assegurada a disponibilidade de medições diárias, seja por séries contínuas de estações automáticas, seja por amostragem manual com período de integração de 24 horas. Para poluentes com padrões baseados em média horária (1 hora), como NO_2 e SO_2, as estações automáticas fornecerão a resolução temporal necessária para o cálculo das médias regulamentares. As médias móveis de 8 horas, aplicáveis à O_3 e CO, serão calculadas a partir das séries contínuas, em conformidade com o procedimento de apuração definido na norma e nos protocolos de qualidade adotados. As médias anuais serão apuradas a partir do conjunto de dados válidos ao longo do ano, observados os critérios mínimos de representatividade e completude definidos nos procedimentos técnicos de validação e garantia da qualidade.

Os dados validados serão confrontados com os limites legais, sendo submetidos a análises estatísticas complementares, incluindo cálculo de médias, percentis e avaliação de tendências temporais, com o objetivo de produzir diagnóstico abrangente da qualidade do ar no Estado e subsidiar a tomada de decisão. Na hipótese de não conformidade com os padrões estabelecidos ou na identificação de tendências de deterioração, o Plano prevê o acionamento de medidas adicionais de gestão e controle, em consonância com as diretrizes dos capítulos destinados às políticas públicas de controle da poluição atmosférica.

Tabela 1: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, janelas temporais e métodos de medição

POLUENTE	SIGLA	JANELA TEMPORAL	PADRÃO NACIONAL (VALOR)	UNIDADE	MÉTODO DE MEDIÇÃO (EXEMPLOS)	BASE LEGAL
Material Particulado Grosso	MP_{10}	Média de 24 horas	50	µg/m³	Atenuação beta; microbalança oscilante; amostrador de alto volume (gravimétrico)	CONAMA nº 506/2024
		Média anual	20	µg/m³	Atenuação beta; microbalança oscilante; baixo volume (gravimétrico)	CONAMA nº 506/2024
Material Particulado Fino	$MP_{2,5}$	Média de 24 horas	25	µg/m³	Atenuação beta; microbalança oscilante; baixo volume (gravimétrico)	CONAMA nº 506/2024
		Média anual	10	µg/m³	Atenuação beta; microbalança oscilante; baixo volume (gravimétrico)	CONAMA nº 506/2024
Ozônio	O_3	Média móvel de 8 horas	100	µg/m³	Fotometria UV	CONAMA nº 506/2024
Dióxido de Nitrogênio	NO_2	Média horária (1 h)	200	µg/m³	Quimioluminescência	CONAMA nº 506/2024
		Média anual	40	µg/m³	Quimioluminescência	CONAMA nº 506/2024
Dióxido de Enxofre	SO_2	Média horária (1 h)	350	µg/m³	Fluorescência UV	CONAMA nº 506/2024
		Média de 24 horas	125	µg/m³	Fluorescência UV	CONAMA nº 506/2024
Monóxido de Carbono	CO	Média móvel de 8 horas	9	ppm	Infravermelho não dispersivo (NDIR)	CONAMA nº 506/2024
Partículas Totais em Suspensão*	PTS	Média anual	80	µg/m³	Alto volume (gravimétrico)	Referência histórica (complementar)
Chumbo	Pb	Média anual	0,5	µg/m³	Amostragem de partículas + análise laboratorial (AAS/ICP)	CONAMA nº 506/2024
Meteorologia (apoio)	—	Contínuo	—	—	Anemometria; termohigrômetro; pluviômetro; barômetro	Boas práticas técnicas

5.5 GESTÃO DE DADOS

A operação de uma rede estadual composta por estações automáticas multipoluentes (24/7) gera um volume elevado de registros em alta frequência e, portanto, exige um arranjo formal de gestão de dados que integre armazenamento, verificação, supervisão operacional, análise e reporte, com rastreabilidade completa das intervenções (EcoSoft, 2023). Para assegurar comparabilidade entre pontos, auditabilidade e uso regulatório, a gestão deve tratar os dados como um "ciclo de vida" composto por coleta e transmissão, armazenamento seguro e estruturado, validação e QA/QC, consolidação de indicadores (incluindo IQAr), e disponibilização aos órgãos gestores e à sociedade, em níveis distintos de maturidade do dado (preliminar vs. validado) (USEPA, 2017; WMO, 2025; CONAMA, 2024; MMA, 2025).

No fluxo operacional, cada estação deve possuir datalogger/sistema de aquisição capaz de registrar as medições e os parâmetros operacionais (ex.: status do instrumento, alarmes, vazão, temperaturas internas, falhas de energia e comunicação), mantendo armazenamento local temporário para contingência e realizando transmissão automática para uma central de dados por telemetria. Na central, recomenda-se que o dado bruto seja absorvido continuamente em um repositório único, com sincronização temporal, controle de duplicidades e registro de metadados mínimos (identificação da estação, coordenadas, altura de amostragem quando aplicável, parâmetros, unidades, método, frequência, além de registros de manutenção e calibração), pois a qualidade e a interpretação dependem diretamente de metadados e de histórico operacional consistente (WMO, 2025; USEPA, 2017; EcoSoft, 2023).

Quanto ao armazenamento, recomenda-se que o repositório primário seja um banco de dados estruturado (ex.: SQL) hospedado em ambiente com alta disponibilidade (nuvem ou datacenter seguro), conforme práticas de softwares de gerenciamento de monitoramento ambiental, pois essa arquitetura viabiliza consultas rápidas, consolidações automáticas, painéis operacionais, rastreabilidade e auditoria. O uso de Excel deve ser tratado como camada de entrega e reporte, e não como repositório primário: isto é, o sistema deve gerar exportações padronizadas (XLSX e/ou CSV) para boletins, relatórios e entregas institucionais, preservando sempre a integridade do dado no banco estruturado. Recomenda-se padronizar:

a) templates de exportação (um arquivo por estação e por período, ou um "consolidado estadual" por período);
b) nomenclatura de arquivos (UF_rede_estacao_parametros_periodo_versao);
c) dicionário de dados (campos, unidades, métodos, flags);

d) controle de versão para qualquer retificação posterior, evitando sobregravações não rastreáveis (USEPA, 2017; Modelo, s.d.).

A política de backup deve ser automática e redundante, contemplando pelo menos: backup diário incremental do banco, backup periódico completo (semanal/mensal), cópias em local físico/lógico distinto do ambiente principal, e testes regulares de restauração. A governança deve prever perfis de acesso (operador, gestor, público), trilha de auditoria (quem alterou o quê, quando e por que) e preservação de logs de operação/manutenção como parte integrante do processo de validação (WMO, 2025; USEPA, 2017). Para transparência e consistência técnica, o sistema deve calcular e armazenar indicadores de qualidade do dado, como percentual de dados válidos por parâmetro e estação, além de registros de indisponibilidade e suas causas.

A validação deve ocorrer em duas camadas. A primeira é automática, aplicando regras de integridade (ausência de dados, variação brusca, valores fora de faixa, falhas de comunicação, flags de autodiagnóstico e alarmes), com geração de alertas e painéis de status. A segunda é técnica (validação por responsável habilitado), incorporando informações de calibração/checagens (zero/span), manutenção, condições meteorológicas e coerência interparâmetros, resultando na classificação do dado como preliminar, suspeito, inválido ou validado. Essa abordagem é compatível com boas práticas de QA/QC e com requisitos internacionais para dados de redes de monitoramento voltadas a avaliação de padrões, que exigem procedimentos formais de edição/validação e documentação do processo (USEPA, 2017; USEPA, 2025).

Uma vez validado, o dado deve ser consolidado em estatísticas regulamentares e de comunicação, incluindo agregações temporais e indicadores como o IQAr, calculado a partir de MP10, MP2,5, O3, CO, NO2 e SO2, respeitando os tempos de média definidos na orientação técnica federal (MMA, 2025; CONAMA, 2024).

A disponibilização deve ocorrer em três níveis complementares. Primeiro, disponibilização institucional aos órgãos gestores (órgão ambiental estadual e demais instâncias do SISNAMA quando aplicável), por meio de acesso controlado ao sistema (painéis e extrações) e por entregas periódicas em formatos padronizados (XLSX/CSV) acompanhadas de metadados e relatório de qualidade (percentuais de dados válidos, intervenções e calibrações no período). Segundo, divulgação pública em plataforma digital, preferencialmente em tempo quase real, apresentando concentrações, IQAr, séries históricas, mapa de estações e notas de validação, com transparência sobre critérios e versões. Terceiro, dados abertos: após validação, as séries históricas devem ser disponibilizadas em formato aberto, estruturado e com metadados mínimos, incluindo flags de validação, para uso por pesquisa, controle social e aprimoramento de políticas

públicas. Esse arranjo maximiza utilidade técnica, governança e transparência, sem comprometer o rigor do QA/QC.

5.6 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados deve ser estruturada para transformar as séries temporais geradas pelas estações automáticas multipoluentes em evidências comparáveis, auditáveis e úteis à gestão ambiental. O princípio operacional é que toda análise seja realizada, prioritariamente, sobre dados já validados, preservando a rastreabilidade de intervenções e a distinção entre dado bruto, dado processado e dado validado. Como os padrões nacionais definem períodos de referência e estatísticas específicas para verificação de atendimento, a análise precisa produzir exatamente essas métricas regulatórias, complementadas por indicadores descritivos, espaciais e de comunicação de risco. A fim de melhor organizar as etapas, as análises foram divididas em eixos.

5.6.1 PRIMEIRO EIXO – QUALIDADE E SUFICIÊNCIA DO DADO

O primeiro eixo é a qualidade e suficiência do dado. Em cada estação e para cada parâmetro, devem ser calculados e reportados, por período (diário, mensal e anual), indicadores como:

a) disponibilidade operacional da estação;
b) completude amostral e percentual de dados válidos por agregação (horas válidas/dia; dias válidos/mês; meses válidos/ano);
c) quantidade e duração de falhas por classe (energia, comunicação, analisador, meteorologia, manutenção programada);
d) estatísticas de estabilidade operacional (por exemplo, ocorrências de alarmes, perdas de sinal, outliers instrumentais);
e) rastreio de intervenções com impacto em dado (manutenção, calibração, troca de consumíveis), vinculando períodos afetados às respectivas marcações (flags).

Esse conjunto é recomendado para que qualquer comparação espacial ou inferência temporal seja tecnicamente defensável e para que os indicadores anuais não sejam interpretados sem lastro de representatividade.

5.6.2 SEGUNDO EIXO – ESTATÍSTICA DESCRITIVA E PERFIL TEMPORAL

O segundo eixo é a caracterização estatística das concentrações, voltada a compreender magnitude, variabilidade e extremos. Para cada poluente e variável

meteorológica, recomenda-se consolidar estatísticas por estação e período: média, mediana, desvio-padrão, percentis (P50, P90, P95 e P99), máximos e mínimos, além de histogramas/curvas de frequência. Em paralelo, devem ser calculados perfis temporais padronizados que expliquem padrões recorrentes: ciclo diurno (médias horárias por hora do dia), ciclo semanal (dias úteis vs. fim de semana) e sazonalidade mensal. Em uma rede estadual padronizada, esses produtos permitem distinguir áreas com variabilidade dominada por episódios (picos) de áreas com carga crônica (níveis persistentemente elevados), o que é crítico para priorização de gestão.

5.6.3 TERCEIRO EIXO – CONFORMIDADE COM OS PADRÕES NACIONAIS

O terceiro eixo é a verificação de atendimento aos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, produzindo as métricas exatamente conforme os períodos de referência e definições normativas. Para material particulado e dióxido de enxofre, devem ser calculadas médias de 24 horas e médias anuais (média aritmética anual), além de contagem de dias com excedência ao padrão vigente. Para dióxido de nitrogênio, a métrica diária deve considerar a máxima média horária obtida no dia, além da média aritmética anual. Para ozônio e monóxido de carbono, a métrica diária deve considerar a máxima média móvel de 8 horas obtida no dia. A comparação deve ser realizada, no mínimo, contra o padrão em vigor e, como indicador de transição e planejamento, contra o padrão subsequente, explicitando o "gap" entre a condição observada e as etapas futuras. A apresentação deve ser padronizada por estação e consolidada no nível estadual, com:

a) número e percentual de excedências por poluente;
b) ranking de estações por frequência e severidade;
c) identificação de períodos do ano com maior recorrência;
d) mapas de indicadores (médias anuais, percentis altos e excedências) para evidenciar zonas de provável emissão elevada.

5.6.4 QUARTO EIXO – IQAR E COMUNICAÇÃO DE RISCO

O quarto eixo é a análise por Índice de Qualidade do Ar (IQAr), voltada à comunicação e ao monitoramento de curto prazo. Para cada estação e para cada dia, devem ser calculados os subíndices por poluente e o IQAr final do dia, com classificação por faixas (boa, moderada, ruim, muito ruim e péssima) e contagem de dias por categoria. Os indicadores mínimos recomendados incluem:

a) percentual de dias por classe do IQAr;

b) principal poluente responsável (dominância do subíndice) por período;

c) número de dias acima do limite associado à condição “boa”, distinguindo ocorrência episódica de persistência;

d) estatísticas de intensidade (por exemplo, IQAr máximo do mês, P95 do IQAr) para comparar severidade entre estações.

Esse bloco deve ser apresentado de forma consistente com a obrigação de divulgação em tempo real/horária/diária, mantendo coerência entre o dado divulgado e o dado consolidado validado.

5.6.5 QUINTO EIXO – INTERPRETAÇÃO

O quinto eixo é a interpretação espaço-temporal e diagnóstica, combinando poluentes e meteorologia para explicar padrões. Como todas as estações coletam o mesmo pacote meteorológico, a análise deve incluir:

a) rosas dos ventos e rosas de poluição (concentração condicionada por direção e velocidade do vento), para evidenciar setores dominantes associados a fontes prováveis;

b) gráficos bivariados (por exemplo, $MP_{2,5}$ vs. velocidade do vento; O_3 vs. radiação/temperatura), para caracterizar condições favoráveis a ressuspensão/estagnação e formação fotoquímica;

c) matriz de correlação e coocorrência de episódios (dias em que múltiplos poluentes elevam-se simultaneamente), útil para separar cenários dominados por combustão (NO_2/CO) de cenários dominados por partículas (MP).

Como produto operacional, recomenda-se estabelecer um protocolo de detecção de episódios com base em limiares do IQAr e/ou excedências às métricas diárias regulatórias, com geração de “fichas de episódio” contendo: data, estação, poluente dominante, intensidade, duração, vento predominante, precipitação e observações operacionais (manutenção, falhas, queimadas observadas, tráfego anômalo etc.).

5.6.6 SEXTO EIXO – BOLETINS E PRODUTOS ANALÍTICOS

O sexto eixo é o reporte e a entrega de produtos analíticos em formatos operacionais, alinhados à gestão e à fiscalização. Para fins de entrega aos órgãos gestores, recomenda-se que o conjunto mínimo de saídas seja estruturado em:

a) planilhas Excel mensais e anuais (XLSX) por estação e consolidado estadual, contendo séries agregadas (horárias e diárias), estatísticas, excedências, IQAr diário, percentuais de dados válidos e flags;

b) boletim mensal padronizado (tabelas e gráficos de tendência curta, ranking e episódios);

c) relatório anual (síntese estadual, mapas, avaliação de atendimento aos padrões, avaliação de evolução temporal e recomendações de gestão).

Para divulgação pública, os dados deverão ser disponibilizados na Plataforma Clima Transparente (mencionada no Produto 2.1 – Plano Estadual de Mitigação e Adaptação Climática), por meio de um painel com atualização automática, exibindo concentrações, IQAr e situação operacional, com indicação explícita do status do dado (preliminar/validado) e histórico acessível.

6 PLANO DE IMPLANTAÇÃO DA REDE

O Plano de Implantação da Rede Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar de Sergipe estabelece, de forma integrada e operacional, como a rede será materializada no território, desde a definição da distribuição espacial das estações até sua entrada em operação, rotina de manutenção, gestão de dados e consolidação dos produtos técnicos. A implantação é orientada pelo marco regulatório nacional de padrões de qualidade do ar e suas diretrizes de aplicação, que demandam dados mensuráveis, comparáveis e auditáveis para avaliação de conformidade, proteção da saúde e suporte à gestão ambiental (CONAMA, 2024). Afirma-se ainda que a Política Nacional de Qualidade do Ar reforça a necessidade de monitoramento adequado e do acesso a informações públicas atualizadas, condicionando a utilidade do sistema ao fluxo contínuo de geração, validação e disponibilização de dados (Brasil, 2024).

Considerando a premissa deste estudo de que todas as estações coletarão o mesmo conjunto de parâmetros ($MP_{2,5}$, MP_{10}, O_3, NO_2/NOx, SO_2 e CO, além de meteorologia de apoio), a implantação deve priorizar a padronização técnica e metrológica das unidades, com procedimentos uniformes de operação, calibração e garantia/controle da qualidade (QA/QC). Essa padronização é condição necessária para reduzir vieses de comparabilidade entre pontos, sustentar análises espaço-temporais e permitir a geração de indicadores consolidados, incluindo o Índice de Qualidade do Ar (IQAr) conforme orientação técnica vigente, especialmente para comunicação de curto prazo e transparência pública (MMA, 2025). Em termos metodológicos, a implantação deve seguir uma lógica de rede baseada em objetivos de monitoramento e critérios de seleção de localização (macro e micro-localização), adotando referenciais consolidados de desenho de redes e requisitos de qualidade de dados, que enfatizam representatividade, escalas espaciais e integridade do dado (USEPA, 2017; eCFR, 2025).

6.1 REDE PROPOSTA

A proposta prioriza a Região Metropolitana da Grande Aracaju como núcleo inicial, pela concentração populacional e convergência de tráfego, logística, atividades industriais e influência portuária. Complementarmente, são incluídos polos prioritários no interior do estado, associados a distritos industriais e corredores logísticos/rodoviários relevantes, garantindo cobertura territorial e capacidade de distinguir perfis de emissão e exposição.

6.1.1 REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE ARACAJU

A Região Metropolitana da Grande Aracaju configura o núcleo prioritário do Programa Estadual de Monitoramento da Qualidade do Ar, em razão da elevada concentração populacional, da intensidade do tráfego urbano e intermunicipal e da presença de atividades logísticas, industriais e portuárias capazes de influenciar expressivamente a qualidade do ar. Considera-se, portanto, recomendável a implantação, no mínimo, de três estações automáticas, de modo a permitir a segregação de perfis de emissão e exposição e a produzir diagnóstico robusto e tecnicamente defensável.

Nesse contexto, propõe-se a instalação de uma estação de fundo urbano em área predominantemente residencial e afastada de corredores viários principais e de fontes estacionárias imediatas, com a finalidade de representar a exposição média da população urbana e servir como referência comparativa para os demais perfis monitorados, inclusive para avaliação de tendências anuais. Complementarmente, propõe-se a implantação de uma estação de tráfego posicionada junto a corredor viário com fluxo intenso e recorrência de congestionamentos, respeitados os critérios usuais de sítio para esse tipo de estação, de modo a captar o comportamento de poluentes tipicamente associados às emissões veiculares, com destaque para dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono e frações de material particulado relacionadas ao tráfego.

Nesse contexto recomenda-se ainda a implantação de estação de impacto no entorno portuário e retroportuário, abrangendo o eixo Aracaju-Barra dos Coqueiros, com posicionamento orientado por análise anemométrica local e critérios de dispersão, de modo a privilegiar pontos sob influência de transporte preferencial de plumas associadas a operações de movimentação de cargas, circulação de veículos pesados e equipamentos movidos a diesel. Quando tecnicamente viável, recomenda-se que a definição do local considere a condição de sotavento em relação ao setor portuário predominante, de forma a aumentar a probabilidade de detecção de episódios e picos de concentração vinculados

às atividades logísticas, especialmente em condições meteorológicas favoráveis ao transporte continental.

No Distrito Industrial de Aracaju, destaca-se a existência de estação previamente implantada, localizada no setor compreendido entre as avenidas Adélia Franco, Tancredo Neves e José Carlos Silva, cuja reativação é tecnicamente recomendável. A reativação desse ponto constitui medida estratégica, por permitir retomada mais célere do monitoramento em área reconhecidamente sensível, reduzir custos e prazos de implantação em comparação à instalação integral de nova estrutura e favorecer a continuidade e comparabilidade de séries históricas, quando existentes. Recomenda-se, portanto, que essa estação seja incorporada ao desenho metropolitano como unidade de perfil urbano-industrial, mediante avaliação de integridade, atualização tecnológica dos analisadores e adequação às exigências atuais de operação, calibração, transmissão e validação de dados.

Esse arranjo permite que a rede metropolitana apresente capacidade de diferenciação entre exposição de fundo, hotspots veiculares e influência industrial/logística, ampliando a robustez das avaliações e reduzindo incertezas na interpretação dos resultados.

6.1.2 POLOS PRIORITÁRIOS NO INTERIOR DO ESTADO

No interior do Estado, a proposta prioriza polos produtivos e centros urbanos de relevância regional com potencial emissor significativo e capacidade de influenciar a qualidade do ar em áreas habitadas próximas, com ênfase em localidades nas quais a presença de fontes estacionárias, movimentação de materiais, processos de combustão e tráfego operacional possam contribuir para a elevação de material particulado e gases associados. A seleção desses polos busca assegurar representatividade territorial e capacidade de detecção de impactos, combinando, quando necessário, estações de impacto local, voltadas à captura de concentrações máximas sob influência direta de fontes relevantes, e pontos de fundo local, destinados a apoiar a interpretação por comparação e a distinção entre contribuição regional e contribuição atribuível ao polo monitorado.

No município de Laranjeiras, reconhece-se elevada relevância técnica para implantação de monitoramento dedicado, considerando a presença de empreendimentos industriais de grande porte associados, entre outros, aos setores de fertilizantes nitrogenados e cimento. A existência de unidades industriais com processos vinculados à produção e manuseio de insumos nitrogenados e a operação cimenteira reforçam a

necessidade de caracterização sistemática do impacto sobre o ar ambiente, sobretudo quanto a material particulado e gases de combustão. Recomenda-se, como configuração mínima, a implantação de estação de impacto industrial posicionada de modo a representar a influência integrada do complexo sobre a qualidade do ar, evitando-se instalação excessivamente próxima de fonte pontual única, de forma a não descaracterizar o monitoramento de ar ambiente. Quando houver viabilidade orçamentária e operacional, recomenda-se a implantação complementar de ponto de fundo local, preferencialmente em área menos influenciada pelas emissões do polo e orientada por regime de ventos predominante, com a finalidade de separar contribuições regionais das contribuições atribuíveis ao complexo, conferindo maior robustez ao diagnóstico e à interpretação em cenários de cobrança técnica e controle externo.

No município de Itabaianinha, em razão da existência de polo ceramista expressivo, propõe-se a implantação de estação de impacto associada ao conjunto de unidades cerâmicas, com ênfase no monitoramento de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) e de poluentes indicativos de combustão, notadamente monóxido de carbono, além de parâmetros meteorológicos de apoio. O posicionamento deverá considerar a interface entre as áreas de operação e as áreas habitadas, priorizando-se localidades sob maior probabilidade de influência de transporte de plumas, evitando-se, contudo, a instalação em áreas internas de uma única empresa, a fim de manter o caráter de monitoramento de ar ambiente. Quando tecnicamente necessário, recomenda-se ponto complementar de fundo urbano/local para avaliação de gradientes de concentração e fortalecimento da interpretação, sobretudo em campanhas de diagnóstico e em análises de episódios.

No município de Rosário do Catete, recomenda-se a implantação de estação de impacto associada ao Complexo Taquari-Vassouras, considerando o potencial de emissões atmosféricas relacionadas a processos industriais, movimentação de materiais e tráfego operacional. A estação deverá ser posicionada de forma a captar a influência do complexo sobre o ar ambiente, com monitoramento de material particulado, gases de combustão e parâmetros meteorológicos, assegurando interpretação consistente da dispersão. Quando oportuno e justificável, recomenda-se ponto complementar de fundo local, visando distinguir contribuição regional de contribuição atribuível às atividades do complexo, com ganhos relevantes para a robustez analítica das avaliações.

No município de Nossa Senhora do Socorro, considerando a existência de distrito industrial e sua inserção no contexto metropolitano, recomenda-se abordagem condicional baseada em matriz de priorização que avalie porte, perfil de fontes, potencial emissor e exposição populacional. Caso a análise indique que as estações metropolitanas não representam adequadamente a contribuição do distrito industrial, recomenda-se a

implantação de estação urbano-industrial dedicada, com foco em material particulado e poluentes associados à combustão e ao tráfego de veículos pesados, reforçando a resolução espacial da rede e a capacidade de detecção de potenciais áreas de risco de excedências.

Além dos polos industriais e produtivos, o Plano recomenda contemplar centros urbanos de médio porte e áreas com dinâmica logística e tráfego relevante, de modo a ampliar a cobertura territorial e a representatividade populacional do monitoramento. Nesse sentido, no município de Itabaiana, recomenda-se a implantação de estação urbana com ênfase em impacto veicular e logístico, considerando sua relevância como polo regional de comércio, serviços e distribuição, com elevada circulação de veículos leves e pesados, inclusive em função de conexões rodoviárias estruturantes. Tal configuração tende a favorecer emissões associadas ao tráfego e à ressuspensão de poeira, justificando monitoramento prioritário de $MP_{2,5}$, MP_{10}, NO_2 e CO, associado a parâmetros meteorológicos de suporte, com vistas a caracterizar exposição urbana e potenciais episódios em áreas de alta mobilidade.

No município de Estância, recomenda-se avaliação para implantação de estação de perfil urbano-industrial, considerando a presença de atividades produtivas e seu papel como centro urbano relevante no sul do Estado, com potencial influência de fontes estacionárias e de tráfego urbano e intermunicipal. A inclusão de Estância contribui para melhorar a representatividade espacial da rede, ampliar a cobertura fora do eixo metropolitano e fortalecer o diagnóstico regional, sobretudo para material particulado e gases de combustão, com apoio de meteorologia, observados os critérios de priorização e viabilidade operacional.

6.1.3 LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES

Tabela 2: Proposta de localização, tipologia e parâmetros prioritários das estações de monitoramento da qualidade do ar em Sergipe

MUNICÍPIO / ÁREA	TIPOLOGIA DA ESTAÇÃO	OBJETIVO DE MONITORAMENTO	JUSTIFICATIVA TÉCNICA
Aracaju (área residencial representativa, afastada de vias principais)	Fundo urbano	Representar a exposição média da população e servir como referência para comparação com perfis de tráfego e industrial	Núcleo populacional do Estado; necessária linha de base para tendências e avaliação anual
Aracaju (corredor viário de alto fluxo e congestionamento)	Tráfego	Capturar hotspots veiculares e caracterizar emissões associadas ao transporte	Perfil veicular dominante na RMS; permite identificar picos e episódios associados ao tráfego
Aracaju (Distrito Industrial, estação existente entre Av. Adélia Franco, Av. Tancredo Neves e Av. José Carlos Silva)	Urbano-industrial (reativação)	Retomar monitoramento em área sensível e reforçar a cobertura industrial/logística com rapidez e menor custo	Existência de estrutura prévia e inserção em área com potencial emissor; favorece continuidade e comparabilidade
Barra dos Coqueiros ou entorno portuário/retroportuário (eixo Aracaju–Barra dos Coqueiros)	Impacto industrial/portuário	Detectar influência de atividades portuárias e logísticas e episódios de emissão associados a diesel e movimentação de cargas	Potencial de emissões por operações portuárias/retroportuárias e tráfego pesado; risco de episódios
Laranjeiras (área sob influência integrada do polo)	Impacto industrial	Caracterizar impacto do polo industrial sobre o ar ambiente do entorno	Presença de indústrias de grande porte associadas a fertilizantes e cimento; potencial emissor relevante
Laranjeiras (área menos influenciada, para comparação)	Fundo local (recomendável)	Separar contribuição regional da contribuição do polo industrial e fortalecer a interpretação	Necessário controle comparativo para robustez analítica e defesa técnica do diagnóstico
Itabaianinha (borda urbana sob maior influência do polo ceramista)	Impacto do polo ceramista	Avaliar influência conjunta das cerâmicas sobre áreas habitadas e identificar episódios de partículas	Polo ceramista com potencial de emissões por combustão e ressuspensão; prioridade para material particulado
Itabaianinha (área residencial representativa, opcional)	Fundo urbano/local (opcional)	Estimar gradiente “fundo versus impacto” e apoiar campanhas diagnósticas	Aumenta robustez interpretativa e reduz incerteza na atribuição de fontes

MUNICÍPIO / ÁREA	TIPOLOGIA DA ESTAÇÃO	OBJETIVO DE MONITORAMENTO	JUSTIFICATIVA TÉCNICA
Rosário do Catete (entorno do Complexo Taquari-Vassouras)	Impacto industrial	Captar influência do complexo sobre o ar ambiente e caracterizar dispersão	Complexo industrial com movimentação de materiais e tráfego operacional; potencial emissor
Rosário do Catete (ponto comparativo, quando justificável)	Fundo local (recomendável)	Distinguir contribuição regional da contribuição atribuível ao complexo	Melhora robustez do diagnóstico e suporte a auditoria e controle externo
Nossa Senhora do Socorro (Distrito Industrial, condicional)	Urbano-industrial (condicional)	Complementar a leitura metropolitana caso haja lacuna de representatividade pelas estações da RMS	Potencial emissor e tráfego pesado; necessidade depende do porte e do quanto a RMS já cobre o distrito
Itabaiana (área urbana com influência logística/rodoviária)	Urbana (impacto veicular/logístico)	Caracterizar exposição urbana em polo de comércio e logística e capturar efeitos de tráfego e ressuspensão	Polo regional com intensa mobilidade e conexões rodoviárias; potencial de picos de MP e gases
Estância (área urbana com potencial influência industrial e tráfego)	Urbana-industrial (a avaliar)	Ampliar representatividade territorial no sul do Estado e caracterizar contribuição de fontes locais	Centro urbano relevante com atividades produtivas e tráfego intermunicipal; reforça cobertura fora do eixo metropolitano

6.2 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A seção de operação e manutenção é o eixo que garante continuidade, comparabilidade entre pontos, rastreabilidade metrológica e confiabilidade dos resultados da rede, ao estabelecer rotinas mínimas padronizadas, procedimentos (SOPs), critérios de aceitação e registros de campo e de laboratório.

6.2.1 OPERAÇÃO CONTÍNUA E MONITORAMENTO REMOTO

As estações devem operar em regime 24/7, com aquisição automática, armazenamento local redundante e telemetria para um servidor central, permitindo supervisão em tempo quase real e diagnóstico remoto (USEPA, 2017). Recomenda-se implementar uma Central de Operação da Rede com painéis de status por estação (comunicação, energia, HVAC/climatização, vazões, alarmes, falhas de analisadores e integridade de dados), com regras de alarme e escalonamento para resposta técnica. No nível gerencial, a operação deve ser acompanhada por indicadores mínimos por estação e por parâmetro: disponibilidade (*uptime*), completude/captura de dados, tempo de indisponibilidade por causa, e tempo de resposta a falhas (USEPA, 2017).

6.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA PERIÓDICA

A manutenção preventiva deve ser calendarizada e padronizada para todas as estações (mesmo pacote instrumental em todos os pontos), com checklists e critérios de aceitação claros, reduzindo variabilidade operacional e assegurando comparabilidade espacial. O escopo mínimo inclui: inspeção do abrigo (vedação, corrosão, ventilação/AC, limpeza interna), inspeção de linhas de amostragem e entradas (inlets), verificação de vazamentos, revisão de bombas/fluxo, troca de consumíveis, limpeza de sensores meteorológicos, inspeção de proteção elétrica (DPS), aterramento e integridade de cabeamento. Recomenda-se organizar as visitas presenciais por rotas (clusters regionais) e manter um quadro de rotinas mínimas ajustável ao contexto local e às recomendações do fabricante, sem reduzir os requisitos mínimos de qualidade definidos no QAPP/SOP da rede (USEPA, 2017).

6.2.3 CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO METROLÓGICA

Deve ser adotado um plano formal de calibração/verificação metrológica para todos os subsistemas (analisadores de gases, medição de material particulado,

meteorologia e medidores de vazão), assegurando rastreabilidade e controle de deriva. Para rastreabilidade, os padrões e serviços de calibração utilizados (gases padrão, medidores de vazão, sensores meteorológicos) devem ser provenientes de laboratórios acreditados (RBC/INMETRO) ou equivalentes reconhecidos, conforme a prática de acreditação e rastreabilidade metrológica (INMETRO, 2021). No âmbito de QA/QC para redes automáticas, referências normativas amplamente usadas incluem verificações de controle de qualidade (ex.: "*one-point QC checks*") e auditorias/avaliações independentes de desempenho com frequência mínima definida, como no 40 CFR Part 58, Appendix A (USA, 2024). Como prática operacional defensável para gases (O_3, NO_2, SO_2, CO), recomenda-se incorporar checagens de resposta periódicas (one-point) e avaliações independentes anuais; para material particulado e vazões, incorporar verificações regulares de vazão e auditorias de fluxo, conforme o QAPP/SOP e boas práticas normativas (USA, 2024; USEPA, 2017).

6.2.4 PADRONIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

A operação exige equipe treinada e procedimentos padronizados (SOPs) para reduzir erro humano e variabilidade entre equipes e regiões. O programa de capacitação deve cobrir: operação segura do abrigo e instrumentação; aplicação de checklists; resposta a alarmes; manuseio de padrões; verificação de vazões; registros e metadados; e rotinas de QA/QC e validação. A abordagem é consistente com sistemas de qualidade em monitoramento ambiental que enfatizam qualificação, treinamento e documentação (USEPA, 2017) e com práticas de QA que incluem treinamento e avaliação das operações de sítio (WMO, 2025).

6.2.5 MANUTENÇÃO CORRETIVA

O plano de manutenção corretiva deve definir níveis de criticidade (falha total; degradação de desempenho; falha de telemetria; falha de HVAC; falha de energia), prazos de resposta (SLA) e estratégias de contingência (equipamentos reserva, peças críticas, módulos substituíveis, reconfiguração temporária e priorização por criticidade). Recomenda-se manter estoque mínimo de sobressalentes e consumíveis e contratos de suporte técnico com janela de atendimento compatível com operação contínua (USEPA, 2017).

6.2.6 DOCUMENTAÇÃO, REGISTROS E RASTREABILIDADE

Todas as atividades de operação, manutenção e calibração devem ser registradas em livro de bordo físico e/ou digital, com data/hora, equipe responsável, descrição da intervenção, parâmetros “antes/depois”, evidências (fotos quando aplicável), número de série do instrumento, certificados de calibração e padrões utilizados. A documentação deve permitir rastrear alterações e justificar exclusões/ajustes de dados na validação, alinhada a sistemas de qualidade que exigem registros completos e metadados para garantir consistência e auditabilidade (USEPA, 2017; WMO, 2025).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 21 nov. 2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 9 jul. 2024.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 9 jul. 2024.
- BRASIL. Lei nº 14.850, de 2 de maio de 2024. Institui a Política Nacional de Qualidade do Ar. Brasília, DF: Presidência da República, 2024.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Orientação Técnica: Índice de Qualidade do Ar (IQAr). Brasília, DF: MMA, jan. 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Orientação técnica: Índice de Qualidade do Ar (IQAr). Brasília, DF: MMA, jan. 2025.
- ECO SOFT. Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar do Distrito de Baixa Emissão (DBE). Rio de Janeiro: SMAC, 2023.
- ECOSOFT. Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar do Distrito de Baixa Emissão (DBE). Rio de Janeiro: SMAC, 2023.
- ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA); Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Plano Estratégico de Qualidade do Ar (PEQAr). Vitória: SEAMA/IEMA, 2014.
- EUROPEAN COMMISSION. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Official Journal of the European Union, Brussels, 2008.
- INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). Dimensionamento da Rede Básica de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil: cenários iniciais. São Paulo: IEMA, 2024.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization, 2021.

- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems – Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program. Washington, DC: U.S. EPA, 2017.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency (USEPA). 40 CFR § 58.16 – Data submittal and archiving requirements. Washington, DC: eCFR, 2025.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency (USEPA). 40 CFR Part 58, Appendix A: Quality Assurance Requirements for SLAMS, SPMs and PSD Air Monitoring. Washington, DC: eCFR, 2025.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency (USEPA). 40 CFR Part 58, Appendix D: Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring Stations. Washington, DC: eCFR, 2025.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency (USEPA). Batch Submission of Data – Type of Data in AQS. Washington, DC: U.S. EPA, 2025.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency (USEPA). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Volume II – Ambient Air Quality Monitoring Program. Washington, DC: U.S. EPA, 2017.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency (USEPA). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Volume II – Ambient Air Quality Monitoring Program. Washington, DC: U.S. EPA, 2017.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency (USEPA). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Volume II – Ambient Air Quality Monitoring Program. Washington, DC: U.S. EPA, 2017.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization, 2021.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Global Atmosphere Watch (GAW): Quality Assurance. Genebra: WMO, 2025.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Global Atmosphere Watch (GAW): Quality assurance. Geneva: WMO, 2025.

8 LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR, JANELAS TEMPORAIS E MÉTODOS DE MEDIÇÃO ..16
TABELA 2: PROPOSTA DE LOCALIZAÇÃO, TIPOLOGIA E PARÂMETROS PRIORITÁRIOS DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR EM SERGIPE 27

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Relatório de Custo-Benefício das medidas propostas (Produto 2.2)

São Paulo, janeiro/2026

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 3

2. OBJETIVOS 4

3. PREMISSAS CONCEITUAIS 4

3.1. TEORIA ECONÔMICA E ANÁLISE BENEFÍCIO-CUSTO 4
3.2. RESULTADOS DA ACB EM PROJETOS COM IMPACTOS AMBIENTAIS 9
3.2.1. EXEMPLO 1 – USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (PARÁ) 9
3.2.2. EXEMPLO 2 – BR 319 (PORTO VELHO-MANAUS) 10

4. METODOLOGIA 10

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS 10
4.2. ESTIMATIVA DE CUSTOS 12
4.3. ESTIMATIVA DE BENEFÍCIOS 17
4.4. PARÂMETROS PARA ABC 24
4.4.1. TAXA DE DESCONTO 24
4.4.2. HORIZONTE DE ANÁLISE 25
4.4.3. ANÁLISE DE CENÁRIOS 26

5. RESULTADOS DA ACB 26

5.1. CENÁRIO BASE 27
5.2. ANÁLISE DE CENÁRIOS 29
5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS 30

6. REFERÊNCIAS 32

7. LISTA DE FIGURAS 34

8. LISTA DE TABELAS 34

9. LISTA DE QUADROS 35

10. ANEXOS 36

10.1. ANEXO I – DETALHAMENTO DAS ESTIMATIVAS DE VALOR 36
10.2. ANEXO II – TABELAS DE BENEFÍCIOS, CUSTOS E ACB DOS CENÁRIOS 2 A 7 39
10.2.1. CENÁRIO 2 – US$25,00, REFERENTE AO PREÇO MÉDIO DA TONELADA DE CARBONO NO PERÍODO 2025-2030 DEFINIDA NO PRODUTO 39
10.2.2. CENÁRIO 3 – UTILIZAÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE R$/US$ DE 72,00 REFERENTE à MÉDIA DO PERÍODO 2021-2025 DO MERCADO DE CRÉDITO DE CARBONO FUTUROS 44
10.2.3. CENÁRIO 4 – UTILIZAÇÃO DA TAXA DE DESCONTO DE 8,5% A.A (UTILIZADA EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA) 49
10.2.4. CENÁRIO 5 – UTILIZAÇÃO DA TAXA DE DESCONTO DE 12% A.A, DEFINIDA EM PROJETOS FINANCIADAS POR INSTITUIÇÕES FINANCEIRAS INTERNACIONAIS COMO O BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO – BID ... 53
10.2.5. CENÁRIO 6 – ELEVAÇÃO DA ESTIMATIVA DE CUSTOS EM 10% 57
10.2.6. CENÁRIO 7 – REDUÇÃO DA ESTIMATIVA DE BENEFÍCIOS EM 10% 62

1. APRESENTAÇÃO

O Produto 2.2, intitulado "*Relatório de Custo-Benefício das medidas propostas*", é parte integrante do Módulo 2 do Projeto desenvolvido pela Fundação Instituto de Administração (FIA), para Secretaria de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC).

O escopo deste Relatório está diretamente relacionado ao Produto 2.1: "*Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas"*, uma vez que o seu escopo busca avaliar a relação custo-benefício medidas propostas no documento. Além disso, estabelece conexões com os produtos elaborados no Módulo 5: "*Fontes de Financiamento"*, especialmente o com o Produto 5.2, que dispõe acerca do potencial financeiro dos créditos de carbono.

Nesse sentido, o presente trabalho aborda a construção da Análise Custo-Benefício – ACB, das diversas ações para a redução da emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE, propostas no Plano Estadual de Ações para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe (PEMAMC-SE).

Com o aumento do interesse pela temática ambiental, notadamente a partir da segunda metade do século passado, a ACB se constituiu em um elemento chave para a internalização do que é classificado na economia como externalidade ambiental negativa, proporcionando um novo entendimento na análise de impactos e de viabilidade econômica de projetos e de políticas públicas.

Importante frisar que apesar da indiscutível necessidade de ações de políticas públicas para a mitigação dos diversos problemas decorrentes da emissão de GEE, a perspectiva da racionalidade econômica, dada pela ACB, é fundamental para a construção de parâmetros de racionalidade (do planejamento) e sustentabilidade (da execução) de políticas públicas na área ambiental como um todo.

O trabalho está dividido em quatro temas além desta introdução:

1. Definição de objetivos da ACB do PEMAMC-SE;
2. Revisão da Literatura: abordagem econômica que fundamenta a execução de políticas públicas, principalmente na área ambiental;
3. Metodologia: apresentação dos parâmetros utilizados no trabalho como: definição de custos e benefícios, definição da taxa de desconto, horizonte de análise, e premissas para a construção da análise de cenários; e

4. Apresentação dos resultados da ACB, incluindo os diversos cenários propostos.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste Relatório é apresentar a viabilidade econômica do PEMAMC-SE, destacando o resultado líquido (benefícios – custos) dos custos econômicos das diversas intervenções propostas para a redução da emissão dos GEE, e o benefício econômico decorrente destas intervenções.

Como objetivo secundário, serão apresentados cenários alternativos com o objetivo de testar a "robustez" do PEMAMC-SE, dentro de uma perspectiva de resultados (ou impactos) econômicos, a cenários adversos, ao que será denominado como cenário base.

Espera-se também que as ações propostas no PEMAMC-SE, que nortearão a política ambiental do Estado de Sergipe no curto e médio prazos, possam ser incorporadas com maior efetividade no rol das políticas públicas de desenvolvimento econômico, possibilitando ao estado se inserir em um novo patamar de competividade econômica, decorrente do planejamento e implantação de políticas ambientais baseadas em critérios modernos, possibilitando assim a inserção em mercados econômicos com futuro promissor, como o de crédito de carbono.

3. PREMISSAS CONCEITUAIS

3.1. TEORIA ECONÔMICA E ANÁLISE BENEFÍCIO-CUSTO

A análise ou método de custo-benefício – ACB pode ser entendida como uma extensão para a área pública da noção de racionalidade individual, onde as decisões são tomadas através da comparação entre os benefícios e os custos da execução ou não de determinada decisão. Em conformidade com esta abordagem, Vining e Boardman (2024) destacam que o método da análise benefício-custo é bastante utilizado na avaliação do impacto líquido (benefícios – custos) de intervenções públicas como programas, projetos e regulações.

Pode-se associar as bases de um método geral de ACB ao que é denominado na Teoria Econômica de Economia do Bem-estar, que analisa como o nível de bem-estar de uma sociedade pode ser determinado a partir da alocação distributiva de bens entre seus

diversos componentes. Sem aprofundar nos diversos parâmetros da Teoria do Bem-estar, é importante definir três conceitos importantes que são essenciais na aplicação do método de ACB: 1. Bem Público 2. Ótimo de Pareto, e 3. Externalidades.

Um ativo[1] ambiental, como a qualidade do ar, pode ser classificado como um bem público, segundo Thomas e Callan (2010). A classificação como bem público requer as seguintes características:

a) Não rivalidade: também entendida como indivisibilidade, afirma que quando um bem é consumido por um indivíduo, não há proibição do consumo por outro indivíduo, ao mesmo tempo. Exemplo: uso de uma praça, qualidade do ar;

b) Não exclusividade: a ideia da não exclusividade está associada à impossibilidade da proibição de que determinado grupo econômico consuma determinado bem ou serviço.

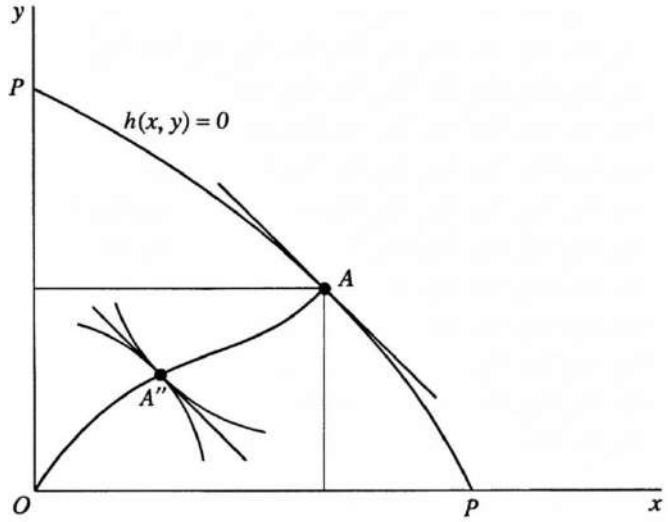
Embora os conceitos sejam muito semelhantes, Thomas e Callan (2010) estabelecem a diferenciação, atribuindo à não rivalidade, a um racionamento "não desejável", enquanto à não exclusividade, a um racionamento "não viável". Retornando ao exemplo da qualidade do ar: não seria razoável pensar a exclusão de determinado grupo de pessoas em respirar um ar mais puro, dado que outro grupo arcou com os custos. Outro ponto importante é que o fato de a qualidade de ar ser "consumida" pelo grupo que arcou com os custos da despoluição não representa impedimento de que haja o consumo, simultaneamente, por outro grupo.

O segundo conceito surge da dificuldade em se estimar uma função de bem-estar social, o que fez com que a teoria econômica tenha optado pela utilização do critério (ou condição) de Pareto, Silberg e Suen (2010).

O critério de Pareto, utilizado na Teoria do Bem-estar, preconiza que um estado social **a** é preferível a um estado social **b**, se ao menos uma pessoa puder estar em uma condição melhor em **a** que em **b**, sem que ao menos uma pessoa fique em condição inferior de bem-estar, tanto em **a** quanto em **b.**

[1] O conceito de ativo utilizado neste trabalho deve ser entendido como algo, tangível ou intangível, que possua valor.

Figura 1: Eficiência do Ótimo de Pareto.



Fonte: Silberberg e Suen (2010).

A análise da Figura 1 pode ser expressa da seguinte forma: a curva PP representa a fronteira de possibilidades de produção de uma dada economia, com um nível de recursos definidos (x e y). A inclinação da curva PP é o custo marginal de produção de x, em substituição a produção de y.

Considerando a presença de dois consumidores (x e y), estes realizarão trocas entre si dentro da linha OA, considerando o ponto A o nível de produção onde nenhuma troca será possível sem que ocorra perda de bem-estar de um dos indivíduos. Em termos de teoria econômica, é possível afirmar que, no ponto A, as taxas marginais de substituição (ou troca) são tangentes entre si (ou iguais entre os agentes), onde h(x,y)=0. Assim, o caminho **ao longo** da curva OA pode ser expresso como uma **melhoria de Pareto,** enquanto o **ponto A** pode ser expresso como o ponto de **Ótimo de Pareto**.

Em síntese, a racionalidade decorrente do conceito de Ótimo (e melhoria) de Pareto para fins de ACB em projetos públicos em geral, é de que é possível (e necessário) intervenções no mercado que possibilitarão a melhoria do bem-estar do conjunto da sociedade, ao contrário do senso comum de ineficiência de intervenções governamentais, principalmente na teoria econômica tradicional (neoclássica).

Por fim, o terceiro conceito econômico utilizado na ACB, é o de externalidade. Uma externalidade pode ser entendida como o impacto na utilidade de agentes econômicos, que não participam diretamente do processo de consumo ou produção de outros agentes econômicos, podendo ser positiva ou negativa.

Economides et al. (2018) afirmam que as mudanças climáticas[2] são a principal externalidade econômica existente, possuindo três características principais:

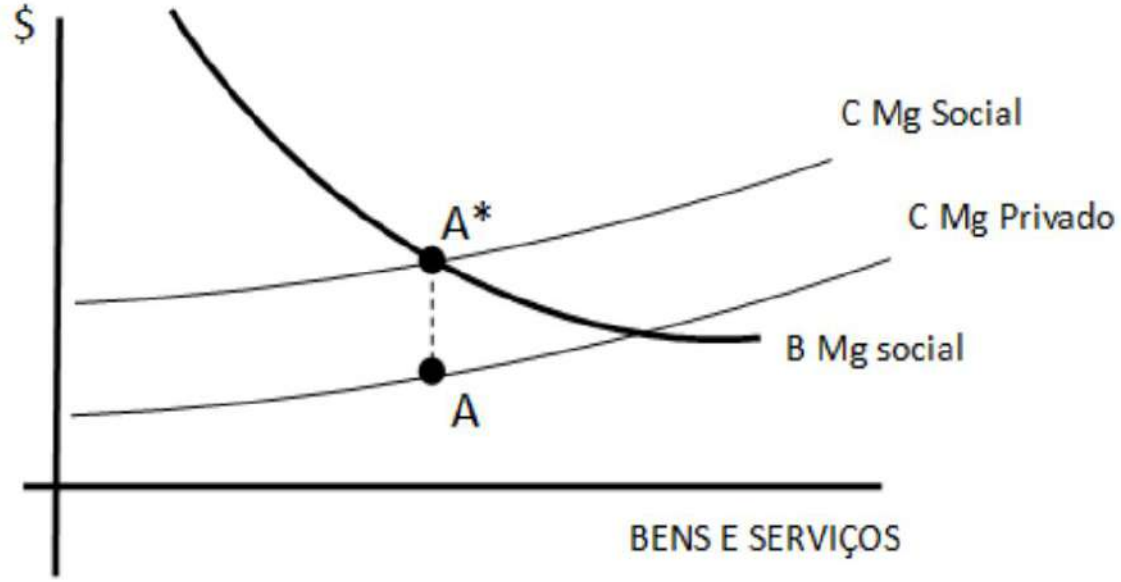
a) Impacto global, com intensidade geográfica diferente;

b) A redução de emissões pode ser considerada como um bem público global, com benefícios também globais, mas com custos locais de redução destas emissões, estimulando assim o "efeito carona"[3]; e

c) Alguns dos efeitos das mudanças climáticas são percebidos no longo prazo, com dinâmicas não lineares, com feedbacks positivos, que podem ser interpretados como efeitos decorrentes do efeito original.

A Figura 2, elaborada por Dall Orsoletta (2020), apresenta o papel das externalidades climáticas sobre o bem-estar social:

Figura 2: Impacto das Externalidades Climáticas sobre o Bem-estar Social.



Fonte: Dall Orsoletta (2020).

A curva B representa o benefício marginal decrescente da oferta de bens e serviços, enquanto as curvas com inclinação ascendente representam os custos marginais privado e social crescentes da oferta destes bens e serviços.

A distância entre o os pontos A e A*(área tracejada) representa o custo social das externalidades resultantes dos efeitos das mudanças climáticas. Vale destacar que as externalidades resultantes dos efeitos das mudanças climáticas não impactam **exclusivamente** na função econômica de bem-estar de uma sociedade, isto é, observável

[2] O conceito de mudanças climáticas utilizado neste trabalho considerará, de forma geral, o impacto na temperatura da terra causada pela emissão de gases de efeito estufa - GEE.
[3] O conceito de efeito carona considera a apropriação de um bem ou serviço coletivo sem o respectivo pagamento ou contribuição. Como consequência, há o desestimulo à oferta pelo mercado. Característica importante de bens públicos.

somente em bens e serviços comercializados no mercado, portanto, com preços disponíveis ou revelados.

Bens e serviços que não encontram preços disponíveis (revelados) no mercado, principalmente ativos ambientais e culturais, devem utilizar de técnicas econômicas para estimar a disposição a pagar – DAP, definido como preço do respectivo bem ou serviço. Para ativos ambientais e bem públicos, tem-se utilizado, para a estimativa de benefícios em análises benefício-custo, o Método de Valoração Contingente – MVC. Em linhas gerais, o MVC consiste em apresentar um mercado hipotético para os consumidores, extraindo destes a disposição a pagar (DAP).

Este método leva vantagem em relação aos métodos de preferência revelada, pois são mais úteis quando se considera uma análise benefício/custo *ex ante* da implantação do projeto, consoante WHITEHEAD, J, C, BLOMQUIST, G, C (2006). Os dados de preferência podem ser "calibrados" com base em dados reais, o que ajuda a estimar com mais precisão os valores de não uso e a DAP *ex ante*.

A ideia fundamental associada ao conceito de externalidade apresentada na Figura 2 é a redução de um padrão ótimo de bem-estar para a sociedade. Tradicionalmente, a Teoria Econômica aponta duas soluções para a resolução do problema de externalidade negativa, segundo, MAS-COLLEL e WHINSTON (1995):

1. Aplicação de cotas e impostos: A aplicação de cotas está relacionada à determinação de um “quantum” de produção do bem ou serviço, enquanto a aplicação de impostos sobre o fator gerador da externalidade, é conhecida como imposto pigouviano. A lógica do imposto pigouviano é a de internalizar o custo social da geração da externalidade, incentivando a redução da oferta do bem e/ou serviço gerador desta. Como exemplos, temos a taxação de emissões de gases de efeito estufa, e os chamados “impostos sobre pecados” (bebidas alcoólicas, fumo). Importante destacar que a eficiência da aplicação do imposto pigouviano deve considerar: a) o imposto pode ser combinado com aplicação de subsídio para o agente econômico impactado pela externalidade; b) a taxação deve incidir diretamente no agente econômico gerador da externalidade; e, c) o governo deve possuir uma grande gama de informações sobre o agente(s) causador(es) da externalidade negativa de forma a aplicar corretamente o imposto pigouviano.
2. Aplicação de direitos de propriedade: A aplicação do direito de propriedade pode ser considerada uma política menos intervencionista no mercado. Podemos explicar o conceito a partir da relação de trocas entre dois consumidores (**a e b**). O consumidor **b** tem o direito de a um ambiente “sem externalidades”, enquanto o consumidor **a** só pode gerar externalidades negativas com a anuência do consumidor **b.** Se a **troca de externalidades** pode ocorrer, a negociação levará a um resultado eficiente, independente da definição dos direitos de propriedade (Teorema de

Coase)[4]. Um exemplo desta solução de externalidade é a criação de um mercado de compensação ambiental.

3.2. RESULTADOS DA ACB EM PROJETOS COM IMPACTOS AMBIENTAIS

A utilização da metodologia da ACB na avaliação de políticas públicas é bastante antiga. Thomas e Callan (2010) apontam que o Decreto Federal de Controle de Inundação nos EUA, de 1936, pode ser considerado como o uso inicial da metodologia custo-benefício como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no governo americano. Um estudo clássico da utilização do método relacionado a aspectos ambientais foi a decisão governamental em meados dos anos 80 do século passado, que reduziu a quantidade do teor de chumbo na gasolina nos EUA.

Considerando que evidências científicas associavam a presença de chumbo a doenças mentais e cardiovasculares, e que a redução do teor de chumbo implicaria um custo significativo para as refinarias, foi elaborada uma Análise do Impacto Regulatório – AIR, mecanismo criado em 1981. Ao considerar que os benefícios sociais eram superiores aos custos privados das refinarias, em 1986 a presença de chumbo na gasolina reduziu de 1,1 para 0,1 grama por galão.

Exemplos de estimativas de ACB em projetos com relevantes impactos ambientais no Brasil é feita por GOMES e MACHADO (2022). Os autores destacam a importância do método como instrumento de governança e na proteção ao meio ambiente. São apresentados dois exemplos que refletem a importância da internalização de externalidades ambientais em ACB.

3.2.1. EXEMPLO 1 – USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (PARÁ)

A construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, no Estado do Pará, foi marcada por uma série de questionamentos quanto aos diversos impactos existentes, principalmente socioambientais. Uma ACB alternativa incorporou diversos custos ambientais associados à: perda na atividade pesqueira, perda na coleta de peixes ornamentais, redução na qualidade da água, redução na produção agrícola e na pecuária, emissão de dióxido de carbono (CO_2) e Metano (CH_4), perda por evaporação, e perda por redução na atividade turística.

[4] A ideia do Teorema de Coase é que a intervenção governamental nem sempre é necessária, já que as partes envolvidas (causador e impactado pela externalidade negativa) podem resolver o conflito diretamente, não importando se o direito é atribuído ao agente causador da externalidade negativa ou ao agente impactado.

Considerando a inclusão destas externalidades na ACB da Usina de Belo Monte, o resultado apresentou Valor Presente Líquido- VPL negativo em US$ 3 bilhões.[5]

3.2.2. EXEMPLO 2 – BR 319 (PORTO VELHO-MANAUS)

A ACB da Rodovia BR 319 (Porto Velho-Manaus) internalizou o impacto ambiental decorrente do desmatamento de 4,4 milhões de hectares de floresta. O custo associado ao desmatamento foi a perda do estoque de 150 toneladas de carbono por hectare, estimados em R$ 2,2 bilhões (considerando o preço da tonelada do carbono no mercado internacional à época).

No cenário onde a externalidade ambiental acima foi considerada, o resultado da ACB foi menor que zero, com benefícios estimados de apenas R$ 0,065(6,5 centavos) para cada R$1,0 de custo.

4. METODOLOGIA

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A construção da ACB do Plano Estadual de Ações para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe (PEMAMC-SE) seguirá a metodologia consolidada na literatura nacional e internacional de avaliação de projetos ambientais, que estimam os benefícios e custos da implantação de projetos e/ou de políticas públicas, definindo viabilidade como o resultado do Valor Presente dos Benefícios – VPB maior que o Valor Presente dos Custos – VPC; VPB-VPC>0, ou VPB/VPC>1.

Um destaque importante é que tanto os custos quanto os benefícios devem ser considerados a partir da premissa que estes sejam **incrementais,** ou seja, decorrentes da implantação do projeto e/ou política pública.

Outra premissa importante utilizada na elaboração da ACB do PEMAMC-SE é de considerar somente intervenções oriundas de políticas estaduais, retirando assim intervenções que dependam de outros níveis de governança, como de legislação federal, a exemplo do aumento do percentual de biodiesel.

Como destaca Thomas e Callan (2010), os efeitos de uma política ou de um projeto ambiental devem ser considerados tanto em termos do horizonte temporal da sua

[5] A definição dos parâmetros de viabilidade econômica em ACB serão detalhados no item 4 – Metodologia.

aplicação (e impactos), quanto em relação ao custo de oportunidade do uso dos recursos para a sua implantação. Isto significa a necessidade de analisar, no presente (Valor Presente –VP), um fluxo de benefícios e custos estimados para o futuro (Valor Futuro-VF).

Formalmente, pode-se estabelecer o VP de um fluxo de caixa como:

$$VP = VF \div (1 + k)^{t}$$

Onde:

VP = valor presente de um fluxo de benefícios e/ou custos

VF = valor futuro de um fluxo de benefícios e/ou custos

k= taxa de desconto utilizada

t = horizonte de análise

Os itens 4.2 a 4.4, a seguir, abordarão de forma detalhada os parâmetros de taxa de desconto e horizonte de análise utilizados na ABC do Plano Estadual de Ações para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe (PEMAMC-SE).

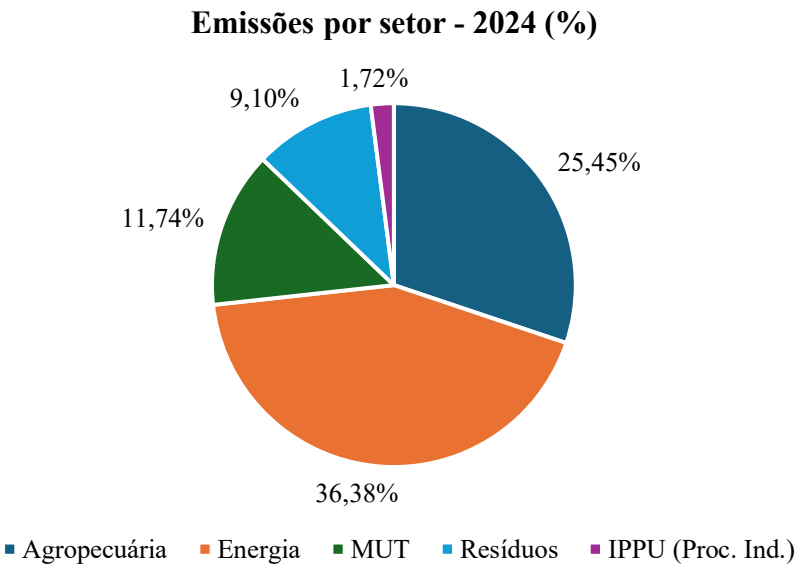
A base para a estimativa de benefícios e custos são decorrentes do conjunto de intervenções definidas no Capítulo 3 – Eixos Estratégicos, descritos no Produto 2.1 e apresentados no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1: PEMAMC-SE – Eixos Estratégicos.

SETOR	EMISSÕES 2024 (MIL TCO_2E)	ESTRATÉGIAS PRIORITÁRIAS
Agropecuária	2.511	ILPF, biodigestores, recuperação de pastagens, manejo de fertilizantes.
Energia	3.589	Veículos elétricos, energia solar distribuída, eficiência energética.
MUT	1.158	Controle de desmatamento, restauração florestal, PSA.
Resíduos	898	Economia circular, captura de biogás, tratamento de efluentes.
IPPU (Proc. Ind.)	170	Materiais cimentícios alternativos, refrigerantes de baixo GWP.
TOTAL	9.866	Pacote integrado multissetorial.

Fonte: PEMAMC-SE, Produto 2.1.

Figura 3: Participação da emissão por setor.



Fonte: Adaptado de SEMAC (2026).

Conforme pode ser observado na Figura 3, os setores agropecuária e energia são os maiores responsáveis pela emissão de GEE no estado, embora não sejam necessariamente os maiores demandantes dos valores investidos, como poderá ser observado no item 4.2 a seguir.

4.2. ESTIMATIVA DE CUSTOS

A estimativa de custos utilizada na ACB do PEMANC-SE terá como base o conjunto de intervenções descritas na Tabela 1 a seguir. As intervenções são as descritas no Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (Produto 2.1), que apresenta estratégias de intervenção para cinco setores específicos:

a) Agropecuária;
b) Energia;
c) Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUTF);
d) Resíduos;
e) Processos Industriais (IPPU).

As intervenções propostas para os setores descritos acima são fundamentais para a contribuição do Estado de Sergipe na obtenção da meta nacional acordada na Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC, que prevê a redução de 53% na emissão de GEE em 2035 (ano base 2005), além de estarem aderentes ao arcabouço jurídico estadual (Lei nº 9.364, de 2024 (art. 5º) e nacional - Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (Lei Federal 12.187, de 2009).

O detalhamento das estimativas de valor para o conjunto de intervenções apresentadas na Tabela 1 está descrito em anexo a este trabalho. Os valores de referência para a estimativa de custos no ano base 2026 foram atualizados pelo IPCA conforme período descrito a seguir:

1. Estratégia ILPF: (Dez/2022 a Dez/2025);
2. Estratégia Biodigestores: (Dez/2016 a Dez/2025);
3. Estratégia Recuperação de Pastagens: (Dez/2022 a Dez/2025);
4. Estratégia Unidades de Conservação (UC): (Dez/2009 a Dez/2025).

Um ponto importante a destacar é que os custos considerados na ACB são **incrementais,** ou seja, custos adicionais decorrentes das diversas estratégias nos setores objetos de intervenção. Desta forma, as estratégias que apresentarem **custo zero** decorrem de saldo nulo ou positivo na comparação da situação atual versus a nova situação decorrente da intervenção (redução de custos decorrentes da implantação da estratégia ou benefícios superiores aos custos da intervenção).

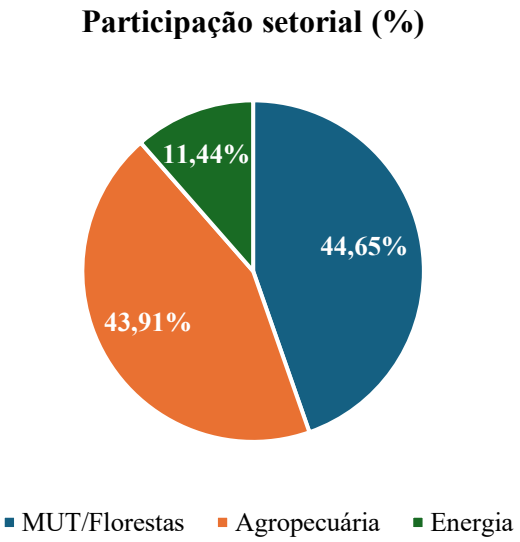
Tabela 1: PEMAMC-SE – Custos e Participação Percentual Estratégias Redução GEE

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	CUSTO (R$)	% DO CUSTO TOTAL
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	353.176.500,00	40,42%
	Biodigestores	120 biodigestores	8.413.190,61	0,96%
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	22.086.250,00	2,53%
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	0,00%
TOTAL CUSTO - AGROPECUÁRIA			**383.675.940,61**	43,91%
Energia	Solar distribuída	1.000 MW 164.000 sistemas)	-	0,00%
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	0,00%
	Eficiência energética	Programa ampliado	100.000.000,00	11,44%
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	0,00%
TOTAL CUSTO - ENERGIA			**100.000.000,00**	11,44%
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	2.757.668,57	0,32%
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	100.000.000,00	11,44%
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	243.282.000,00	27,84%
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	44.127.367,44	5,05%
TOTAL CUSTO - MUT/Florestas			**390.167.036,01**	44,65%

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	CUSTO (R$)	% DO CUSTO TOTAL
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	0,00%
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	0,00%
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	0,00%
TOTAL CUSTO - Resíduos			-	0,00%
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	0,00%
TOTAL GERAL			**873.842.976,62**	**100%**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Figura 4: Participação setorial no custo total



Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

O gráfico acima apresenta os setores de Mudança de Uso da Terra e Florestas - MUT/Florestas e Agropecuária, como os mais representativos no custo total das intervenções. Ressaltando que os custos referentes às intervenções nos setores de Resíduos e de Processos Industriais e Uso de Produtos – IPPU, apresentam custo zero, à medida em que as intervenções refletirão redução de custos e/ou benefícios financeiros superiores aos custos de implantação.

As tabelas a seguir apresentam os cronogramas de execução das intervenções (percentual e financeira) descritas na Tabela 1. Importante destacar que estas ocorrerão no horizonte 2027-2036, conforme definido no Produto 2.1, relativo ao PEMAMC-SE.

A definição do cronograma de execução é relevante para a elaboração do fluxo de caixa da ACB, que será apresentado no item 5 deste trabalho.

Tabela 2: Cronograma de execução das intervenções (%)

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	6,67%	13,33 %	16,67%	20,00%	16,67%	13,33%	10,00%	3,33%	0,00%	100%
	Biodigestores	120 biodigestores	6,18%	8,20%	10,22%	12,23%	12,23%	12,23%	12,23%	12,23%	14,25%	100%
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	6,00%	8,00%	10,00%	12,00%	12,00%	14,00%	14,00%	12,00%	12,00%	100%
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
	Eficiência energética	Programa ampliado	5,00%	8,00%	12,00%	15,00%	18,00%	15,00%	12,00%	10,00%	5,00%	100%
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	4,00%	6,67%	9,33%	13,33%	13,33%	13,33%	13,33%	13,33%	13,33%	100%
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	20,00 %	20,00 %	20,00%	15,00%	10,00%	7,50%	5,00%	2,50%	0,00%	100%
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	12,17 %	13,91 %	13,04%	12,17%	11,30%	10,43%	9,57%	9,57%	7,83%	100%
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	12,50 %	12,50 %	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	0,00%	100%
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 3: Cronograma de execução das intervenções (R$).

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TOTAL
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	23.545.100	47.090.200	58.862.750	70.635.300	58.862.750	47.090.200	35.317.650	11.772.550	-	353.176.500
	Biodigestores	120 biodigestores	520.170	689.791	859.412	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.198.653	8.413.191
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	1.325.175	1.766.900	2.208.625	2.650.350	2.650.350	3.092.075	3.092.075	2.650.350	2.650.350	22.086.250
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia	Solar distribuída	1.000 MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mobilidade elétrica	60.000 VE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	Programa ampliado	5.000.000	8.000.000	12.000.000	15.000.000	18.000.000	15.000.000	12.000.000	10.000.000	5.000.000	100.000.000
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	110.307	183.845	257.382	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	2.757.669
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	20.000.000	20.000.000	20.000.000	15.000.000	10.000.000	7.500.000	5.000.000	2.500.000	-	100.000.000
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	29.616.939	33.847.930	31.732.435	29.616.939	27.501.443	25.385.948	23.270.452	23.270.452	19.039.461	243.282.000
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	-	44.127.367
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IPPU	Cimento+química+ cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			85.633.612	117.094.587	131.436.525	139.815.232	123.927.186	104.980.866	85.592.820	57.105.995	28.256.154	873.842.977

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

4.3. ESTIMATIVA DE BENEFÍCIOS

A estimativa de benefícios utilizada na ACB do PEMAMC-SE, considerará, exclusivamente, os benefícios decorrentes da redução de GEE das intervenções descritas na Tabela 1. O impacto das intervenções na redução de GEE tomou como base as estimativas feitas no Produto 2.1 do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE), o PEMAMC-SE.

Importante destacar o papel das externalidades positivas do benefício da redução de GEE das ações implantadas no Estado de Sergipe, mas que proporcionarão impactos em nível nacional e global. Outros benefícios também poderiam ser considerados, como os decorrentes da mudança na matriz energética (redução do consumo de combustíveis fósseis), na saúde pública (redução no custo das internações e tratamentos de problemas respiratórios), aumento na produtividade agropecuária, impacto na conservação da biodiversidade, dentre outros.

A multiplicidade de estimativas de benefícios nos diversos setores descritos anteriormente, requereriam a aplicação de ACB que refletisse o foco da intervenção de cada política/intervenção específica, como aumento da produtividade na agricultura, redução dos gastos com saúde etc. Estas análises podem ser realizadas em estudos futuros, através de ações da SEMAC com as áreas/secretarias afins.

A consideração da redução da emissão de GEE como benefício único da ACB da PEMAMC-SE tem a vantagem de conferir a racionalidade econômica a partir de uma perspectiva **do conjunto de intervenções do programa,** independente da delimitação dos beneficiários, problema bastante comum em ACB.[6]

A Tabela 4 a seguir apresenta os benefícios (redução em MtCO2) das diversas estratégias nos setores objetos de intervenção no PEMAMC-SE.

Tabela 4: Estimativa de benefícios por setor/estratégia – 2028-2036.

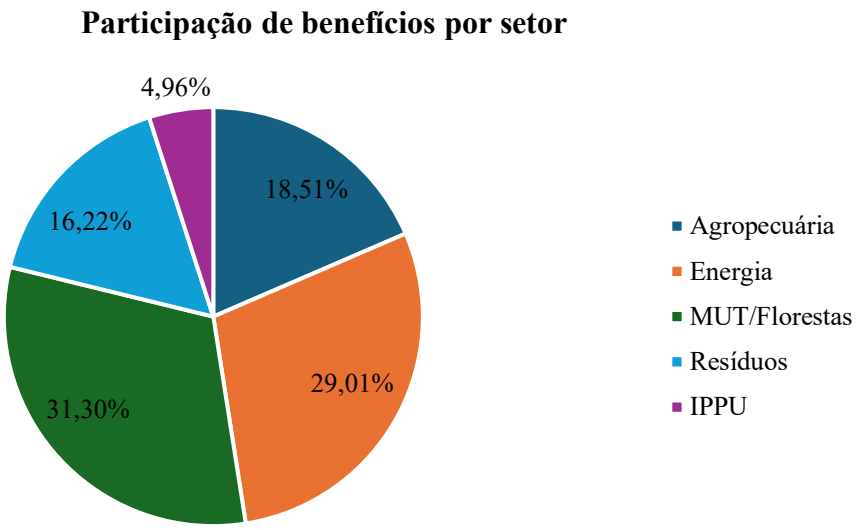
SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	REDUÇÃO ($MTCO_2E$)	% META TOTAL
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	0,60	11,45%
	Biodigestores	120 biodigestores	0,18	3,44%
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	0,06	1,15%
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	0,13	2,48%

[6] STIVALI e NATTEI (2023) recomendam para análises custo-benefícios tradicionais, a inclusão do cálculo do impacto distributivo do projeto, destacando aspectos relacionados à redução da pobreza e da desigualdade.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	REDUÇÃO ($MTCO_2E$)	% META TOTAL
TOTAL BENEFÍCIO – AGROPECUÁRIA			**0,97**	18,51%
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	0,50	9,54%
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	0,18	3,44%
	Eficiência energética	Programa ampliado	0,76	14,50%
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	0,08	1,53%
TOTAL BENEFÍCIO – ENERGIA			**1,52**	29,01%
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	1,16	22,14%
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	0,13	2,48%
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	0,20	3,82%
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	0,15	2,86%
TOTAL BENEFÍCIO - MUT/Florestas			**1,64**	31,30%
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	0,80	15,27%
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	0,03	0,57%
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	0,02	0,38%
TOTAL BENEFÍCIO – Resíduos			**0,85**	16,22%
IPPU	Cimento+química +cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	**0,26**	4,96%
TOTAL CUSTO – IPPU			**0,26**	4,96%
TOTAL GERAL			**5,24**	**100,00%**

Fonte: SEMAC (2026).

Figura 5: Participação de benefícios por setor (%)



Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

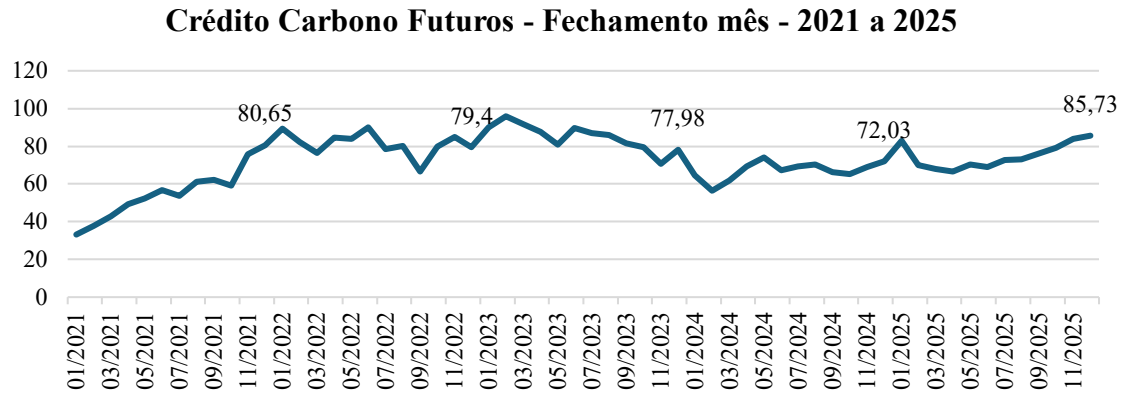
Diferente do gráfico da Figura 4 (custos), em que o setor "agropecuária" é o maior responsável na geração de custo, o setor de energia aparece em destaque na geração de benefícios, atrás apenas de Mudança de Uso da Terra/Florestas. Será apresentado no item 5 deste trabalho, uma análise pormenorizada dos saldos líquidos (benefícios-custos) dos diversos setores e estratégias utilizadas, possibilitando uma melhor compreensão do ponto de vista setorial do conjunto das estratégias propostas.

O valor financeiro atribuído ao quantum de redução de GEE considerará, além dos valores descritos na Tabela 4, o valor atribuído à tonelada de CO2. Neste caso, será considerado para o que se denomina de **cenário base,** o preço médio de US$ 32,00/ ton CO2, definido no Produto 5.2 – Estudo do Potencial Financeiro dos Créditos de Carbono e Mapeamento de Oportunidades, do PEMAMC-SE. A taxa de câmbio utilizada é de R$/US$ 5,5 (ano 2027), R$/US$ 5,52(ano 2028) e R$/US$5,57(2029 a 2036), conforme previsão do Relatório FOCUS do Banco Central (09.02.2026).

Um outro parâmetro de preço que será utilizado para estimativa de benefícios da redução da emissão de GEE, é o valor de um instrumento financeiro denominado de Crédito de Carbono Futuros (CFI2H6)[7]. Dada a volatilidade do instrumento financeiro (v. Figura 6), será utilizado, na **análise de cenários** (cenário alternativo), o valor médio de US$ 72,10, referente à média anual do período 2021-2025. Será utilizada a mesma taxa de câmbio definida para o cenário base.

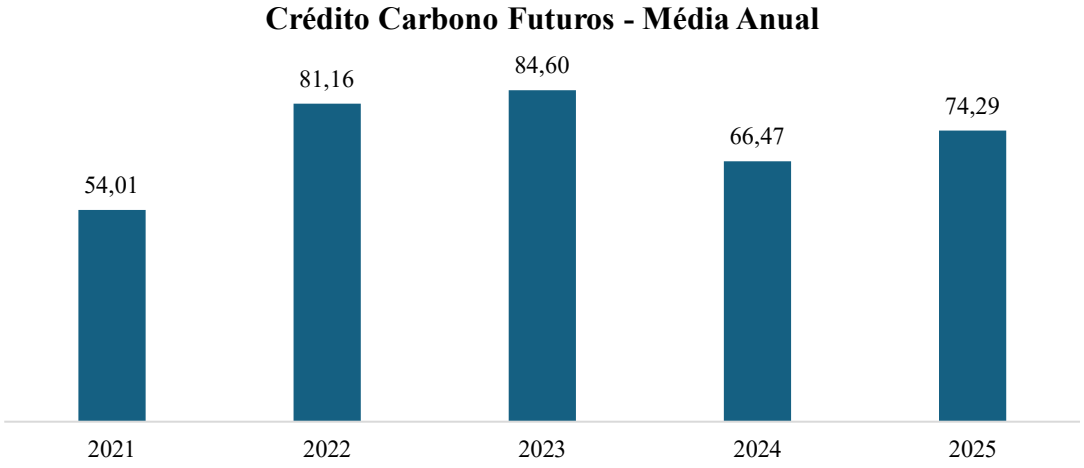
[7] O Crédito de Carbonos Futuros é um instrumento derivativo (deriva de outro ativo), comercializado na Bolsa ICE – Intercontinental Exchange. Na prática, o instrumento permite maior previsibilidade para elaboração de fluxo de caixa futuro de projetos ligados ao meio ambiente, principalmente os de crédito de carbono.

Figura 6: Evolução do preço de Crédito de Carbono Futuros – Fechamento Mensal 2021-2025



Fonte: Investing.com (2026).

Figura 7: Crédito de Carbono Futuros – Média Anual – 2021 a 2025



Fonte: Investing.com (2026).

Da mesma forma que exposto quando da definição dos custos, as tabelas a seguir apresentam os cronogramas de estimativa de benefícios (em percentual e financeiro). Optou-se por utilizar uma defasagem temporal para os benefícios em t+1, o que significa que os benefícios decorrentes da redução da emissão de GEE são computados no ano seguinte às respectivas intervenções.

Tabela 5: Cronograma de benefícios 2027-2036 (%).

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	0%	7%	13%	17%	20%	17%	13%	10%	3%	0%
	Biodigestores	120 biodigestores	0%	5%	8%	10%	13%	13%	13%	13%	13%	15%
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	0%	6%	8%	10%	12%	12%	14%	14%	12%	12%
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	0%	2%	4%	6%	8%	10%	15%	20%	22%	13%
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	0%	8%	11%	13%	14%	14%	13%	12%	9%	6%
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	0%	2%	3%	7%	12%	20%	23%	17%	12%	5%
	Eficiência energética	Programa ampliado	0%	5%	8%	12%	15%	18%	15%	12%	10%	5%
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	0%	8%	10%	12%	15%	18%	15%	12%	7%	3%
MUT/Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	0%	12%	20%	28%	40%	0%	0%	0%	0%	0%
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	0%	20%	20%	20%	15%	10%	8%	5%	3%	0%
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	0%	12%	14%	13%	12%	11%	10%	10%	10%	8%
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	0%	12%	18%	22%	20%	12%	8%	5%	2%	1%
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	0%	34%	11%	11%	11%	5%	6%	5%	6%	10%
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	0%	25%	25%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	0%
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	0%	11%	18%	18%	18%	18%	18%	0%	0%	0%
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	0%	5%	8%	12%	18%	20%	18%	12%	5%	2%

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 6: Estimativa de benefício cenário base – 2027 a 2036.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	-	7.065.600	14.259.200	17.824.000	21.388.800	17.824.000	14.259.200	10.694.400	3.564.800	-	106.880.000

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
	Biodigestores	120 biodigestores	-	1.589.760	2.406.240	3.208.320	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.812.480	32.068.800
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	-	635.904	855.552	1.069.440	1.283.328	1.283.328	1.497.216	1.497.216	1.283.328	1.283.328	10.688.640
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	459.264	926.848	1.390.272	1.853.696	2.317.120	3.475.680	4.634.240	5.097.664	3.012.256	23.167.040
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	7.065.600	9.803.200	11.585.600	12.476.800	12.476.800	11.585.600	10.694.400	8.020.800	5.347.200	89.056.000
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	529.920	1.069.440	2.138.880	3.743.040	6.416.640	7.486.080	5.347.200	3.743.040	1.604.160	32.078.400
	Eficiência energética	Programa ampliado	-	6.712.320	10.743.570	16.348.910	20.319.360	24.289.810	20.319.360	16.348.910	13.546.240	6.773.120	135.401.600
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	1.130.496	1.425.920	1.711.104	2.154.724	2.566.656	2.154.724	1.711.104	1.013.988	380.245	14.248.960
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	-	24.588.288	41.351.680	57.892.352	82.703.360	-	-	-	-	-	206.535.680
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	-	4.592.640	4.634.240	4.634.240	3.475.680	2.317.120	1.737.840	1.158.560	579.280	-	23.129.600
	Restauração florestal	50.000 ha restaurados	-	4.300.800	4.959.722	4.649.739	4.339.757	4.029.774	3.719.791	3.409.809	3.409.809	2.789.843	35.609.043
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	-	3.179.520	4.812.480	5.881.920	5.347.200	3.208.320	2.138.880	1.336.800	534.720	267.360	26.707.200
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	47.692.800	16.041.600	16.041.600	16.041.600	7.129.600	8.912.000	7.129.600	8.912.000	14.259.200	142.160.000
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	1.324.800	1.336.800	1.336.800	1.336.800	-	-	-	-	-	5.335.200
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	378.514	636.571	636.571	636.571	636.571	636.571	-	-	-	3.561.371
IPPU	Cimento+química+ cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por	-	2.296.320	3.743.040	5.525.440	8.377.280	9.268.480	8.377.280	5.525.440	2.317.120	891.200	46.321.600

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
		materiais alternativos											
TOTAL			**-**	**113.542.546**	**119.006.103**	**151.875.189**	**189.488.396**	**97.774.619**	**90.310.622**	**73.498.079**	**56.033.188**	**41.420.393**	**932.949.135**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

4.4. PARÂMETROS PARA ABC

Os parâmetros descritos a seguir serão utilizados para a construção do fluxo de caixa de custos e benefícios, descritos a Valor Presente, cujo conceito foi apresentado no item 4.1 deste trabalho.

4.4.1. TAXA DE DESCONTO

A taxa de desconto utilizada na avaliação privada de investimentos representa o custo de oportunidade do capital. Dito de outra forma, consiste na rentabilidade alternativa (em %) que o investimento deve superar, considerando a taxa de desconto como uma rentabilidade alternativa ao investimento em questão. Exemplo: utilização dos lucros de uma determinada empresa X para a ampliação do negócio ou aplicação no mercado financeiro.

Há várias formas de se calcular a taxa de desconto. Considerando a impossibilidade de se comparar todos os usos possíveis (alternativos) de determinado investimento, uma regra comum é utilizar como *proxy* da taxa de desconto, a rentabilidade de uma aplicação financeira livre de risco. No caso brasileiro, a rentabilidade oferecida pelos títulos públicos vinculados à Taxa SELIC, hoje em 15% ao ano.

Outras duas metodologias muito utilizadas para o cálculo da taxa de desconto são: 1: O Custo do Capital Próprio (CAPM); e 2: o Custo Médio Ponderado do Capital (WACC, na tradução em inglês).

O CAPM pode ser expresso como $CAPM = [Tlr + \beta(Trm - Tlr)]$, onde:

- $CAPM = custo\ do\ capital\ próprio$;
- $Tlr = taxa\ livre\ de\ risco$;
- $\beta = volatilidade\ da\ empresa\ em\ relação\ ao\ mercado$[8].

O WACC (Custo Médio Ponderado de Capital) pondera o custo de capial próprio e o custo da dívida (capital de terceiros), descontado os impostos. Formalmente:

$$WACC = [Ke * (E \div D + E)] + [Kd * (1 - \%i)]$$

[8] Pode-se interpretar volatilidade como a variação do desempenho de uma empresa em relação ao mercado. Pode ser expresso, por exemplo, como a variação da ação de empresa em relação a um índice de mercado como o IBOVESPA. $\beta > 1$ significa que a ação da empresa varia proporcionalmente mais que o mercado, sendo considerada volátil. Importante considerar que o sinal do β deve ser interpretado em módulo. No caso de um valor $\beta < -1$ por exemplo, a empresa continuaria sendo volátil, apenas movimentando-se em direção oposta à do mercado.

- $WACC = custo\ médio\ ponderado\ de\ capital$;
- $Ke = custo(\%)\ capital\ próprio$;
- $E = patrimônio\ líquido$;
- $D = dívida$;
- $Kd = custo\ (\%)\ capital\ de\ terceiros$;
- $\%i = alíquota\ imposto$.

Dall Orsoletta (2020) aponta que o critério de escolha da taxa de desconto no que é denominado de Economia Climática é assunto ainda sem consenso na literatura. Partindo do princípio de que a taxa de desconto pode representar uma preferência intertemporal (escolha entre consumo presente x consumo futuro), taxas de desconto maiores representam uma maior preferência por consumo no presente, enquanto taxas de desconto menores, uma maior preferência por um nível maior de consumo futuro.

O presente trabalho utilizará, para o que se denominará de **Cenário Base**, a taxa de desconto estimada por NORDHAUS (2007) de 4,25% a.a. A taxa definida pelo autor tem como base a crítica feita às estimativas feitas ao trabalho feito por Stern (2006)[9] .

Fundamentalmente, a crítica à taxa de desconto utilizada por STERN (0,1% a.a), é de que taxas de desconto muito baixas ignoram o retorno financeiro para a sociedade da melhoria no seu bem-estar, e que políticas gradativas de redução de GEE seriam mais eficientes, na medida em que poderiam ser incorporadas nos sistemas industriais com mais facilidade.

Existe uma série de discussões e parâmetros sobre a utilização de taxas de desconto em ACB. O Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, tradicionalmente utiliza a taxa de 12% ao ano. Documento produzido pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA para o parâmetro de taxa de desconto em Projetos de Infraestrutura (ACB), define o valor de 8,5% a.a.

A fim de evitar estimativas sub ou sobre valorizadas de benefícios e custos, serão utilizados valores diferentes de taxas de desconto, definidas no item 4.4.3 – Análise de Cenários.

4.4.2. HORIZONTE DE ANÁLISE

O horizonte de análise refere-se ao tempo utilizado na construção do fluxo de caixa de benefícios e custos. Será considerado um horizonte de 9 anos, abrangendo o

[9] O trabalho é conhecido no Brasil como Relatório Stern.

período 2027-2035, para estimativa de custos, e no período 2028-2036 para estimativa de benefícios[10]. O ano de 2035 tem como referência o horizonte utilizado para o cumprimento das metas acordadas na NDC brasileira.

4.4.3. ANÁLISE DE CENÁRIOS

A análise de cenários[11] incorpora, ao cenário base, parâmetros alternativos com o objetivo de comparar os resultados da ACB (manutenção ou não do critério de viabilidade). Normalmente, são analisados critérios em cenários "estressados", isto é, com piora nos parâmetros utilizados no Cenário Base. Este trabalho utilizará 06 cenários alternativos (o cenário base será considerado como cenário 1), focando na alteração dos seguintes parâmetros:

- **Cenários 2 e 3**: alteração no valor utilizado do quantum de CO2:Cenário 2 - US$25,00[12], referente ao preço médio da tonelada de carbono no período 2025-2030 definida no Produto 5.2; e Cenário 3 – utilização do preço médio de R$/US$ de 72,00 referente à média do período 2021-2025 do mercado de Crédito de Carbono Futuros;
- **Cenários 4 e 5**: Cenário 4 – utilização da taxa de desconto de 8,5% a.a. (utilizada em projetos de infraestrutura), e Cenário 5 – utilização da taxa de desconto de 12% a.a., definida em projetos financiados por instituições financeiras internacionais, como o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID; e
- **Cenários 6 e 7**: Cenário 6 – Elevação da estimativa de custos em 10%, e Cenário 7 – Redução da estimativa de benefícios em 10%.

Na análise dos cenários descrita acima, são mantidos constantes os demais parâmetros utilizados no cenário base.

5. RESULTADOS DA ACB

Os subitens a seguir demonstram os resultados da ACB para o cenário base e cenários alternativos, descritos no subitem 4.4.3.

Não será apresentado o indicador de *Pay Back* (tempo de recuperação de investimento), já que os investimentos previstos ocorrerão durante a maioria do horizonte

[10] A estimativa de benefícios ocorre no período t+1 da estimativa de custos.
[11] Alguns estudos utilizam a expressão de análise de risco.
[12] O valor de US$ 25,00 refere-se ao preço médio da Ton CO2 para o período 2025-2030 estimada no Produto 5.2 do PEMAMC-SE.

de tempo considerado (2027-2035), e não no(s) ano(s) inicial(is), como acontecem normalmente em projetos de investimento.

5.1. CENÁRIO BASE

Os resultados do Cenário Base podem ser visualizados na Tabela 6 a seguir. Considerando a estimativa de custos e benefícios apresentados nos itens 4.2 e 4.3, a taxa de desconto de 4,25% a.a., o preço de US$ 32,00 e taxa de câmbio definidas segundo previsão do Relatório FOCUS do Banco Central (apresentadas no item 4.3), tem-se:

a) Benefício – Custo: R$ 33.717.292,54;
b) Benefício/Custo: 1,04;
c) Taxa Interna de Retorno (TIR): 8%.

Os resultados dos itens a e b demonstram a viabilidade econômica das intervenções propostas no Plano Estadual para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe. O item **a** expressa o montante de benefícios superior aos custos das intervenções, em valor presente, ou seja, caso o montante de investimentos fosse utilizado a uma rentabilidade alternativa de 4,25% a.a., os benefícios proporcionados pelo PEMAMC-SE superariam esta rentabilidade alternativa em R$ 33.717.292,54.

O item **b** tem interpretação semelhante ao item a, apenas expresso em percentual. Neste caso, os benefícios superam os custos em 4%.

Por fim, a Taxa Interna de Retorno expressa a taxa de desconto que iguala os benefícios e custos (saldo) das intervenções, quando comparadas a uma rentabilidade alternativa. Neste caso, a TIR do PEMAMC-SE é de 8,3% a.a., bastante superior à taxa de desconto utilizada no cenário base.

Tabela 6: PEMAMC-SE Análise Custo-Benefício Cenário Base.

ANO	BENEFÍCIOS						SUBTOTAL VPL	CUSTOS						SUBTOTAL VPL
	AGROP.	ENERGIA	MUT /FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL		AGROP.	ENERGIA	MUT /FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL	
2027	-	-	-	-	-	-	-	25.390.445	5.000.000	55.243.167	-	-	85.633.612	**77.714.484**
2028	9.750.528	15.438.336	36.661.248	49.396.114	2.296.320	113.542.546	**99.601.381**	49.546.891	8.000.000	59.547.696	-	-	117.094.587	**107.445.762**
2029	18.447.840	23.042.130	55.758.122	18.014.971	3.743.040	119.006.103	**106.402.355**	61.930.787	12.000.000	57.505.738	-	-	131.436.525	**121.203.043**
2030	23.492.032	31.784.494	73.058.251	18.014.971	5.525.440	151.875.189	**136.001.888**	74.314.683	15.000.000	50.500.549	-	-	139.815.232	**129.659.570**
2031	28.536.224	38.693.924	95.865.997	18.014.971	8.377.280	189.488.396	**169.644.511**	62.542.133	18.000.000	43.385.054	-	-	123.927.186	**114.847.087**
2032	25.434.848	45.749.906	9.555.214	7.766.171	9.268.480	97.774.619	**89.029.468**	51.211.308	15.000.000	38.769.558	-	-	104.980.866	**97.144.098**
2033	23.242.496	41.545.764	7.596.511	9.548.571	8.377.280	90.310.622	**82.114.645**	39.438.758	12.000.000	34.154.062	-	-	85.592.820	**79.017.392**
2034	20.836.256	34.101.614	5.905.169	7.129.600	5.525.440	73.498.079	**67.100.113**	15.451.933	10.000.000	31.654.062	-	-	57.105.995	**51.961.653**
2035	13.956.192	26.324.068	4.523.809	8.912.000	2.317.120	56.033.188	**51.028.491**	3.849.003	5.000.000	19.407.150	-	-	28.256.154	**25.421.787**
2036	9.108.064	14.104.725	3.057.203	14.259.200	891.200	41.420.393	**37.209.315**	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	172.804.480	270.784.960	291.981.523	151.056.571	46.321.600	932.949.135	**838.132.168**	383.675.941	100.000.000	390.167.036	-	-	873.842.977	**804.414.875**
Benefício - Custo	R$ 33.717.292,54													
Benefício / Custo	1,04													
TIR	8,3%													

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

5.2. ANÁLISE DE CENÁRIOS

O detalhamento da análise de cenários apresentados no subitem 4.4.3 deste trabalho referem-se a alterações em três parâmetros importantes:

1. Preço do benefício (Ton CO2): redução do preço base de US$ 32,00 para US$ 25,00 no cenário 2, e elevação para US$ 72,00 no cenário 3;
2. Alterações na Taxa de Desconto: para 8,5% a.a. (utilizada em projetos públicos de infraestrutura no Brasil) no cenário 4, e 12% a.a., utilizada por instituições financeiras internacionais como o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID; e
3. Alterações no fluxo de caixa: elevação de 10% nos custos no cenário 6, e redução em 10% nos benefícios no cenário 7.

O Quadro 2 apresenta os resultados da viabilidade econômica da ACB nos 6 cenários. Os valores do detalhamento dos fluxos de caixa estão apresentados em Anexo a este trabalho.

A partir das análises, é possível inferir que a viabilidade econômica, dada pela ACB das intervenções propostas pelo PEMAMC-SE, é muito mais sensível (cenários 2 e 3) a variações no valor do benefício, dado pelo preço de mercado da Ton CO2.

Os cenários 4 e 5 estabelecem um limite para a utilização de uma taxa de desconto muito próxima à recomendada para projetos públicos de infraestrutura. Importante ressaltar que a comparação entre projetos ambientais e projetos de infraestrutura não é necessariamente adequada, principalmente pelo caráter distributivo (beneficiários) dos projetos ambientais.

Por sua vez, os cenários 6 e 7 apresentam, principalmente no cenário 7,uma análise semelhante ao cenário 2, já que a redução de benefícios é equivalente a um menor preço por tonelada utilizado quando da comparação com o cenário base.

Por fim, cumpre tecer um comentário sobre as TIRs negativas. A interpretação adequada deste parâmetro é que há um resultado negativo do fluxo financeiro para além do custo de oportunidade (taxa de desconto), entre os custos e benefícios decorrentes das intervenções propostas no PEMAMC-SE.

Quadro 2: PEMAMC-SE Análise de Cenários.

CENÁRIO	PARÂMETRO DE VIABILIDADE		
	B-C (R$)	B/C	TIR
2	-149.624.119,14	0,81	-18,90%
3	1.081.382.502,15	2,34	172,80%
4	13.656.883,16	1,02	8,30%

CENÁRIO	PARÂMETRO DE VIABILIDADE		
	B-C (R$)	B/C	TIR
5	267.428,06	1,00	8,30%
6	-37.140.910,47	0,96	-2%
7	-50.095.924,23	0,94	-5%

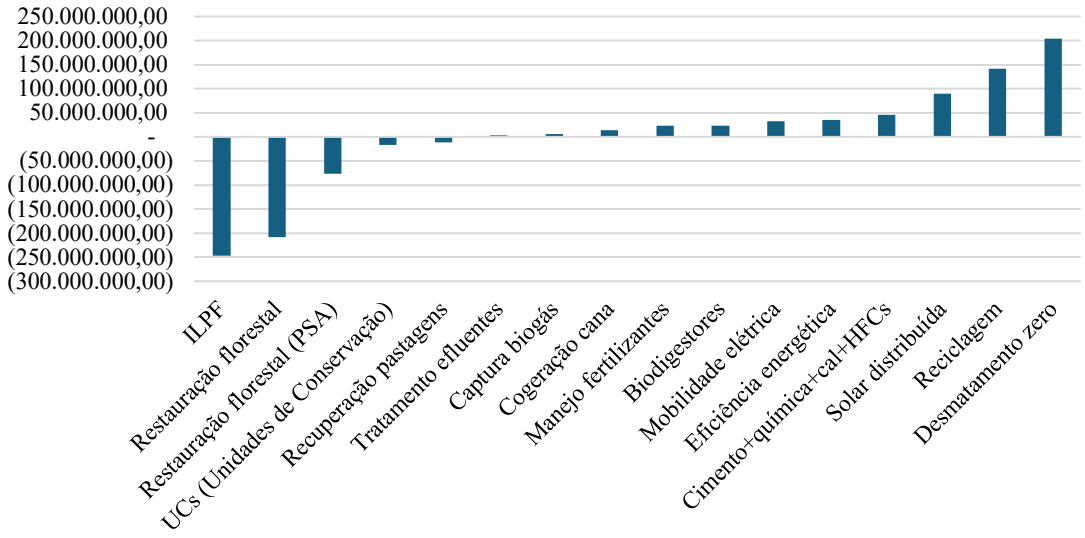
Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ACB do PEMAMC-SE apresenta, no cenário considerado como base, viabilidade econômica, com benefícios superiores aos custos. A análise de cenários demonstrou que os resultados da ACB são mais sensíveis a variações no valor estimado dos parâmetros de benefícios econômicos, com destaque para o preço da tonelada de CO2.

Este resultado é decorrente de uma análise agregada das diversas intervenções, refletindo, assim, o projeto na sua integridade. Uma análise pormenorizada dos benefícios e custos de cada estratégia setorial pode ser visualizada na Figura 8 e na Tabela 7, a seguir.

Figura 8: Saldo Líquido por Estratégias (VF).



Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 7: Saldo Benefícios – Custos por Setor/Estratégia.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	BENEFÍCIO	CUSTO	SALDO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	106.880.000,00	353.176.500,00	-246.296.500,00
	Biodigestores	120 biodigestores	32.068.800,00	8.413.190,61	23.655.609,39
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	10.688.640,00	22.086.250,00	-11.397.610,00
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	23.167.040,00	-	23.167.040,00
TOTAL - AGROPECUÁRIA			**172.804.480,00**	383.675.940,61	-210.871.460,61
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	89.056.000,00	-	89.056.000,00

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	BENEFÍCIO	CUSTO	SALDO
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	32.078.400,00	-	32.078.400,00
	Eficiência energética	Programa ampliado	135.401.600,00	100.000.000,00	35.401.600,00
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	14.248.960,00	-	14.248.960,00
TOTAL - ENERGIA			**270.784.960,00**	100.000.000,00	170.784.960,00
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	206.535.680,00	2.757.668,57	203.778.011,43
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	23.129.600,00	100.000.000,00	- 76.870.400,00
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	35.609.043,48	243.282.000,00	-207.672.956,52
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	26.707.200,00	44.127.367,44	-17.420.167,44
TOTAL - MUT/Florestas			**291.981.523,48**	390.167.036,01	-98.185.512,53
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	142.160.000,00	-	142.160.000,00
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	5.335.200,00	-	5.335.200,00
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	3.561.371,43	-	3.561.371,43
TOTAL - Resíduos			**151.056.571,43**	-	151.056.571,43
IPPU	Cimento+química+ cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	**46.321.600,00**	-	46.321.600,00
TOTAL - IPPU			**46.321.600,00**	-	46.321.600,00
TOTAL GERAL			**932.949.134,91**	**873.842.976,62**	**59.106.158,29**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

É possível destacar que há estratégias com saldo negativo, com destaque para os setores Agropecuária e MUT/Florestas. Uma avaliação inicial poderia levar erroneamente à conclusão da exclusão destes setores do PMAMC-SE. Entretanto, é importante destacar dois pontos: o primeiro, e talvez o mais importante, é que estes dois setores são responsáveis por aproximadamente 50% dos benefícios relacionados à redução da emissão de GEE (ver Tabela 7 e Figura 6); e o segundo, é que a metodologia de estimação de benefícios utilizada na ACB do PEMAMC-SE considerou, exclusivamente, os benefícios decorrentes da emissão de GEE, conforme exposto no item 4 – Metodologia.

Neste sentido, é possível, principalmente para estes setores descritos anteriormente, a possibilidade de estimação de benefícios adicionais, como os relacionados à melhoria da produtividade e aumento na produção, o que certamente alterará o saldo líquido entre benefícios e custos das intervenções propostas.

6. REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Projeto Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono*. Consultores: Bruno Saviotti; Cleandro Pazinato; Fabiano Coser; Fabrício Leitão. Pesquisa e revisão técnica: Paulo Armando V. de Oliveira. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016. 1. ed.

- CHAPMAN, R.; KEALL, M.; HOWDEN-CHAPMAN, P.; et al. *A Cost Benefit Analysis of an Active Travel Intervention with Health and Carbon Emission Reduction Benefits. International Journal of Environmental Research and Public Health.*vol.15, n. 1, 2018.

- DALL ORSOLETTA, F. *Análise Custo-Benefício de uma Política Climática na Pecuária da Costa Rica. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília,*2020.

- ECONOMIDES, G.; PAPANDREOU, A.; et al. *The Economics of Climate Change. Bank of Greece*, Athens, 2018.

- FGVces. *Análise Benefício-Custo de Medidas de Adaptação à Mudança do Clima na Bacia Hidrográfica dos Rios Piancó-Piranhas-Açu: Produto 1BAcesso em*. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. 2016.

- GOMES, M, F.; MACHADO, L, M. *A análise de custo-benefício como ferramenta de governança e proteção ambiental. Revista de Direito Brasileira.*n.12, 2022.

- IMF. International Monetary Found. *The Economics of Climate.Finance and Development*, 2019.

- IPEA. *Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício.* Brasília: Ministério da Economia, 2022.

- INVESTING.COM**.** Carbon Emissions — Valor do Crédito de Carbono / Cotação. *Investing.com*, [s.d.]. Disponível em: https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions. Acesso em: 28/12/2025

- INSTITUTO ESCOLHAS. *Custos e benefícios das fontes de geração elétrica*. Caderno de Geração. São Paulo: Instituto Escolhas, ago. 2018.

- MAS COLELL, A.; WHINSTON, M, D. et al. *Microeconomic Theory. New York, Oxford University Press,* 1995.

- MUANIS, M. M. Quanto custa uma unidade de conservação federal?: uma visão estratégica para o financiamento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Snuc) Manuela Mossé Muanis, Manoel Serrão, Leonardo Geluda. - Rio de Janeiro: Funbio, 2009.

- NORDAHUS, W. *A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. Jornal of Economic Literature*, v.45, 2007

- RATHMANN, R(coord.) *Estudo Estratégico dos impactos econômicos da mudanca do clima no Brasil. Brasília, Ministério do Planejamento e Orçamento*, 2025.

- SANT'ANNA, A.A., COSTA, L.A.N., 2022. Estimativas de custos de implementação do Código Florestal. Projeto PlanaFlor – Rio de Janeiro, RJ, número 18, 33 páginas. Disponível em: www.planaflor.org

- SEMAC. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas. *Plano Estadual de Ações para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe (PEMAMC-SE) – Produto 2.1* – Eixos Estratégicos, Aracaju, 2026.

- _____ *Plano Estadual de Ações para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe (PEMAMC-SE) – Produto 5.2 Estudo do Potencial Financeiro dos Créditos de Carbono e Mapeamento de Oportunidades*, Aracaju, 2026.

- SILVA, R. D. de Souza e. *Contextualização do setor elétrico brasileiro e o planejamento da infraestrutura no longo prazo*. Brasília, DF: Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura (Diset), n. 69, jun. 2020.

- STEIN, Bruna; ABBUD, João Marcelo; GAUI, Tatiana; CASTELONI, Carlos Henrique L. Pires; STANTON, Marcia; PLATAIS, Gunars. Onde Conservar e Quanto Pagar? Guia de cálculo do custo de oportunidade da terra e da propensão à conservação para orientar programas de Pagamento por Serviços Ambientais. Brasília (DF): Oikonomos, Projeto Floresta + Amazônia (PNUD), 2025.

- SILBERBERG, E, SUEN, W. *The structure of economics: a mathematical analysis*. McGraw Hill, 2001.

- STERN,N. *Stern Review: The Economics of Climate Changes. Governo do Reino Unido*, Londres, 2006.

- SIVALI, M, MATTEI,T,F. *Considerações distributivas em análise custo-benefício. IPEA, Texto para Discussão 2850*, Rio de Janeiro, 2023.

- STAVINS, R,N. *Environmental Economics*. *National Bureau of Economic Research*, 2007. Disponível em…..Acesso em ……

- THOMAS, J,M, CALLAN, S,J. *Economia Ambiental: aplicações, políticas e teoria*. São Paulo, Cengage Learning.2010.

- VINING, A,R. BOARDMANN, A,E. *Cost Benefit Analysis:and the "next best" methods to evaluate the efficiency of social polycies:as in pitching horseshoes closeness matters*. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 2024.

- WHITEHEAD, J,C, BLOMQUIST, G,G. *The use of contigent valuation in benefit-cost analysis, in ALBERINI, A, KAHN, J,R. Handbook on Contigent Valuation.* Massachussets, Edward Edgar Publishing, 2006.

7. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: EFICIÊNCIA DO ÓTIMO DE PARETO 6
FIGURA 2: IMPACTO DAS EXTERNALIDADES CLIMÁTICAS SOBRE O BEM-ESTAR SOCIAL 7
FIGURA 3: PARTICIPAÇÃO DA EMISSÃO POR SETOR 12
FIGURA 4: PARTICIPAÇÃO SETORIAL NO CUSTO TOTAL 14
FIGURA 5: PARTICIPAÇÃO DE BENEFÍCIOS POR SETOR (%) 19
FIGURA 6: EVOLUÇÃO DO PREÇO DE CRÉDITO DE CARBONO FUTUROS – FECHAMENTO MENSAL 2021-2025 20
FIGURA 7: CRÉDITO DE CARBONO FUTUROS – MÉDIA ANUAL – 2021 A 2025 20
FIGURA 8: SALDO LÍQUIDO POR ESTRATÉGIAS (VF) 30

8. LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PEMAMC-SE – CUSTOS E PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL ESTRATÉGIAS REDUÇÃO GEE 13
TABELA 2: CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS INTERVENÇÕES (%) 15
TABELA 3 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS INTERVENÇÕES (R$) 16
TABELA 4: ESTIMATIVA DE BENEFÍCIOS POR SETOR/ESTRATÉGIA – 2028-2036 17
TABELA 5: CRONOGRAMA DE BENEFÍCIOS 2027-2036 (%) 21
TABELA 6: PEMAMC-SE ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO CENÁRIO BASE 28
TABELA 7: SALDO BENEFÍCIOS – CUSTOS POR SETOR/ESTRATÉGIA 30
TABELA 8: DETALHAMENTO DAS ESTIMATIVAS DE VALOR PARA O CONJUNTO DE INTERVENÇÕES 36
TABELA 9: SUBSTITUIR 30% DO CLÍNQUER POR MATERIAIS ALTERNATIVOS 39
TABELA 10: CRONOGRAMA DE CUSTOS – CENÁRIO 2 41
TABELA 11: ANÁLISE DE BENEFÍCIO CUSTO – CENÁRIO 2 43
TABELA 12: CRONOGRAMA DE BENEFÍCIOS – CENÁRIO 3 44
TABELA 13: CRONOGRAMA DE CUSTOS – CENÁRIO 3 46
TABELA 14: ANÁLISE DE BENEFÍCIO CUSTO – CENÁRIO 3 48
TABELA 15: CRONOGRAMA DE BENEFÍCIOS – CENÁRIO 4 49
TABELA 16: CRONOGRAMA DE CUSTOS – CENÁRIO 4 51
TABELA 17: ANÁLISE DE BENEFÍCIO CUSTO – CENÁRIO 4 52
TABELA 18: CRONOGRAMA DE BENEFÍCIOS – CENÁRIO 5 53
TABELA 19: CRONOGRAMA DE CUSTOS – CENÁRIO 5 55
TABELA 20: ANÁLISE DE BENEFÍCIO CUSTO – CENÁRIO 5 56
TABELA 21: CRONOGRAMA DE BENEFÍCIOS – CENÁRIO 6 57
TABELA 22: CRONOGRAMA DE CUSTOS – CENÁRIO 6 59
TABELA 23: ANÁLISE DE BENEFÍCIO CUSTO – CENÁRIO 6 61
TABELA 24: CRONOGRAMA DE BENEFÍCIOS – CENÁRIO 7 62
TABELA 25: CRONOGRAMA DE CUSTOS – CENÁRIO 7 63
TABELA 26: ANÁLISE DE BENEFÍCIO CUSTO – CENÁRIO 7 64

9. LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: PEMAMC-SE – EIXOS ESTRATÉGICOS 11
QUADRO 2: PEMAMC-SE ANÁLISE DE CENÁRIOS 29

10. ANEXOS

10.1. ANEXO I – DETALHAMENTO DAS ESTIMATIVAS DE VALOR

Tabela 8: Detalhamento das estimativas de valor para o conjunto de intervenções.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	CUSTO ESTIMADO	CUSTO CONSIDERADO ACB	OBS
Agropecuária	ILPF (R$/ha)	R$ 2.354,51	R$ 2.354,51	Custo estimado com base no estudo Planaflor – Objetivo Estratégico 3, referente à implementação de SAF/ILPF em pastagens moderadamente degradadas (45% lavoura, 45% pastagem e 10% floresta) na região Nordeste, com atualização do valor por hectare pela inflação.
	Biodigestores (Porte Pequeno)	R$ 45.232,21	R$ 45.232,21	Parâmetro de custo baseado nos investimentos médios em biodigestores de pequeno porte, conforme o estudo "Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono", considerando escala e capacidade produtiva.
	Biodigestores (Porte Médio)	R$ 90.464,41	R$ 90.464,41	Parâmetro de custo baseado nos investimentos médios em biodigestores de médio porte, conforme o estudo "Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono", considerando escala e capacidade produtiva.
	Biodigestores (Porte Grande)	R$ 180.928,84	R$ 180.928,84	Parâmetro de custo baseado nos investimentos médios em biodigestores de grande porte, conforme o estudo "Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono", considerando escala e capacidade produtiva.
	Recuperação pastagens (R$/ha)	R$ 883,45	R$ 883,45	Custo obtido do estudo Planaflor – Objetivo Estratégico 2.2, referente à recuperação de pastagens moderadamente degradadas na região Nordeste, com atualização monetária do valor por hectare.
	Manejo fertilizantes (custo anual incremental)	R$ 184.278.155,35	R$ -	Existe custo incremental associado à adoção de práticas de manejo mais eficientes. Entretanto, o uso de fertilizantes de liberação controlada reduz a quantidade total aplicada, mitigando o custo adicional.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	CUSTO ESTIMADO	CUSTO CONSIDERADO ACB	OBS
Energia	Solar distribuída	R$ -	R$ -	Segundo estudo do Instituto Escolhas, a soma dos custos de LCOE, serviços de geração e infraestrutura da energia solar distribuída, é inferior à da energia hidrelétrica, não havendo custo incremental no longo prazo.
	Mobilidade elétrica (IPVA Médio)	R$ -	R$ -	Não está prevista a implementação de incentivos fiscais ou subsídios específicos para veículos eletrificados neste estudo.
	Eficiência energética	R$ 100.000.000,00	R$ 100.000.000,00	Foi estimado um custo global de R$ 100 milhões para a implementação do programa de eficiência energética, considerando ações estruturantes e de larga escala.
	Cogeração cana	R$ -	R$ -	Conforme estudo do IPEA ("Contextualização do Setor Elétrico Brasileiro e o Planejamento da Infraestrutura no Longo Prazo"), o custo de investimento da cogeração a partir do bagaço de cana (~US$ 1.200/kW) é inferior ao de usinas termelétricas a carvão (~US$ 2.500/kW), não caracterizando custo incremental.
MUT/ Florestas	Desmatamento zero (R$/hectare/ano)	R$ 334,26	R$ 334,26	Valor baseado no estudo "Guia de cálculo do custo de oportunidade da terra e da propensão à conservação", utilizado para estimar o pagamento médio por hectare em programas de PSA.
	Restauração florestal (PSA) - Por propriedade	R$ 5.000,00	R$ 5.000,00	Estimado pagamento médio de R$ 5.000,00 por propriedade participante de programas de restauração florestal via PSA.
	Restauração florestal R$/ha	R$ 4.865,64	R$ 4.865,64	Custo obtido do estudo Planaflor – Objetivo Estratégico 7, referente à recuperação florestal por hectare, ponderado pelo potencial de regeneração (CAF).
	UCs (Unidades de Conservação)	R$ 5.515.920,93	R$ 5.515.920,93	Custo médio estimado com base no estudo do FUNBIO sobre implantação e gestão de Unidades de Conservação federais.
Resíduos	Reciclagem	R$ -	R$ -	Não foi atribuído custo adicional específico para esta ação no escopo analisado.
	Captura biogás	R$ -	R$ -	Não foi atribuído custo adicional específico para esta ação no escopo analisado.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	CUSTO ESTIMADO	CUSTO CONSIDERADO ACB	OBS
	Tratamento efluentes	R$ -	R$ -	Não foi atribuído custo adicional específico para esta ação no escopo analisado.
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	R$ -	R$ -	Conforme o estudo “Avaliação de Cenários de Disponibilidade de Pozolanas para a Fabricação de Cimento Portland na Região Sul do Brasil”, os materiais alternativos apresentam custo inferior ao do cimento convencional, não gerando custo incremental.

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

10.2. ANEXO II – TABELAS DE BENEFÍCIOS, CUSTOS E ACB DOS CENÁRIOS 2 A 7

10.2.1. CENÁRIO 2 – US$25,00, REFERENTE AO PREÇO MÉDIO DA TONELADA DE CARBONO NO PERÍODO 2025-2030 DEFINIDA NO PRODUTO

Tabela 9: Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	-	5.520.000,000	11.140.000,000	13.925.000,000	16.710.000,000	13.925.000,000	11.140.000,000	8.355.000,000	2.785.000,000	-	**83.500.000,00**
	Biodigestores	120 biodigestores	-	1.242.000,000	1.879.875,000	2.506.500,000	3.133.125,000	3.133.125,000	3.133.125,000	3.133.125,000	3.133.125,000	3.759.750,000	**25.053.750,00**
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	-	496.800,000	668.400,000	835.500,000	1.002.600,000	1.002.600,000	1.169.700,000	1.169.700,000	1.002.600,000	1.002.600,000	**8.350.500,00**
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	358.800,000	724.100,000	1.086.150,000	1.448.200,000	1.810.250,000	2.715.375,000	3.620.500,000	3.982.550,000	2.353.325,000	**18.099.250,00**
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	5.520.000,000	7.658.750,000	9.051.250,000	9.747.500,000	9.747.500,000	9.051.250,000	8.355.000,000	6.266.250,000	4.177.500,000	**69.575.000,00**
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	414.000,000	835.500,000	1.671.000,000	2.924.250,000	5.013.000,000	5.848.500,000	4.177.500,000	2.924.250,000	1.253.250,000	**25.061.250,00**
	Eficiência energética	Programa ampliado	-	5.244.000,000	8.393.413,793	12.772.586,207	15.874.500,000	18.976.413,793	15.874.500,000	12.772.586,207	10.583.000,000	5.291.500,000	**105.782.500,00**
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	883.200,000	1.114.000,000	1.336.800,000	1.683.377,778	2.005.200,000	1.683.377,778	1.336.800,000	792.177,778	297.066,667	**11.132.000,00**
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	-	19.209.600,000	32.306.000,000	45.228.400,000	64.612.000,000	-	-	-	-	-	**161.356.000,00**
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	-	3.588.000,000	3.620.500,000	3.620.500,000	2.715.375,000	1.810.250,000	1.357.687,500	905.125,000	452.562,500	-	**18.070.000,00**
	Restauração florestal	50.000 ha restaurados	-	3.360.000,000	3.874.782,609	3.632.608,696	3.390.434,783	3.148.260,870	2.906.086,957	2.663.913,043	2.663.913,043	2.179.565,217	**27.819.565,22**

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	-	2.484.000,000	3.759.750,000	4.595.250,000	4.177.500,000	2.506.500,000	1.671.000,000	1.044.375,000	417.750,000	208.875,000	**20.865.000,00**
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	37.260.000,000	12.532.500,000	12.532.500,000	12.532.500,000	5.570.000,000	6.962.500,000	5.570.000,000	6.962.500,000	11.140.000,000	**111.062.500,00**
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	1.035.000,000	1.044.375,000	1.044.375,000	1.044.375,000	-	-	-	-	-	**4.168.125,00**
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	295.714,286	497.321,429	497.321,429	497.321,429	497.321,429	497.321,429	-	-	-	**2.782.321,43**
IPPU	Cimento+química +cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	1.794.000,000	2.924.250,000	4.316.750,000	6.544.750,000	7.241.000,000	6.544.750,000	4.316.750,000	1.810.250,000	696.250,000	**36.188.750,00**
TOTAL			**-**	**88.705.114,286**	**92.973.517,830**	**118.652.491,331**	**148.037.808,989**	**76.386.421,091**	**70.555.173,663**	**57.420.374,250**	**43.775.928,321**	**32.359.681,884**	**728.866.511,646**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 10: Cronograma de Custos – Cenário 2.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	23.545.100,00	47.090.200,00	58.862.750,00	70.635.300,00	58.862.750,00	47.090.200,00	35.317.650,00	11.772.550,00	-	-	353.176.500,00
	Biodigestores	120 biodigestores	520.170,39	689.791,17	859.411,95	1.029.032,72	1.029.032,72	1.029.032,72	1.029.032,72	1.029.032,72	1.198.653,50	-	8.413.190,61
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	1.325.175,00	1.766.900,00	2.208.625,00	2.650.350,00	2.650.350,00	3.092.075,00	3.092.075,00	2.650.350,00	2.650.350,00	-	22.086.250,00
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	Programa ampliado	5.000.000,00	8.000.000,00	12.000.000,00	15.000.000,00	18.000.000,00	15.000.000,00	12.000.000,00	10.000.000,00	5.000.000,00	-	100.000.000,00
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	110.306,74	183.844,57	257.382,40	367.689,14	367.689,14	367.689,14	367.689,14	367.689,14	367.689,14	-	2.757.668,57
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	20.000.000,00	20.000.000,00	20.000.000,00	15.000.000,00	10.000.000,00	7.500.000,00	5.000.000,00	2.500.000,00	-	-	100.000.000,00
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	29.616.939,13	33.847.930,43	31.732.434,78	29.616.939,13	27.501.443,48	25.385.947,83	23.270.452,17	23.270.452,17	19.039.460,87	-	243.282.000,00
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	5.515.920,93	5.515.920,93	5.515.920,93	5.515.920,93	5.515.920,93	5.515.920,93	5.515.920,93	5.515.920,93		-	44.127.367,44

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IPPU	Cimento+ química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			-	-	85.633.612,20	117.094.587,10	131.436.525,06	139.815.231,92	123.927.186,27	104.980.865,62	85.592.819,97	57.105.994,97	28.256.153,51

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 11: Análise de Benefício Custo – Cenário 2.

ANO	BENEFÍCIOS						SUBTOTAL VPL	CUSTOS						SUBTOTAL VPL
	AGROP.	ENERGIA	MUT /FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL		AGROP.	ENERGIA	MUT/ FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL	
2027	-	-	-	-	-	-	**-**	25.390.445	5.000.000	55.243.167	-	-	85.633.612	**77.714.484**
2028	7.617.600	12.061.200	28.641.600	38.590.714	1.794.000	88.705.114	**77.813.579**	49.546.891	8.000.000	59.547.696	-	-	117.094.587	**107.445.762**
2029	14.412.375	18.001.664	43.561.033	14.074.196	2.924.250	92.973.518	**83.126.840**	61.930.787	12.000.000	57.505.738	-	-	131.436.525	**121.203.043**
2030	18.353.150	24.831.636	57.076.759	14.074.196	4.316.750	118.652.491	**106.251.475**	74.314.683	15.000.000	50.500.549	-	-	139.815.232	**129.659.570**
2031	22.293.925	30.229.628	74.895.310	14.074.196	6.544.750	148.037.809	**132.534.774**	62.542.133	18.000.000	43.385.054	-	-	123.927.186	**114.847.087**
2032	19.870.975	35.742.114	7.465.011	6.067.321	7.241.000	76.386.421	**69.554.272**	51.211.308	15.000.000	38.769.558	-	-	104.980.866	**97.144.098**
2033	18.158.200	32.457.628	5.934.774	7.459.821	6.544.750	70.555.174	**64.152.066**	39.438.758	12.000.000	34.154.062	-	-	85.592.820	**79.017.392**
2034	16.278.325	26.641.886	4.613.413	5.570.000	4.316.750	57.420.374	**52.421.963**	15.451.933	10.000.000	31.654.062	-	-	57.105.995	**51.961.653**
2035	10.903.275	20.565.678	3.534.226	6.962.500	1.810.250	43.775.928	**39.866.009**	3.849.003	5.000.000	19.407.150	-	-	28.256.154	**25.421.787**
2036	7.115.675	11.019.317	2.388.440	11.140.000	696.250	32.359.682	**29.069.778**	-	-	-	-	-	-	**-**
TOTAL	135.003.500	211.550.750	228.110.565	118.012.946	36.188.750	728.866.512	**654.790.756**	383.675.941	100.000.000	390.167.036	-	-	873.842.977	**804.414.875**
Benefício - Custo	-R$ 149.624.119,14													
Benefício / Custo	0,81													
TIR	-19%													

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

10.2.2. CENÁRIO 3 – UTILIZAÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE R$/US$ DE 72,00 REFERENTE à MÉDIA DO PERÍODO 2021-2025 DO MERCADO DE CRÉDITO DE CARBONO FUTUROS

Tabela 12: Cronograma de Benefícios – Cenário 3.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	-	15.897.600	32.083.200	40.104.000	48.124.800	40.104.000	32.083.200	24.062.400	8.020.800	-	**240.480.000**
	Biodigestores	120 biodigestores	-	3.576.960	5.414.040	7.218.720	9.023.400	9.023.400	9.023.400	9.023.400	9.023.400	10.828.080	**72.154.800**
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	-	1.430.784	1.924.992	2.406.240	2.887.488	2.887.488	3.368.736	3.368.736	2.887.488	2.887.488	**24.049.440**
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	1.033.344	2.085.408	3.128.112	4.170.816	5.213.520	7.820.280	10.427.040	11.469.744	6.777.576	**52.125.840**
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	15.897.600	22.057.200	26.067.600	28.072.800	28.072.800	26.067.600	24.062.400	18.046.800	12.031.200	**200.376.000**
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	1.192.320	2.406.240	4.812.480	8.421.840	14.437.440	16.843.680	12.031.200	8.421.840	3.609.360	**72.176.400**
	Eficiência energética	Programa ampliado	-	15.102.720	24.173.032	36.785.048	45.718.560	54.652.072	45.718.560	36.785.048	30.479.040	15.239.520	**304.653.600**
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	2.543.616	3.208.320	3.849.984	4.848.128	5.774.976	4.848.128	3.849.984	2.281.472	855.552	**32.060.160**
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	-	55.323.648	93.041.280	130.257.792	186.082.560	-	-	-	-	-	**464.705.280**
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	-	10.333.440	10.427.040	10.427.040	7.820.280	5.213.520	3.910.140	2.606.760	1.303.380	-	**52.041.600**

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
	Restauração florestal	50.000 ha restaurados	-	9.676.800	11.159.374	10.461.913	9.764.452	9.066.991	8.369.530	7.672.070	7.672.070	6.277.148	**80.120.348**
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	-	7.153.920	10.828.080	13.234.320	12.031.200	7.218.720	4.812.480	3.007.800	1.203.120	601.560	**60.091.200**
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	107.308.800	36.093.600	36.093.600	36.093.600	16.041.600	20.052.000	16.041.600	20.052.000	32.083.200	**319.860.000**
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	2.980.800	3.007.800	3.007.800	3.007.800	-	-	-	-	-	**12.004.200**
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	851.657	1.432.286	1.432.286	1.432.286	1.432.286	1.432.286	-	-	-	**8.013.086**
IPPU	Cimento+química+ cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	5.166.720	8.421.840	12.432.240	18.848.880	20.854.080	18.848.880	12.432.240	5.213.520	2.005.200	**104.223.600**
TOTAL			**-**	**255.470.729**	**267.763.731**	**341.719.175**	**426.348.890**	**219.992.893**	**203.198.900**	**165.370.678**	**126.074.674**	**93.195.884**	**2.099.135.554**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 13: Cronograma de Custos – Cenário 3.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	23.545.100	47.090.200	58.862.750	70.635.300	58.862.750	47.090.200	35.317.650	11.772.550	-	-	353.176.500
	Biodigestores	120 biodigestores	520.170	689.791	859.412	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.198.653	-	8.413.191
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	1.325.175	1.766.900	2.208.625	2.650.350	2.650.350	3.092.075	3.092.075	2.650.350	2.650.350	-	22.086.250
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	Programa ampliado	5.000.000	8.000.000	12.000.000	15.000.000	18.000.000	15.000.000	12.000.000	10.000.000	5.000.000	-	100.000.000
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	110.307	183.845	257.382	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	-	2.757.669
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	20.000.000	20.000.000	20.000.000	15.000.000	10.000.000	7.500.000	5.000.000	2.500.000	-	-	100.000.000
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	29.616.939	33.847.930	31.732.435	29.616.939	27.501.443	25.385.948	23.270.452	23.270.452	19.039.461	-	243.282.000
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921		-	44.127.367

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			**85.633.612**	**117.094.587**	**131.436.525**	**139.815.232**	**123.927.186**	**104.980.866**	**85.592.820**	**57.105.995**	**28.256.154**		**873.842.977**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 14: Análise de Benefício Custo – Cenário 3.

ANO	BENEFÍCIOS						SUBTOTAL VPL	CUSTOS						SUBTOTAL VPL
	AGROP.	ENERGIA	MUT/ FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL		AGROP.	ENERGIA	MUT/ FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL	
2027	-	-	-	-	-	-	-	25.390.445	5.000.000	55.243.167	-	-	85.633.612	**77.714.484**
2028	21.938.688	34.736.256	82.487.808	111.141.257	5.166.720	255.470.729	**224.103.108**	49.546.891	8.000.000	59.547.696	-	-	117.094.587	**107.445.762**
2029	41.507.640	51.844.792	125.455.774	40.533.686	8.421.840	267.763.731	**239.405.298**	61.930.787	12.000.000	57.505.738	-	-	131.436.525	**121.203.043**
2030	52.857.072	71.515.112	164.381.065	40.533.686	12.432.240	341.719.175	**306.004.249**	74.314.683	15.000.000	50.500.549	-	-	139.815.232	**129.659.570**
2031	64.206.504	87.061.328	215.698.492	40.533.686	18.848.880	426.348.890	**381.700.149**	62.542.133	18.000.000	43.385.054	-	-	123.927.186	**114.847.087**
2032	57.228.408	102.937.288	21.499.231	17.473.886	20.854.080	219.992.893	**200.316.303**	51.211.308	15.000.000	38.769.558	-	-	104.980.866	**97.144.098**
2033	52.295.616	93.477.968	17.092.150	21.484.286	18.848.880	203.198.900	**184.757.950**	39.438.758	12.000.000	34.154.062	-	-	85.592.820	**79.017.392**
2034	46.881.576	76.728.632	13.286.630	16.041.600	12.432.240	165.370.678	**150.975.255**	15.451.933	10.000.000	31.654.062	-	-	57.105.995	**51.961.653**
2035	31.401.432	59.229.152	10.178.570	20.052.000	5.213.520	126.074.674	**114.814.106**	3.849.003	5.000.000	19.407.150	-	-	28.256.154	**25.421.787**
2036	20.493.144	31.735.632	6.878.708	32.083.200	2.005.200	93.195.884	**83.720.960**	-	-	-	-	-	-	**-**
TOTAL	388.810.080	609.266.160	656.958.428	339.877.286	104.223.600	2.099.135.554	**1.885.797.377**	383.675.941	100.000.000	390.167.036	-	-	873.842.977	**804.414.875**
Benefício - Custo	R$ 1.081.382.502,15													
Benefício / Custo	2,34													
TIR	173%													

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

10.2.3. CENÁRIO 4 – UTILIZAÇÃO DA TAXA DE DESCONTO DE 8,5% A.A (UTILIZADA EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA)

Tabela 15: Cronograma de Benefícios – Cenário 4.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	-	7.065.600	14.259.200	17.824.000	21.388.800	17.824.000	14.259.200	10.694.400	3.564.800	-	106.880.000
	Biodigestores	120 biodigestores	-	1.589.760	2.406.240	3.208.320	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.812.480	32.068.800
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	-	635.904	855.552	1.069.440	1.283.328	1.283.328	1.497.216	1.497.216	1.283.328	1.283.328	10.688.640
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	459.264	926.848	1.390.272	1.853.696	2.317.120	3.475.680	4.634.240	5.097.664	3.012.256	23.167.040
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	7.065.600	9.803.200	11.585.600	12.476.800	12.476.800	11.585.600	10.694.400	8.020.800	5.347.200	89.056.000
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	529.920	1.069.440	2.138.880	3.743.040	6.416.640	7.486.080	5.347.200	3.743.040	1.604.160	32.078.400
	Eficiência energética	Programa ampliado	-	6.712.320	10.743.570	16.348.910	20.319.360	24.289.810	20.319.360	16.348.910	13.546.240	6.773.120	135.401.600
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	1.130.496	1.425.920	1.711.104	2.154.724	2.566.656	2.154.724	1.711.104	1.013.988	380.245	14.248.960
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	-	24.588.288	41.351.680	57.892.352	82.703.360	-	-	-	-	-	206.535.680
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	-	4.592.640	4.634.240	4.634.240	3.475.680	2.317.120	1.737.840	1.158.560	579.280	-	23.129.600
	Restauração florestal	50.000 ha restaurados	-	4.300.800	4.959.722	4.649.739	4.339.757	4.029.774	3.719.791	3.409.809	3.409.809	2.789.843	35.609.043
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	-	3.179.520	4.812.480	5.881.920	5.347.200	3.208.320	2.138.880	1.336.800	534.720	267.360	26.707.200
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	47.692.800	16.041.600	16.041.600	16.041.600	7.129.600	8.912.000	7.129.600	8.912.000	14.259.200	142.160.000

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	1.324.800	1.336.800	1.336.800	1.336.800	-	-	-	-	-	5.335.200
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	378.514	636.571	636.571	636.571	636.571	636.571	-	-	-	3.561.371
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	2.296.320	3.743.040	5.525.440	8.377.280	9.268.480	8.377.280	5.525.440	2.317.120	891.200	46.321.600
TOTAL			**-**	**113.542.546**	**119.006.103**	**151.875.189**	**189.488.396**	**97.774.619**	**90.310.622**	**73.498.079**	**56.033.188**	**41.420.393**	**932.949.135**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 16: Cronograma de Custos – Cenário 4.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TOTAL
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	23.545.100	47.090.200	58.862.750	70.635.300	58.862.750	47.090.200	35.317.650	11.772.550	-	353.176.500
	Biodigestores	120 biodigestores	520.170	689.791	859.412	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.198.653	8.413.191
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	1.325.175	1.766.900	2.208.625	2.650.350	2.650.350	3.092.075	3.092.075	2.650.350	2.650.350	22.086.250
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia	Solar distribuída	1.000 MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mobilidade elétrica	60.000 VE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	Programa ampliado	5.000.000	8.000.000	12.000.000	15.000.000	18.000.000	15.000.000	12.000.000	10.000.000	5.000.000	100.000.000
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	110.307	183.845	257.382	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	2.757.669
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	20.000.000	20.000.000	20.000.000	15.000.000	10.000.000	7.500.000	5.000.000	2.500.000	-	100.000.000
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	29.616.939	33.847.930	31.732.435	29.616.939	27.501.443	25.385.948	23.270.452	23.270.452	19.039.461	243.282.000
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	-	44.127.367
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			**85.633.612**	**117.094.587**	**131.436.525**	**139.815.232**	**123.927.186**	**104.980.866**	**85.592.820**	**57.105.995**	**28.256.154**	**873.842.977**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 17: Análise de Benefício Custo – Cenário 4.

ANO	BENEFÍCIOS						SUBTOTAL VPL	CUSTOS						SUBTOTAL VPL
	AGROP.	ENERGIA	MUT /FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL		AGROP.	ENERGIA	MUT /FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL	
2027	-	-	-	-	-	-	-	25.390.445	5.000.000	55.243.167	-	-	85.633.612	**70.898.931**
2028	9.750.528	15.438.336	36.661.248	49.396.114	2.296.320	113.542.546	**87.973.349**	49.546.891	8.000.000	59.547.696	-	-	117.094.587	**99.081.353**
2029	18.447.840	23.042.130	55.758.122	18.014.971	3.743.040	119.006.103	**95.717.793**	61.930.787	12.000.000	57.505.738	-	-	131.436.525	**112.294.238**
2030	23.492.032	31.784.494	73.058.251	18.014.971	5.525.440	151.875.189	**122.522.854**	74.314.683	15.000.000	50.500.549	-	-	139.815.232	**120.771.913**
2031	28.536.224	38.693.924	95.865.997	18.014.971	8.377.280	189.488.396	**152.794.102**	62.542.133	18.000.000	43.385.054	-	-	123.927.186	**106.899.224**
2032	25.434.848	45.749.906	9.555.214	7.766.171	9.268.480	97.774.619	**81.553.440**	51.211.308	15.000.000	38.769.558	-	-	104.980.866	**90.294.192**
2033	23.242.496	41.545.764	7.596.511	9.548.571	8.377.280	90.310.622	**75.121.569**	39.438.758	12.000.000	34.154.062	-	-	85.592.820	**73.282.041**
2034	20.836.256	34.101.614	5.905.169	7.129.600	5.525.440	73.498.079	**61.614.128**	15.451.933	10.000.000	31.654.062	-	-	57.105.995	**47.518.187**
2035	13.956.192	26.324.068	4.523.809	8.912.000	2.317.120	56.033.188	**46.737.355**	3.849.003	5.000.000	19.407.150	-	-	28.256.154	**22.988.760**
2036	9.108.064	14.104.725	3.057.203	14.259.200	891.200	41.420.393	**33.651.132**	-	-	-	-	-	-	**-**
TOTAL	172.804.480	270.784.960	291.981.523	151.056.571	46.321.600	932.949.135	**757.685.723**	383.675.941	100.000.000	390.167.036	-	-	873.842.977	**744.028.839**
Benefício - Custo	R$ 13.656.883,16													
Benefício / Custo	1,02													
TIR	8,30%													

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

10.2.4. CENÁRIO 5 – UTILIZAÇÃO DA TAXA DE DESCONTO DE 12% A.A, DEFINIDA EM PROJETOS FINANCIADAS POR INSTITUIÇÕES FINANCEIRAS INTERNACIONAIS COMO O BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO – BID

Tabela 18: Cronograma de Benefícios – Cenário 5.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	-	7.065.600	14.259.200	17.824.000	21.388.800	17.824.000	14.259.200	10.694.400	3.564.800	-	106.880.000
	Biodigestores	120 biodigestores	-	1.589.760	2.406.240	3.208.320	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.812.480	32.068.800
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	-	635.904	855.552	1.069.440	1.283.328	1.283.328	1.497.216	1.497.216	1.283.328	1.283.328	10.688.640
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	459.264	926.848	1.390.272	1.853.696	2.317.120	3.475.680	4.634.240	5.097.664	3.012.256	23.167.040
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	7.065.600	9.803.200	11.585.600	12.476.800	12.476.800	11.585.600	10.694.400	8.020.800	5.347.200	89.056.000
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	529.920	1.069.440	2.138.880	3.743.040	6.416.640	7.486.080	5.347.200	3.743.040	1.604.160	32.078.400
	Eficiência energética	Programa ampliado	-	6.712.320	10.743.570	16.348.910	20.319.360	24.289.810	20.319.360	16.348.910	13.546.240	6.773.120	135.401.600
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	1.130.496	1.425.920	1.711.104	2.154.724	2.566.656	2.154.724	1.711.104	1.013.988	380.245	14.248.960
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	-	24.588.288	41.351.680	57.892.352	82.703.360	-	-	-	-	-	206.535.680
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	-	4.592.640	4.634.240	4.634.240	3.475.680	2.317.120	1.737.840	1.158.560	579.280	-	23.129.600
	Restauração florestal	50.000 ha restaurados	-	4.300.800	4.959.722	4.649.739	4.339.757	4.029.774	3.719.791	3.409.809	3.409.809	2.789.843	35.609.043
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	-	3.179.520	4.812.480	5.881.920	5.347.200	3.208.320	2.138.880	1.336.800	534.720	267.360	26.707.200
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	47.692.800	16.041.600	16.041.600	16.041.600	7.129.600	8.912.000	7.129.600	8.912.000	14.259.200	142.160.000

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	1.324.800	1.336.800	1.336.800	1.336.800	-	-	-	-	-	5.335.200
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	378.514	636.571	636.571	636.571	636.571	636.571	-	-	-	3.561.371
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	2.296.320	3.743.040	5.525.440	8.377.280	9.268.480	8.377.280	5.525.440	2.317.120	891.200	46.321.600
TOTAL			**-**	**113.542.546**	**119.006.103**	**151.875.189**	**189.488.396**	**97.774.619**	**90.310.622**	**73.498.079**	**56.033.188**	**41.420.393**	**932.949.135**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 19: Cronograma de Custos – Cenário 5.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TOTAL
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	23.545.100	47.090.200	58.862.750	70.635.300	58.862.750	47.090.200	35.317.650	11.772.550	-	353.176.500
	Biodigestores	120 biodigestores	520.170	689.791	859.412	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.198.653	8.413.191
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	1.325.175	1.766.900	2.208.625	2.650.350	2.650.350	3.092.075	3.092.075	2.650.350	2.650.350	22.086.250
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia	Solar distribuída	1.000 MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mobilidade elétrica	60.000 VE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	Programa ampliado	5.000.000	8.000.000	12.000.000	15.000.000	18.000.000	15.000.000	12.000.000	10.000.000	5.000.000	100.000.000
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	110.307	183.845	257.382	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	2.757.669
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	20.000.000	20.000.000	20.000.000	15.000.000	10.000.000	7.500.000	5.000.000	2.500.000	-	100.000.000
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	29.616.939	33.847.930	31.732.435	29.616.939	27.501.443	25.385.948	23.270.452	23.270.452	19.039.461	243.282.000
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	-	44.127.367
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IPPU	Cimento+química+cal+ HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			**85.633.612**	**117.094.587**	**131.436.525**	**139.815.232**	**123.927.186**	**104.980.866**	**85.592.820**	**57.105.995**	**28.256.154**	**873.842.977**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 20: Análise de Benefício Custo – Cenário 5.

ANO	BENEFÍCIOS						SUBTOTAL VPL	CUSTOS						SUBTOTAL VPL
	AGROP.	ENERGIA	MUT/ FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL		AGROP.	ENERGIA	MUT/ FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL	
2027	-	-	-	-	-	-	-	25.390.445	5.000.000	55.243.167	-	-	85.633.612	**65.977.005**
2028	9.750.528	15.438.336	36.661.248	49.396.114	2.296.320	113.542.546	**79.803.045**	49.546.891	8.000.000	59.547.696	-	-	117.094.587	**93.000.720**
2029	18.447.840	23.042.130	55.758.122	18.014.971	3.743.040	119.006.103	**88.100.602**	61.930.787	12.000.000	57.505.738	-	-	131.436.525	**105.793.121**
2030	23.492.032	31.784.494	73.058.251	18.014.971	5.525.440	151.875.189	**112.898.976**	74.314.683	15.000.000	50.500.549	-	-	139.815.232	**114.255.597**
2031	28.536.224	38.693.924	95.865.997	18.014.971	8.377.280	189.488.396	**140.763.187**	62.542.133	18.000.000	43.385.054	-	-	123.927.186	**101.071.304**
2032	25.434.848	45.749.906	9.555.214	7.766.171	9.268.480	97.774.619	**76.177.170**	51.211.308	15.000.000	38.769.558	-	-	104.980.866	**85.277.696**
2033	23.242.496	41.545.764	7.596.511	9.548.571	8.377.280	90.310.622	**70.101.087**	39.438.758	12.000.000	34.154.062	-	-	85.592.820	**69.089.690**
2034	20.836.256	34.101.614	5.905.169	7.129.600	5.525.440	73.498.079	**57.658.853**	15.451.933	10.000.000	31.654.062	-	-	57.105.995	**44.299.044**
2035	13.956.192	26.324.068	4.523.809	8.912.000	2.317.120	56.033.188	**43.644.762**	3.849.003	5.000.000	19.407.150	-	-	28.256.154	**21.236.206**
2036	9.108.064	14.104.725	3.057.203	14.259.200	891.200	41.420.393	**31.120.128**	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	172.804.480	270.784.960	291.981.523	151.056.571	46.321.600	932.949.135	**700.267.810**	383.675.941	100.000.000	390.167.036	-	-	873.842.977	**700.000.381**
Benefício - Custo	R$ 267.428,06													
Benefício / Custo	1,00													
TIR	8%													

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

10.2.5. CENÁRIO 6 – ELEVAÇÃO DA ESTIMATIVA DE CUSTOS EM 10%

Tabela 21: Cronograma de Benefícios – Cenário 6

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	-	7.065.600	14.259.200	17.824.000	21.388.800	17.824.000	14.259.200	10.694.400	3.564.800	-	106.880.000
	Biodigestores	120 biodigestores	-	1.589.760	2.406.240	3.208.320	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.010.400	4.812.480	32.068.800
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	-	635.904	855.552	1.069.440	1.283.328	1.283.328	1.497.216	1.497.216	1.283.328	1.283.328	10.688.640
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	459.264	926.848	1.390.272	1.853.696	2.317.120	3.475.680	4.634.240	5.097.664	3.012.256	23.167.040
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	7.065.600	9.803.200	11.585.600	12.476.800	12.476.800	11.585.600	10.694.400	8.020.800	5.347.200	89.056.000
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	529.920	1.069.440	2.138.880	3.743.040	6.416.640	7.486.080	5.347.200	3.743.040	1.604.160	32.078.400
	Eficiência energética	Programa ampliado	-	6.712.320	10.743.570	16.348.910	20.319.360	24.289.810	20.319.360	16.348.910	13.546.240	6.773.120	135.401.600
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	1.130.496	1.425.920	1.711.104	2.154.724	2.566.656	2.154.724	1.711.104	1.013.988	380.245	14.248.960
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	-	24.588.288	41.351.680	57.892.352	82.703.360	-	-	-	-	-	206.535.680
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	-	4.592.640	4.634.240	4.634.240	3.475.680	2.317.120	1.737.840	1.158.560	579.280	-	23.129.600
	Restauração florestal	50.000 ha restaurados	-	4.300.800	4.959.722	4.649.739	4.339.757	4.029.774	3.719.791	3.409.809	3.409.809	2.789.843	35.609.043
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	-	3.179.520	4.812.480	5.881.920	5.347.200	3.208.320	2.138.880	1.336.800	534.720	267.360	26.707.200
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	47.692.800	16.041.600	16.041.600	16.041.600	7.129.600	8.912.000	7.129.600	8.912.000	14.259.200	142.160.000
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	1.324.800	1.336.800	1.336.800	1.336.800	-	-	-	-	-	5.335.200

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	378.514	636.571	636.571	636.571	636.571	636.571	-	-	-	3.561.371
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	2.296.320	3.743.040	5.525.440	8.377.280	9.268.480	8.377.280	5.525.440	2.317.120	891.200	46.321.600
TOTAL			**-**	**113.542.546**	**119.006.103**	**151.875.189**	**189.488.396**	**97.774.619**	**90.310.622**	**73.498.079**	**56.033.188**	**41.420.393**	**932.949.135**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 22: Cronograma de Custos – Cenário 6

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	25.899.610	51.799.220	64.749.025	77.698.830	64.749.025	51.799.220	38.849.415	12.949.805	-	-	388.494.150
	Biodigestores	120 biodigestores	572.187	689.791	859.412	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.198.653	-	8.465.208
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	1.457.693	1.943.590	2.429.488	2.915.385	2.915.385	3.401.283	3.401.283	2.915.385	2.915.385	-	24.294.875
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	Programa ampliado	5.500.000	8.800.000	13.200.000	16.500.000	19.800.000	16.500.000	13.200.000	11.000.000	5.500.000	-	110.000.000
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	121.337	202.229	283.121	404.458	404.458	404.458	404.458	404.458	404.458	-	3.033.435
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	20.000.000	20.000.000	20.000.000	15.000.000	10.000.000	7.500.000	5.000.000	2.500.000	-	-	100.000.000
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	32.578.633	37.232.723	34.905.678	32.578.633	30.251.588	27.924.543	25.597.497	25.597.497	20.943.407	-	267.610.200
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	6.067.513	6.067.513	6.067.513	6.067.513	6.067.513	6.067.513	6.067.513	6.067.513		-	48.540.104
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IPPU	Cimento+química+cal+ HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
TOTAL			**92.196.973**	**126.735.067**	**142.494.236**	**152.193.852**	**135.217.002**	**114.626.049**	**93.549.199**	**62.463.691**	**30.961.904**	**-**	**950.437.972**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 23: Análise de Benefício Custo – Cenário 6.

ANO	BENEFÍCIOS						SUBTOTAL VPL	CUSTOS						SUBTOTAL VPL
	AGROP.	ENERGIA	MUT/ FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL		AGROP.	ENERGIA	MUT/ FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL	
2027	-	-	-	-	-	-	**-**	27.929.490	5.500.000	58.767.483	-	-	92.196.973	**83.720.700**
2028	9.750.528	15.438.336	36.661.248	49.396.114	2.296.320	113.542.546	**99.601.381**	54.432.601	8.800.000	63.502.466	-	-	126.735.067	**116.358.940**
2029	18.447.840	23.042.130	55.758.122	18.014.971	3.743.040	119.006.103	**106.402.355**	68.037.924	13.200.000	61.256.312	-	-	142.494.236	**131.475.678**
2030	23.492.032	31.784.494	73.058.251	18.014.971	5.525.440	151.875.189	**136.001.888**	81.643.248	16.500.000	54.050.604	-	-	152.193.852	**141.202.894**
2031	28.536.224	38.693.924	95.865.997	18.014.971	8.377.280	189.488.396	**169.644.511**	68.693.443	19.800.000	46.723.559	-	-	135.217.002	**125.350.471**
2032	25.434.848	45.749.906	9.555.214	7.766.171	9.268.480	97.774.619	**89.029.468**	56.229.535	16.500.000	41.896.514	-	-	114.626.049	**106.097.837**
2033	23.242.496	41.545.764	7.596.511	9.548.571	8.377.280	90.310.622	**82.114.645**	43.279.730	13.200.000	37.069.468	-	-	93.549.199	**86.379.115**
2034	20.836.256	34.101.614	5.905.169	7.129.600	5.525.440	73.498.079	**67.100.113**	16.894.223	11.000.000	34.569.468	-	-	62.463.691	**56.838.456**
2035	13.956.192	26.324.068	4.523.809	8.912.000	2.317.120	56.033.188	**51.028.491**	4.114.038	5.500.000	21.347.865	-	-	30.961.904	**27.848.987**
2036	9.108.064	14.104.725	3.057.203	14.259.200	891.200	41.420.393	**37.209.315**	-	-	-	-	-	-	**-**
TOTAL	172.804.480	270.784.960	291.981.523	151.056.571	46.321.600	932.949.135	**838.132.168**	421.254.233	110.000.000	419.183.740	-	-	950.437.972	**875.273.078**
Benefício - Custo	-R$ 37.140.910,47													
Benefício / Custo	0,96													
TIR	-2%													

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

10.2.6. CENÁRIO 7 – REDUÇÃO DA ESTIMATIVA DE BENEFÍCIOS EM 10%

Tabela 24: Cronograma de Benefícios – Cenário 7.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	TOTAL ACUMULADO
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	-	6.359.040	12.833.280	16.041.600	19.249.920	16.041.600	12.833.280	9.624.960	3.208.320	-	**96.192.000**
	Biodigestores	120 biodigestores	-	1.430.784	2.165.616	2.887.488	3.609.360	3.609.360	3.609.360	3.609.360	3.609.360	4.331.232	**28.861.920**
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	-	572.314	769.997	962.496	1.154.995	1.154.995	1.347.494	1.347.494	1.154.995	1.154.995	**9.619.776**
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	413.338	834.163	1.251.245	1.668.326	2.085.408	3.128.112	4.170.816	4.587.898	2.711.030	**20.850.336**
Energia	Solar distribuída	1.000 MW (164.000 sistemas)	-	6.359.040	8.822.880	10.427.040	11.229.120	11.229.120	10.427.040	9.624.960	7.218.720	4.812.480	**80.150.400**
	Mobilidade elétrica	60.000 VE acumulados	-	476.928	962.496	1.924.992	3.368.736	5.774.976	6.737.472	4.812.480	3.368.736	1.443.744	**28.870.560**
	Eficiência energética	Programa ampliado	-	6.041.088	9.669.213	14.714.019	18.287.424	21.860.829	18.287.424	14.714.019	12.191.616	6.095.808	**121.861.440**
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	1.017.446	1.283.328	1.539.994	1.939.251	2.309.990	1.939.251	1.539.994	912.589	342.221	**12.824.064**
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	-	22.129.459	37.216.512	52.103.117	74.433.024	-	-	-	-	-	**185.882.112**
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	-	4.133.376	4.170.816	4.170.816	3.128.112	2.085.408	1.564.056	1.042.704	521.352	-	**20.816.640**
	Restauração florestal	50.000 ha restaurados	-	3.870.720	4.463.750	4.184.765	3.905.781	3.626.797	3.347.812	3.068.828	3.068.828	2.510.859	**32.048.139**
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	-	2.861.568	4.331.232	5.293.728	4.812.480	2.887.488	1.924.992	1.203.120	481.248	240.624	**24.036.480**
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	42.923.520	14.437.440	14.437.440	14.437.440	6.416.640	8.020.800	6.416.640	8.020.800	12.833.280	**127.944.000**
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	1.192.320	1.203.120	1.203.120	1.203.120	-	-	-	-	-	**4.801.680**
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	340.663	572.914	572.914	572.914	572.914	572.914	-	-	-	**3.205.234**
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	2.066.688	3.368.736	4.972.896	7.539.552	8.341.632	7.539.552	4.972.896	2.085.408	802.080	**41.689.440**
TOTAL			**-**	**102.188.292**	**107.105.493**	**136.687.670**	**170.539.556**	**87.997.157**	**81.279.560**	**66.148.271**	**50.429.869**	**37.278.354**	**839.654.221**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 25: Cronograma de Custos – Cenário 7.

SETOR	ESTRATÉGIA PRINCIPAL	META 2035	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TOTAL
Agropecuária	ILPF	150.000 ha ILPF	23.545.100	47.090.200	58.862.750	70.635.300	58.862.750	47.090.200	35.317.650	11.772.550	-	353.176.500
	Biodigestores	120 biodigestores	520.170	689.791	859.412	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.029.033	1.198.653	8.413.191
	Recuperação pastagens	25.000 ha recuperados	1.325.175	1.766.900	2.208.625	2.650.350	2.650.350	3.092.075	3.092.075	2.650.350	2.650.350	22.086.250
	Manejo fertilizantes	Redução 30% N_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia	Solar distribuída	1.000 MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mobilidade elétrica	60.000 VE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	Programa ampliado	5.000.000	8.000.000	12.000.000	15.000.000	18.000.000	15.000.000	12.000.000	10.000.000	5.000.000	100.000.000
	Cogeração cana	80% usinas (~45k ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MUT/ Florestas	Desmatamento zero	1.100 ha/ano → zero em 2030	110.307	183.845	257.382	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	367.689	2.757.669
	Restauração florestal (PSA)	20.000 propriedades	20.000.000	20.000.000	20.000.000	15.000.000	10.000.000	7.500.000	5.000.000	2.500.000	-	100.000.000
	Restauração florestal	115.000 ha restaurados	29.616.939	33.847.930	31.732.435	29.616.939	27.501.443	25.385.948	23.270.452	23.270.452	19.039.461	243.282.000
	UCs (Unidades de Conservação)	250.000 ha (11,4% território)	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	5.515.921	-	44.127.367
Resíduos	Reciclagem	85% reciclagem 2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Captura biogás	Captura 8 aterros prioritários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tratamento efluentes	80% ETEs + cobertura 70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IPPU	Cimento+química+cal+HFCs	Substituir 30% do clínquer por materiais alternativos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			**85.633.612**	**117.094.587**	**131.436.525**	**139.815.232**	**123.927.186**	**104.980.866**	**85.592.820**	**57.105.995**	**28.256.154**	**873.842.977**

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Tabela 26: Análise de Benefício Custo – Cenário 7.

ANO	BENEFÍCIOS						SUBTOTAL VPL	CUSTOS						SUBTOTAL VPL
	AGROP.	ENERGIA	MUT/ FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL		AGROP.	ENERGIA	MUT /FLORESTAS	RESÍDUOS	IPPU	TOTAL	
2027	-	-	-	-	-	-	**-**	25.390.445	5.000.000	55.243.167	-	-	85.633.612	**77.714.484**
2028	8.775.475	13.894.502	32.995.123	44.456.503	2.066.688	102.188.292	**89.641.243**	49.546.891	8.000.000	59.547.696	-	-	117.094.587	**107.445.762**
2029	16.603.056	20.737.917	50.182.310	16.213.474	3.368.736	107.105.493	**95.762.119**	61.930.787	12.000.000	57.505.738	-	-	131.436.525	**121.203.043**
2030	21.142.829	28.606.045	65.752.426	16.213.474	4.972.896	136.687.670	**122.401.699**	74.314.683	15.000.000	50.500.549	-	-	139.815.232	**129.659.570**
2031	25.682.602	34.824.531	86.279.397	16.213.474	7.539.552	170.539.556	**152.680.060**	62.542.133	18.000.000	43.385.054	-	-	123.927.186	**114.847.087**
2032	22.891.363	41.174.915	8.599.693	6.989.554	8.341.632	87.997.157	**80.126.521**	51.211.308	15.000.000	38.769.558	-	-	104.980.866	**97.144.098**
2033	20.918.246	37.391.187	6.836.860	8.593.714	7.539.552	81.279.560	**73.903.180**	39.438.758	12.000.000	34.154.062	-	-	85.592.820	**79.017.392**
2034	18.752.630	30.691.453	5.314.652	6.416.640	4.972.896	66.148.271	**60.390.102**	15.451.933	10.000.000	31.654.062	-	-	57.105.995	**51.961.653**
2035	12.560.573	23.691.661	4.071.428	8.020.800	2.085.408	50.429.869	**45.925.642**	3.849.003	5.000.000	19.407.150	-	-	28.256.154	**25.421.787**
2036	8.197.258	12.694.253	2.751.483	12.833.280	802.080	37.278.354	**33.488.384**	-	-	-	-	-	-	**-**
TOTAL	155.524.032	243.706.464	262.783.371	135.950.914	41.689.440	839.654.221	**754.318.951**	383.675.941	100.000.000	390.167.036	-	-	873.842.977	**804.414.875**
Benefício - Custo	-R$ 50.095.924,23													
Benefício / Custo	0,94													
TIR	-5%													

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (Produto 2.3)

São Paulo, janeiro/2026

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO....4

2. OBJETIVOS....5

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS....5

3. PREMISSAS CONCEITUAIS....6

4. BASE LEGAL E INSTITUCIONAL....9

5. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO PEACP/SE....11

1.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DO PROCESSO DE ELABORAÇÃO 12

1.3 ETAPAS DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO PEACP/SE....13

1.4 INTEGRAÇÃO COM A GOVERNANÇA E A PARTICIPAÇÃO SOCIAL....14

6. DIAGNÓSTICO E ANÁLISE TERRITORIAL....15

1.5 DIVISÃO TERRITORIAL DO ESTADO DE SERGIPE....15

1.5.1 AGRESTE CENTRAL....16

1.5.2 ALTO SERTÃO SERGIPANO....17

1.5.3 BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO....18

1.5.4 CENTRO-SUL SERGIPANO....20

1.5.5 GRANDE ARACAJU....21

1.5.6 LESTE SERGIPANO....22

1.5.7 MÉDIO SERTÃO SERGIPANO....24

1.5.8 SUL SERGIPANO....26

1.6 CENÁRIO ATUAL DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL....28

7. EIXOS TEMÁTICOS E DIRETRIZES DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL....30

1.7 EDUCAÇÃO AMBIENTAL FORMAL....32

1.8 EDUCAÇÃO AMBIENTAL NÃO-FORMAL....96

1.9 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E EDUCOMUNICAÇÃO....140

1.10 EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM SANEAMENTO....161

1.11 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO....200

1.12 EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO COMBATE À DESERTIFICAÇÃO....247

1.13 EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL....282

1.14 EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM RECURSOS HÍDRICOS E GERENCIAMENTO COSTEIRO....314

1.15 EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS....376

1.16 EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE434

8. ARTICULAÇÃO COM O PLANO ESTADUAL DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PEMAMC-SE)....495

9. GOVERNANÇA E PARTICIPAÇÃO SOCIAL....498

1.17 ARRANJOS INSTITUCIONAIS DE GOVERNANÇA DO PEACP/SE....499

1.18 INTEGRAÇÃO COM INSTÂNCIAS COLEGIADAS E MECANISMOS PARTICIPATIVOS 500
1.19 PARTICIPAÇÃO SOCIAL E PROTAGONISMO DOS ATORES LOCAIS.... 500
1.20 TRANSPARÊNCIA, ARTICULAÇÃO INTERGOVERNAMENTAL E APRENDIZAGEM INSTITUCIONAL 503

10. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO 503

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS 504

12. REFERÊNCIAS 506

13. LISTA DE FIGURAS 511

14. LISTA DE QUADROS 511

1. APRESENTAÇÃO

O Plano Estadual de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP/SE) é um instrumento estratégico de implementação da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 9.364, de 2024) e de fortalecimento das ações previstas no Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE). Sua elaboração tem por finalidade a incorporação da dimensão educacional, em todos os níveis de ensino e à população em geral, às políticas de mitigação e adaptação climática.

Este plano constitui-se como uma atualização e complementação do Plano Estadual de Educação Ambiental já existente, ampliando seu escopo para incorporar, de forma explícita, a dimensão climática. Com isso, novos eixos temáticos foram incorporados, de modo a preencher lacunas e garantir que a educação ambiental no Estado contemple de maneira integrada os desafios atuais e futuros relacionados ao clima.

A atualização do PEACP/SE está vinculada ao Contrato n° 08/2025, firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC, e a Fundação Instituto de Administração – FIA, com o objetivo de acrescentar, ao Plano anterior, as temáticas relacionadas às mudanças climáticas previstas pela Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei n° 9.364, de 2024) no âmbito da educação ambiental.

O PEACP/SE propõe uma abordagem educativa, participativa e territorializada, voltada para o fortalecimento das capacidades locais e institucionais na construção de uma cultura climática em Sergipe. Reconhece que enfrentar a crise climática não é apenas um desafio ambiental ou tecnológico, mas, também, um processo educativo, ético e social, que exige engajamento coletivo, acesso à informação e mudança de valores e práticas cotidianas.

O plano estrutura-se como componente educativo do PEAC/SE, articulando-se às políticas estaduais e nacionais de educação ambiental – especialmente a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795, de 1999), a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187, de 2009), a Lei nº 14.926, de 2024 (que insere a dimensão climática na educação ambiental) e a Política Estadual de Educação Ambiental (Lei nº 6.882/2010).

Dessa forma, o PEACP/SE consolida a convergência entre a educação ambiental e a ação climática, garantindo que as práticas pedagógicas e comunitárias estejam alinhadas às metas de sustentabilidade e resiliência do Estado.

O PEACP/SE define diretrizes, eixos temáticos, estratégias e ações exequíveis voltadas à formação de educadores, gestores públicos e comunidades, à disseminação do conhecimento sobre o clima e à promoção de práticas sustentáveis nos oito territórios de planejamento do Estado. Sua implementação busca transformar a educação ambiental climática em um instrumento permanente de política pública, assegurando que o tema das mudanças climáticas esteja presente nas escolas, nas universidades, nas comunidades e nos espaços de decisão governamental.

Mais do que um plano, o PEACP/SE representa um compromisso coletivo com o futuro climático de Sergipe, integrando conhecimento, participação e ação para construir um Estado mais consciente, resiliente e sustentável.

2. OBJETIVOS

O Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP/SE) tem como objetivo geral promover a integração entre a educação ambiental e a mitigação e adaptação climática, contemplando todos os níveis de ensino e representantes da sociedade civil e do Poder Público. Este Plano constitui uma complementação ao Plano Estadual de Educação Ambiental elaborado anteriormente (2022), a fim de atender às diretrizes da Política Estadual de Mudanças Climáticas, instituída pela Lei Estadual n° 9.364, de 2024.

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos para o PEACP/SE:

- Disseminar o conhecimento científico e tradicional sobre o clima e os impactos das mudanças climáticas no meio ambiente;
- Fomentar práticas educativas voltadas à sustentabilidade climática;
- Capacitar agentes públicos e comunidades para a adoção de estratégias de adaptação e mitigação climática;
- Promover a formação continuada e articulada de docentes e educadores, com foco em alfabetização climática crítica e metodologias ativas que articulem teoria, prática e contextos locais;
- Estimular a governança e participação social nas ações de mitigação e adaptação climática.

3. PREMISSAS CONCEITUAIS

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios contemporâneos, afetando de forma integrada as dimensões ambientais, sociais, econômicas e culturais em todo o planeta. Seus efeitos já se manifestam por meio do aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, alterações nos regimes de precipitação, elevação das temperaturas médias, processos de desertificação e crescentes riscos à segurança hídrica e alimentar. Trata-se, portanto, de um fenômeno complexo, cuja compreensão e enfrentamento exigem não apenas respostas técnicas, mas transformações profundas nos padrões de produção, consumo, valores e nas formas de relação da sociedade com o ambiente (GIDDENS, 2010; LIMA, 2013).

Nesse contexto, a educação ambiental em mudanças climáticas assume papel estratégico como instrumento de adaptação social e cultural, capaz de promover conhecimento, engajamento e ação frente à crise climática. A educação ambiental não atua diretamente sobre os problemas socioambientais, mas incide sobre a formação da consciência crítica, a atribuição de sentidos às relações entre sociedade e natureza e a capacidade de ação dos sujeitos (LAYRARGUES & LIMA 2014). Dessa forma, o Plano Estadual de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP/SE) fundamenta-se na perspectiva da alfabetização climática, entendida como a capacidade de compreender as causas e consequências das mudanças do clima, reconhecer responsabilidades individuais e coletivas e atuar de forma crítica, solidária e sustentável (ZEZZO; COLTRI, 2022).

Diversos autores indicam que grande parte da população já ouviu falar em mudanças climáticas, mas não compreende plenamente suas causas ou suas consequências no cotidiano, o que gera a percepção de que o problema está distante e reduz o senso de urgência diante da crise climática (LIMA, 2013; OLIVEIRA, 2023). Estudos também apontam que, quando o risco não é visível, as pessoas tendem a adiar ações preventivas, o que torna as respostas futuras mais difíceis e tardias (GIDDENS, 2010).

A literatura aponta, ainda, que esse distanciamento é reforçado pela complexidade do tema, pela dificuldade de atribuir o mesmo estatuto de realidade a eventos futuros e presentes e pela insuficiência de políticas públicas transversais capazes de promover informação qualificada, debate público e participação social (LIMA, 2013; OLIVEIRA, 2023). Nesse cenário, a educação ambiental climática torna-se essencial para

tornar o risco compreensível e socialmente relevante, fortalecendo a capacidade de ação individual e coletiva diante da crise climática (ZEZZO; COLTRI, 2022).

No âmbito da educação formal, estudos evidenciam que a inserção da temática climática enfrenta obstáculos estruturais, como a rigidez curricular, a formação insuficiente de professores, a escassez de materiais didáticos específicos e a fragilidade das práticas interdisciplinares (TOZONI-REIS & CAMPOS, 2014; VIEGAS & NEIMAN, 2015; COSENZA & MARTINS, 2018).

Além disso, programas educacionais concebidos sem considerar as realidades institucionais, territoriais e socioambientais das escolas tendem a ter sua proposta pedagógica esvaziada no processo de implementação (OLIVEIRA & CARVALHO, 2021). Conforme argumentam Valois e Cavalari (2015), políticas públicas pensadas a partir de contextos idealizados, sem reconhecimento das variações de recursos, capacidades e condições locais, podem alterar significativamente o sentido original das propostas educacionais.

Dessa forma, a educação ambiental em mudanças climáticas deve ser concebida como um processo contextualizado, sensível às especificidades regionais e articulado às problemáticas socioambientais vivenciadas pelas comunidades. A experiência analisada por Oliveira et al. (2021) demonstra que a integração da temática climática aos currículos escolares, quando associada às realidades locais, favorece a compreensão de conceitos fundamentais como efeito estufa, clima, impactos ambientais e sustentabilidade e aproxima o debate climático do cotidiano dos estudantes.

A formação docente constitui outro eixo central das premissas conceituais adotadas. A literatura converge ao afirmar que a educação ambiental exige processos formativos permanentes, continuados e críticos, que superem modelos baseados exclusivamente na transmissão de conteúdos (MARTINS; SCHNETZLER, 2018; OLIVEIRA, 2023). A formação de professores deve possibilitar a compreensão da complexidade das mudanças climáticas, articulando dimensões científicas, sociais, econômicas, políticas e culturais, além de estimular práticas pedagógicas interdisciplinares, dialógicas e orientadas à ação.

No plano das políticas públicas, a alfabetização climática é compreendida como um eixo estruturante da ação climática, ao integrar conhecimento científico, participação social e capacidade de tomada de decisão informada (ZEZZO; COLTRI, 2022). Enfrentar a emergência climática implica investir de forma sistemática em uma educação ambiental

de qualidade, articulada a mecanismos de financiamento, governança cooperativa e justiça socioambiental (BIASOLI & BRIANEZI, 2024).

Nesse sentido, o PEACP/SE incorpora, em suas premissas conceituais, a exigência expressa da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 9.364, de 2024), que estabelece a educação ambiental, a conscientização pública e a capacitação como dever do Poder Público e como instrumentos estruturantes da política climática estadual.

A referida lei determina a promoção de processos educativos contínuos, voltados à disseminação de informações qualificadas, ao fortalecimento da participação social e à indução de mudanças comportamentais e institucionais necessárias à mitigação das emissões de gases de efeito estufa, à adaptação aos impactos climáticos e à redução de riscos e vulnerabilidades socioambientais no território sergipano. Articula-se, ainda, à Política Estadual de Educação Ambiental (Lei nº 6.882/2010) e ao Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE), reforçando o caráter transversal, permanente e integrado da educação ambiental.

A alfabetização climática proposta pelo PEACP/SE abrange todos os públicos, reconhecendo que a mudança de paradigma necessária ao enfrentamento da crise climática deve ocorrer de maneira ampla, contínua e articulada entre diferentes segmentos da sociedade. As ações previstas contemplam distintos públicos-alvo, conforme sistematizado no Quadro 1, que apresenta estratégias específicas de alfabetização climática.

Quadro 1: Públicos-alvo e estratégias de alfabetização climática do PEACP/SE

PÚBLICO-ALVO	ESTRÁTEGIA
Crianças e jovens	Inserção do tema nas escolas e na formação docente.
Educadores e instituições de ensino	Criação de multiplicadores do conhecimento climático.
Gestores e servidores públicos	Incorporação da variável climática nas políticas e programas.
Empreendimentos e setor produtivo	Promoção de práticas de baixo carbono e responsabilidade socioambiental.
Organizações da sociedade civil e comunidades locais	Fortalecimento do protagonismo territorial e as soluções baseadas na natureza.
População em geral	Campanhas, programas de comunicação e espaços participativos de aprendizagem.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Dessa forma, o PEACP/SE compreende a educação ambiental climática como um processo social permanente, que ultrapassa os limites da escola e se insere nas políticas públicas, nas instituições e nas práticas cotidianas. Trata-se de promover

mudanças culturais e comportamentais capazes de apoiar a transição para um modelo de desenvolvimento mais sustentável, resiliente e socialmente justo.

Ao alinhar-se à Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 9.364, de 2024), à Política Estadual de Educação Ambiental (Lei nº 6.882, de 2010) e ao Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC-SE), o PEACP/SE reforça o papel da educação como eixo estruturante da mitigação e adaptação climática. Assim, estabelece as bases para que Sergipe avance na construção de políticas públicas integradas, participativas e transformadoras, que preparem cidadãos, instituições e territórios para os desafios do presente e do futuro climático.

4. BASE LEGAL E INSTITUCIONAL

O Plano Estadual de Educação Ambiental e Conscientização Pública de Sergipe (PEACP/SE) está fundamentada em um conjunto de normas constitucionais, leis federais e estaduais, bem como em instrumentos de planejamento e políticas públicas que estruturam a educação ambiental e a ação climática no Brasil e no Estado de Sergipe. Esse arcabouço normativo assegura legitimidade jurídica ao plano e orienta sua implementação.

O PEACP/SE se fundamenta no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, que estabelece o direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e atribui ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. O inciso VI do referido artigo determina expressamente a promoção da educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente, conferindo à educação ambiental caráter obrigatório e estruturante das políticas ambientais.

Destaca-se, ainda no âmbito federal, a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), instituída pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que define a educação ambiental como um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente de forma articulada em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não formal. A PNEA estabelece princípios, objetivos e diretrizes que orientam a construção do PEACP/SE, especialmente no que se refere à transversalidade, à participação social, à continuidade dos processos educativos e à articulação entre diferentes setores da sociedade.

Complementarmente, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, estabelece a educação, a capacitação e a conscientização pública como instrumentos essenciais da política climática nacional. A PNMC reforça a importância da disseminação de informações qualificadas, da formação de capacidades institucionais e da participação social para o enfrentamento das mudanças climáticas, fundamentos plenamente incorporados ao PEACP/SE.

Um marco fundamental para a atualização do plano estadual é a Lei nº 14.926, de 17 de julho de 2024, que altera a Política Nacional de Educação Ambiental, e incorpora a educação climática como dimensão obrigatória da educação ambiental. Essa atualização normativa determina que os processos educativos passem a contemplar, de forma sistemática, conteúdos relacionados às causas, impactos, riscos e estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, reforçando a necessidade de revisão do Plano Estadual de Educação Ambiental de Sergipe e justificando a elaboração do PEACP/SE.

No âmbito estadual, o plano está alinhado à Política Estadual de Educação Ambiental de Sergipe, instituída pela Lei nº 6.882, de 8 de abril de 2010, que dispõe sobre os princípios, objetivos e diretrizes da educação ambiental no Estado. Essa política reconhece a educação ambiental como um processo contínuo, permanente e participativo, orientado à construção da cidadania ambiental e à melhoria da qualidade de vida da população sergipana, servindo de base estruturante para o PEACP/SE.

Destaca-se, ainda, a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas de Sergipe, instituída pela Lei nº 9.364, de 10 de janeiro de 2024, que estabelece a educação ambiental, a conscientização pública, a comunicação e a capacitação como instrumentos estratégicos da ação climática estadual. A referida Lei determina que o Poder Público promova processos educativos contínuos voltados à mitigação das emissões de gases de efeito estufa, à adaptação aos impactos climáticos e à redução de riscos e vulnerabilidades socioambientais, conferindo, ao PEACP/SE, papel central na operacionalização do componente educativo da política climática estadual.

O PEACP/SE também se articula a outros instrumentos e políticas públicas correlatas, como o Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC-SE), o Plano Estadual de Educação Ambiental (PlanEA/2022), o Plano Estadual de Combate à Desertificação, os planos de recursos hídricos, de saneamento básico, de gerenciamento costeiro e de conservação da biodiversidade, assegurando coerência e integração entre as diferentes agendas ambientais e climáticas do Estado.

Do ponto de vista institucional, a implementação do PEACP/SE envolve a atuação coordenada de órgãos e entidades da administração pública estadual, com destaque para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), a Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura (SEDUC), além de órgãos vinculados, instituições de ensino, conselhos, comitês, organizações da sociedade civil e demais atores sociais. Essa articulação institucional reforça o caráter intersetorial do plano e garante sua inserção nos processos de planejamento, gestão e governança ambiental e climática do Estado.

Segundo a Lei Estadual nº 6.882, de 2010, que institui a Política Estadual de Educação Ambiental, os municípios devem definir diretrizes, normas e critérios para a educação ambiental no âmbito de sua competência, em consonância com as diretrizes estabelecidas pela política estadual. Essa previsão normativa atribui papel central aos entes municipais na implementação das ações educativas, especialmente no que se refere à educação ambiental não formal, à mobilização social e à articulação com as realidades territoriais.

5. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO PEACP/SE

O Plano Estadual de Educação Ambiental e Conscientização Pública de Sergipe (PEACP/SE) foi concebido através de uma metodologia fundamentada em referenciais teóricos consolidados da educação ambiental, da alfabetização climática e do planejamento territorial participativo. Esse processo reconhece que a educação ambiental climática constitui um eixo transversal e estruturante das políticas públicas contemporâneas, devendo articular diagnóstico, participação social, base legal e definição de estratégias educativas exequíveis e territorializadas.

Assim, o PEACP/SE resulta diretamente da necessidade de atualização do Plano Estadual de Educação Ambiental de Sergipe anteriormente vigente, frente às transformações do marco legal e conceitual da educação ambiental no Brasil. A promulgação da Lei nº 14.926, de 2024, que atualiza a Política Nacional de Educação Ambiental ao incorporar explicitamente a dimensão da educação climática, impôs a revisão e ampliação dos referenciais, diretrizes e estratégias até então adotados no Estado.

Nesse contexto, o PEACP/SE surge como uma atualização e complementação do plano anterior, incorporando a educação em mudanças climáticas como eixo estruturante das ações educativas. Ao mesmo tempo, consolida-se como componente educativo transversal do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC-SE), dialogando diretamente com seus eixos temáticos, metas e mecanismos de governança. Dessa forma,

o plano integra educação, comunicação, capacitação e participação social, assegurando coerência com a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 9.364, de 2024) e com a Política Estadual de Educação Ambiental (Lei nº 6.882, de 2010).

1.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DO PROCESSO DE ELABORAÇÃO

A base teórica que orientou a elaboração do PEACP/SE fundamenta-se na educação ambiental crítica, que compreende os problemas ambientais e climáticos como fenômenos socioambientais complexos, historicamente produzidos e atravessados por desigualdades sociais, econômicas e territoriais (LAYRARGUES; LIMA, 2014). Essa abordagem orienta a superação de práticas educativas pontuais, meramente informativas ou compensatórias, priorizando processos contínuos, emancipatórios e orientados à transformação social.

Outro eixo conceitual central é a alfabetização climática, entendida como a capacidade de indivíduos, comunidades e instituições compreenderem as causas, consequências e riscos associados às mudanças climáticas, reconhecerem responsabilidades individuais e coletivas e atuarem de forma crítica, solidária e informada na construção de soluções (ZEZZO; COLTRI, 2022). No âmbito do PEACP/SE, a alfabetização climática orienta tanto os conteúdos formativos quanto as estratégias pedagógicas, comunicacionais e participativas previstas no plano.

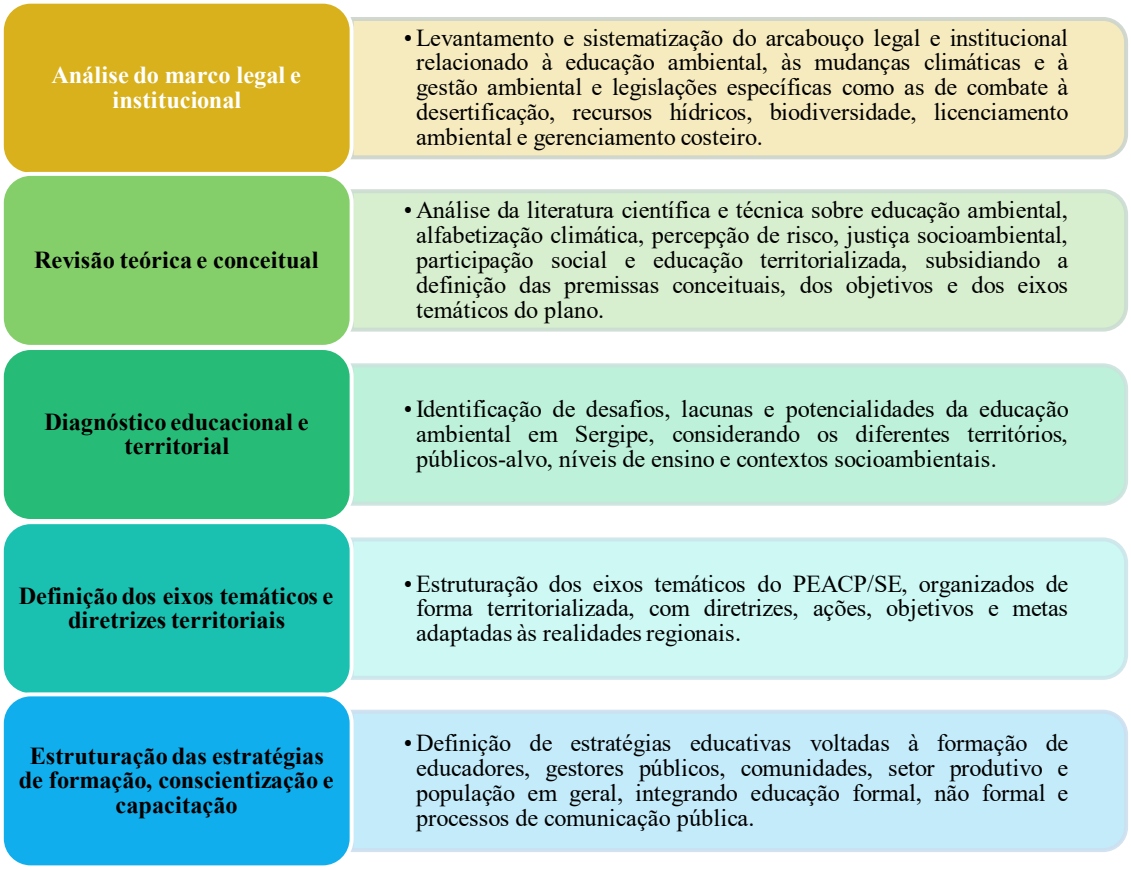
O processo de construção também foi orientado pelos princípios da intersetorialidade e da transversalidade das políticas públicas, reconhecendo que a educação ambiental deve dialogar de forma integrada com áreas como recursos hídricos, biodiversidade, saneamento, agricultura, saúde, defesa civil, planejamento urbano, licenciamento ambiental e gerenciamento costeiro. Essa abordagem assegura coerência entre o PEACP/SE, o PEAC-SE e os instrumentos legais que estruturam a política ambiental e climática no Estado de Sergipe.

Adicionalmente, o plano adota a perspectiva da educação ambiental territorializada, reconhecendo que os impactos ambientais e climáticos se manifestam de forma diferenciada nos territórios de planejamento do Estado. Assim, a construção do PEACP/SE considerou as especificidades socioambientais, ecológicas, culturais e produtivas de cada território, de modo a orientar a definição de diretrizes, ações e campanhas educativas alinhadas às realidades locais, às vulnerabilidades existentes e às capacidades institucionais e comunitárias.

1.3 ETAPAS DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO PEACP/SE

A elaboração do PEACP/SE seguiu um fluxo metodológico estruturado em etapas interdependentes, que permitiram integrar base legal, fundamentos teóricos, diagnóstico territorial e definição de estratégias educativas e comunicacionais. Esse processo está sintetizado nas seguintes etapas (Figura 1):

Figura 1: Fluxo metodológico de elaboração do PEACP/SE



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

As campanhas de conscientização e capacitação constituem instrumentos operacionais centrais do PEACP/SE e foram concebidas como processos educativos contínuos, e não como ações pontuais de comunicação. Sua formulação seguiu um fluxo metodológico próprio, articulado aos eixos temáticos do plano e às diretrizes territoriais. O fluxo metodológico das campanhas de Educação Ambiental e Conscientização Pública, estão mencionados abaixo (Figura 2):

Figura 2: Fluxo metodológico das campanhas de Educação Ambiental e Conscientização



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Esse fluxo garante que as campanhas não se restrinjam a ações pontuais ou informativas, mas se consolidem como processos educativos contínuos, alinhados às metas do PEACP/SE e à Política Estadual sobre Mudanças Climáticas.

1.4 INTEGRAÇÃO COM A GOVERNANÇA E A PARTICIPAÇÃO SOCIAL

O processo de construção do PEACP/SE reconhece a governança participativa como elemento essencial para a efetividade da educação ambiental e da ação climática. Assim, o plano articula-se aos mecanismos de participação social previstos na legislação ambiental, incluindo conselhos, comitês de bacias hidrográficas, instâncias colegiadas e processos de consulta pública.

A construção e a implementação do PEACP/SE pressupõem a manutenção de canais permanentes de diálogo entre o poder público, instituições de ensino, organizações da sociedade civil, setor produtivo e a população em geral. Essa articulação fortalece a transparência, o controle social e o engajamento coletivo na execução das ações educativas e das campanhas de conscientização e capacitação.

6. DIAGNÓSTICO E ANÁLISE TERRITORIAL

O diagnóstico territorial constitui etapa estratégica para compreender como as dinâmicas ambientais, sociais, econômicas e institucionais se expressam nos diferentes espaços do Estado de Sergipe. A análise territorial permite identificar desigualdades, potencialidades e vulnerabilidades, além de reconhecer os atores locais, os arranjos institucionais e os contextos socioculturais que influenciam diretamente a implementação das ações de educação ambiental e de conscientização pública.

A leitura integrada do território parte do entendimento de que os problemas ambientais não se distribuem de forma homogênea, assim como as capacidades de gestão, os instrumentos de governança e os mecanismos de participação social. A abordagem territorial adotada no PEACP/SE busca, portanto, articular políticas, programas e ações educativas a partir das especificidades regionais, fortalecendo a conexão entre planejamento estadual e realidades locais.

Este capítulo apresenta uma síntese da organização territorial do Estado de Sergipe e aponta elementos que orientam o planejamento das ações educativas, oferecendo base para a definição de estratégias diferenciadas e territorializadas nos subtópicos seguintes.

1.5 DIVISÃO TERRITORIAL DO ESTADO DE SERGIPE

O Estado de Sergipe encontra-se organizado em Territórios de Planejamento, instituídos como instrumento de articulação entre políticas públicas, participação social e desenvolvimento regional. Essa divisão territorial considera fatores geográficos, socioeconômicos, ambientais e culturais, permitindo uma leitura mais integrada das realidades locais e favorecendo processos de planejamento mais participativos e eficientes.

A divisão territorial vigente compreende oito Territórios de Planejamento, que agrupam os municípios sergipanos segundo suas características socioambientais e dinâmicas econômicas, possibilitando a integração entre iniciativas de gestão ambiental, conservação dos recursos naturais, fortalecimento da agricultura familiar, políticas sociais e desenvolvimento local.

Nesse contexto, o PEACP/SE utiliza os Territórios de Planejamento como base de organização para diagnóstico, planejamento e implementação das ações educativas. Essa opção metodológica favorece a aproximação com os atores locais, amplia a

efetividade das ações e contribui para que a educação ambiental se consolide como política pública transversal, articulada às agendas de desenvolvimento e adaptação climática em escala regional.

1.5.1 AGRESTE CENTRAL

O Agreste Central ocupa a porção centro-oeste do Estado e reúne municípios com forte integração produtiva e sociocultural, articulando áreas urbanas dinâmicas, assentamentos rurais e espaços naturais de elevada relevância ambiental. A presença de cadeias agropecuárias e comerciais consolidadas confere ao território o segundo maior Produto Interno Bruto estadual, refletindo sua importância econômica para Sergipe.

O território abriga uma das principais unidades de conservação do Estado: o Parque Nacional Serra de Itabaiana, com aproximadamente 8 mil hectares e altitude máxima de cerca de 650 metros, abrangendo áreas dos municípios de Itabaiana, Areia Branca, Campo do Brito, Itaporanga d'Ajuda e Laranjeiras. Trata-se de unidade de proteção integral que desempenha papel estratégico na conservação da biodiversidade, na proteção de nascentes e na oferta de oportunidades para pesquisa, visitação controlada e educação ambiental. Além disso, o território conta com a Reserva Particular do Patrimônio Natural Fonte da Bica, localizada em Areia Branca.

Do ponto de vista social, o Agreste Central apresenta forte presença de associações comunitárias e organizações de base, em grande medida impulsionadas por políticas públicas como o Programa de Combate à Pobreza Rural (PRONESE) e, posteriormente, pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), que estimulou a criação de Conselhos Municipais de Desenvolvimento Rural Sustentável e de conselhos gestores em diversas áreas de política pública. O território também abriga populações tradicionais, com destaque para remanescentes de quilombo e para a comunidade Catuaba, no município de Frei Paulo, o que reforça a necessidade de abordagens educativas que valorizem saberes locais e direitos territoriais.

Apesar desse capital social expressivo, o quadro político-institucional revela fragilidades importantes: limitações de capacidade técnica, dificuldades de articulação intersetorial e baixa efetividade na aplicação de políticas ambientais. Tais condições demandam estratégias de fortalecimento institucional, governança participativa e educação ambiental orientada ao controle social e à gestão compartilhada.

No âmbito econômico, predominam as atividades agropecuárias, com expansão de pastagens e agricultura diversificada, articuladas a feiras regionais que movimentam

produtos e serviços. Esse padrão de uso do solo, quando realizado sem práticas conservacionistas, intensifica processos de erosão, assoreamento e perda de cobertura vegetal. Ao mesmo tempo, o território apresenta elevado potencial para ecoturismo e turismo de base comunitária, associado às paisagens naturais da Serra de Itabaiana e a atrativos como o Parque dos Falcões, a Cachoeira de Macambira, a Serra da Miaba, poços naturais e barragens, além da gastronomia regional e da feira de Itabaiana, reconhecida pela diversidade de produtos.

Nesse contexto, a educação ambiental assume papel estruturante ao articular conservação da natureza, valorização cultural e sustentabilidade produtiva. Processos formativos voltados ao manejo adequado do solo e da água, à gestão integrada de unidades de conservação, ao turismo responsável e ao fortalecimento de associações comunitárias contribuem para qualificar decisões públicas e privadas, ampliar o pertencimento territorial e consolidar práticas de desenvolvimento sustentável.

O Território Agreste Central é composto pelos municípios de: Areia Branca, Campo do Brito, Carira, Frei Paulo, Itabaiana, Macambira, Malhador, Moita Bonita, Nossa Senhora Aparecida, São Miguel do Aleixo, Pinhão, Ribeirópolis, São Domingos e Pedra Mole.

1.5.2 ALTO SERTÃO SERGIPANO

O Alto Sertão Sergipano corresponde à porção mais seca do Estado e apresenta condições ambientais fortemente condicionadas pelo clima semiárido. A irregularidade das chuvas, os longos períodos de estiagem e a elevada evapotranspiração moldam tanto a paisagem quanto as estratégias produtivas e de sobrevivência das populações locais. Trata-se da região sergipana mais impactada por processos de degradação ambiental associados à desertificação, fenômeno intensificado, em grande medida, pela salinização dos solos decorrente da mecanização agrícola e da implantação de perímetros irrigados sem manejo adequado.

Embora o território possua vocação para a agricultura de ciclo curto, a ocupação predominante do solo está associada à formação de extensas áreas de pastagens. A pecuária de bovinos, especialmente voltada à produção leiteira, configura-se como a principal atividade econômica regional, estruturando cadeias produtivas, relações de trabalho e o uso dos recursos naturais. Esse modelo produtivo, quando desvinculado de práticas conservacionistas, tende a acentuar a compactação do solo, a perda de fertilidade e a pressão sobre a vegetação nativa da Caatinga.

O Alto Sertão Sergipano é composto por sete municípios, sendo eles: Canindé de São Francisco, Gararu, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Nossa Senhora de Lourdes, Poço Redondo e Porto da Folha. Esses municípios apresentam relevância expressiva no contexto estadual, com o território ocupando a terceira posição no Produto Interno Bruto de Sergipe. Tal expressividade econômica reforça o papel estratégico do território e evidencia a necessidade de compatibilizar o dinamismo econômico com sustentabilidade ambiental e resiliência climática.

A disponibilidade hídrica constitui fator crítico para o território. Rios intermitentes, açudes, barragens e poços subterrâneos sustentam o abastecimento humano e as atividades produtivas, operando frequentemente em situação de estresse hídrico. A gestão desses recursos exige planejamento contínuo, monitoramento e envolvimento direto das comunidades, sobretudo diante da intensificação de eventos climáticos extremos. Nesse contexto, a educação ambiental torna-se instrumento fundamental para fortalecer práticas de convivência com o semiárido, uso racional da água e recuperação de áreas degradadas.

No campo institucional, os municípios do Alto Sertão contam com conselhos e instâncias participativas vinculadas às políticas rurais e sociais, ainda que persistam limitações relacionadas à capacidade técnica, à disponibilidade de recursos e à articulação intersetorial. O fortalecimento dessas estruturas, aliado à educação ambiental crítica, contribui para ampliar o controle social, qualificar decisões públicas e estimular a adoção de tecnologias sociais adaptadas às condições do semiárido.

Dessa forma, o Território Alto Sertão Sergipano demanda ações educativas contínuas e contextualizadas, capazes de dialogar com a realidade produtiva local, com os limites ambientais impostos pelo clima e com os saberes tradicionais associados à Caatinga. A integração entre educação ambiental, assistência técnica e extensão rural configura-se como elemento essencial para reduzir vulnerabilidades, ampliar a resiliência das comunidades e promover modelos de desenvolvimento alinhados às especificidades climáticas e socioambientais da região.

1.5.3 BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO

O Baixo São Francisco apresenta uma configuração socioambiental marcada pela forte dependência das políticas públicas, pela baixa diversificação econômica e por limitações estruturais históricas que se refletem nos indicadores sociais e institucionais. Trata-se de um dos territórios com menor dinamismo econômico do Estado, ocupando a

segunda menor posição no Produto Interno Bruto de Sergipe, à frente apenas do Médio Sertão, conforme dados do Observatório de Sergipe (2025).

A organização territorial é fortemente influenciada pela presença do rio São Francisco, que exerce papel simbólico, cultural e produtivo, especialmente para comunidades ribeirinhas e populações tradicionais. No entanto, a proximidade com o rio não se traduz automaticamente em segurança hídrica, renda ou sustentabilidade ambiental. Pelo contrário, persistem desafios relacionados ao uso inadequado do solo, à pressão sobre áreas sensíveis e à limitada capacidade local de gestão ambiental, o que exige abordagens educativas contínuas e direcionadas.

O território é composto pelos municípios de Amparo de São Francisco, Brejo Grande, Canhoba, Cedro de São João, Ilha das Flores, Japoatã, Malhada dos Bois, Muribeca, Neópolis, Pacatuba, Propriá, Santana do São Francisco, São Francisco e Telha. Em grande parte desses municípios, a educação ambiental ainda é restrita a ações pontuais, com baixa integração entre secretarias, ausência de programas permanentes e limitada articulação com instrumentos de planejamento ambiental e climático.

No Baixo São Francisco, destaca-se a presença da Reserva Biológica de Santa Isabel, unidade de conservação federal que abrange, entre outros municípios, Pacatuba, integrante do território. A existência da REBIO introduz complexidades adicionais à gestão ambiental local, especialmente no que se refere à relação entre conservação da biodiversidade, uso do território e modos de vida das comunidades do entorno. Nesse contexto, a educação ambiental assume papel estratégico para a mediação de conflitos, o fortalecimento do diálogo institucional e a construção de uma compreensão coletiva sobre as funções ecológicas da unidade de conservação e seus reflexos sociais e econômicos.

As fragilidades observadas no território evidenciam a necessidade de ações educativas que extrapolem o ambiente escolar e alcancem agricultores, pescadores, lideranças comunitárias e gestores públicos. A educação ambiental, quando articulada à cidadania, ao controle social e à compreensão dos direitos e deveres ambientais, contribui para ampliar a participação da sociedade nos processos decisórios e para qualificar a implementação das políticas públicas existentes.

Diante desse cenário, o Território Baixo São Francisco demanda estratégias de educação ambiental que considerem suas condições socioeconômicas, os desafios estruturais à gestão local e sua elevada relevância socioambiental. A atuação do Estado, por meio do PEACP/SE, assume caráter articulador, promovendo ações educativas contínuas e integradas às políticas de desenvolvimento territorial, conservação ambiental

e justiça socioambiental, com vistas ao fortalecimento das capacidades institucionais locais e à redução de vulnerabilidades.

1.5.4 CENTRO-SUL SERGIPANO

O Centro-Sul Sergipano ocupa posição estratégica na organização socioeconômica do Estado, articulando municípios com forte base agropecuária, dinâmica industrial relevante e papel expressivo na segurança alimentar regional. A paisagem predominante é marcada por extensas áreas de pastagens, refletindo a centralidade histórica da pecuária como atividade estruturante do território, coexistindo com núcleos urbanos e polos produtivos consolidados.

Este território é composto pelos Municípios de Lagarto, Poço Verde, Riachão do Dantas, Simão Dias e Tobias Barreto, que, juntos, somam uma área de 3.526 km², equivalente a 16% do território sergipano.

A criação de bovinos assume especial importância econômica, conferindo ao Centro-Sul o segundo maior rebanho do Estado, com destaque para os municípios de Lagarto e Tobias Barreto, que concentram os maiores efetivos. O território também se sobressai por apresentar o maior efetivo estadual de equinos e bubalinos, além de ocupar posição de destaque na produção de caprinos e ovinos, evidenciando a diversidade dos sistemas pecuários e sua relevância para a geração de renda no meio rural.

Paralelamente, o território abriga um dos mais tradicionais polos da indústria têxtil e de confecções de Sergipe, com destaque para o município de Tobias Barreto, cuja economia urbana está fortemente vinculada à produção têxtil e à confecção. Esse setor exerce papel relevante na geração de empregos e na dinamização do comércio regional, articulando redes de produção, distribuição e varejo. Do ponto de vista ambiental, os principais desafios associam-se à organização dos espaços produtivos urbanos, à gestão de resíduos sólidos gerados pelas atividades de confecção, ao consumo de energia, à mobilidade e às condições de trabalho, demandando ações educativas voltadas à produção responsável e à sustentabilidade das cadeias locais.

A agricultura também exerce papel relevante, especialmente por meio de lavouras temporárias de grãos, raízes e tubérculos. O milho configura-se como o principal produto agrícola do território, com expressiva concentração da área plantada no município de Simão Dias. Lagarto destaca-se como maior produtor estadual de mandioca, consolidando sua importância na cadeia agroalimentar e na manutenção de sistemas produtivos tradicionais.

O território abriga assentamentos da reforma agrária implantados pelo INCRA e dois perímetros irrigados (Jabiberi e Piauí) que ampliam as possibilidades produtivas, mas também exigem atenção quanto à gestão da água, ao uso do solo e à adoção de práticas ambientalmente responsáveis. A presença desses empreendimentos reforça a necessidade de ações educativas articuladas à assistência técnica e à regularização ambiental das atividades produtivas.

Nesse contexto, a educação ambiental no território do Centro-Sul Sergipano assume papel estratégico ao dialogar tanto com os sistemas agropecuários quanto com o setor industrial. Processos formativos voltados ao manejo conservacionista do solo, à gestão eficiente da água, ao tratamento de efluentes, à redução de resíduos e à conformidade ambiental das atividades produtivas contribuem para qualificar decisões públicas e privadas, fortalecer a governança territorial e promover um modelo de desenvolvimento economicamente dinâmico e ambientalmente responsável.

1.5.5 GRANDE ARACAJU

O Grande Aracaju concentra a capital do Estado e municípios que, ao longo do tempo, passaram por intenso processo de integração física, econômica e funcional, configurando a principal área urbana e metropolitana de Sergipe. Assentado predominantemente sobre as unidades geomorfológicas dos Tabuleiros Costeiros e da Planície Costeira, o território reúne elevada densidade populacional, diversidade de atividades econômicas e forte pressão sobre os recursos naturais, características que o tornam estratégico para a implementação de políticas públicas ambientais e educativas.

A região abriga um conjunto expressivo de áreas protegidas e espaços naturais de relevância ambiental e paisagística. Destacam-se:

- Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul, no município de Itaporanga d’Ajuda;
- APA Morro do Urubu e o Parque Municipal do Tramandaí, em Aracaju;
- Floresta Nacional da Ibura, em Nossa Senhora do Socorro;
- Parque Estadual Marituba, entre Barra dos Coqueiros e Santo Amaro das Brotas;
- Área de Relevante Interesse Ecológico dos manguezais, em Barra dos Coqueiros; e
- Uma pequena porção do Parque Nacional da Serra de Itabaiana, nos municípios de Laranjeiras e Itaporanga d’Ajuda.

Esses ambientes desempenham papel essencial na conservação da biodiversidade, na proteção de manguezais e estuários, na regulação climática local e na oferta de serviços ecossistêmicos fundamentais para a qualidade de vida urbana.

Integram esse território os municípios de Aracaju, Barra dos Coqueiros, Itaporanga d'Ajuda, Laranjeiras, Maruim, Nossa Senhora do Socorro, Riachuelo, Santo Amaro das Brotas e São Cristóvão. Do ponto de vista econômico, o Território Grande Aracaju reúne os municípios com maior dinamismo produtivo do Estado, concentrando atividades administrativas, industriais, comerciais e de serviços. O setor terciário assume protagonismo, impulsionado pela presença da capital, pela infraestrutura instalada e pela centralidade regional exercida pelo território. O turismo destaca-se como atividade estruturante, associado às praias, às cidades históricas, aos hotéis-fazenda, aos resorts e, sobretudo, ao turismo de eventos, favorecido pela infraestrutura hoteleira, de serviços e de equipamentos urbanos disponíveis em Aracaju.

Esse dinamismo econômico e urbano, entretanto, intensifica desafios ambientais associados à expansão da malha urbana, à ocupação de áreas ambientalmente sensíveis, à pressão sobre manguezais e corpos d'água, à gestão de resíduos sólidos, ao saneamento básico e à mobilidade urbana. A coexistência entre áreas densamente urbanizadas e ecossistemas frágeis exige planejamento territorial integrado, fiscalização contínua e fortalecimento da governança ambiental em escala metropolitana.

Nesse contexto, a educação ambiental assume papel estratégico ao articular políticas urbanas, ambientais e climáticas, promovendo a conscientização pública sobre riscos socioambientais, uso responsável do território e conservação dos ecossistemas costeiros e estuarinos. A diversidade de públicos presentes no território amplia o alcance das ações educativas, que podem ser desenvolvidas em escolas, unidades de conservação, espaços comunitários, equipamentos culturais e por meio de estratégias remotas de comunicação.

1.5.6 LESTE SERGIPANO

O território do Leste Sergipano corresponde ao menor recorte territorial do Estado, com uma área de 1.518,7 km^2, representando aproximadamente 7% da área total de Sergipe. Situa-se sobre os afloramentos da Bacia Sedimentar de Sergipe, abrangendo unidades geomorfológicas dos Tabuleiros Costeiros e da Planície Litorânea, com paisagens marcadas pela presença de manguezais, praias, dunas e remanescentes de Mata Atlântica. Essa configuração ambiental confere elevada sensibilidade ecológica ao

território, ao mesmo tempo em que sustenta usos econômicos diversificados e forte identidade cultural.

Este território compreende os municípios de Capela, Carmópolis, Divina Pastora, General Maynard, Japaratuba, Pirambu, Rosário do Catete, Santa Rosa de Lima e Siriri. A ocupação histórica da região esteve fortemente associada à agroindústria do açúcar, implantada nos vales dos rios Sergipe, Cotinguiba e Japaratuba, cujos efeitos ainda se refletem na organização do espaço rural, na estrutura fundiária e na paisagem cultural. Paralelamente, atividades vinculadas à extração de petróleo, gás natural e sais de potássio impulsionaram a economia regional, explicando a relevância do setor secundário e a geração de riqueza concentrada em determinados municípios.

O território abriga importante patrimônio ambiental protegido, com destaque para a Área de Relevante Interesse Ecológico Mata do Cipó, unidade de uso sustentável localizada entre Siriri e Capela, voltada à manutenção de ecossistemas naturais de importância regional. Soma-se a essa área o Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, no município de Capela, unidade de proteção integral criada com o objetivo de conservar remanescentes de Mata Atlântica, proteger nascentes e assegurar a sobrevivência do macaco-guigó (*Callicebus coimbrai*), além de constituir espaço para pesquisa científica, educação ambiental e ecoturismo.

Importa mencionar que o território também se articula à Reserva Biológica de Santa Isabel, gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), cuja área se estende entre os municípios de Pacatuba, no Baixo São Francisco, e Pirambu, no Leste Sergipano. Foi criada pelo Decreto nº 96.999, em 20 de outubro de 1988, com o objetivo de preservar frágeis ecossistemas costeiros, compostos por vegetação de restinga, com presença de remanescente de Mata Atlântica no seu interior, cordões de dunas móveis e fixas, lagoas permanentes e temporárias e ambientes estuarinos, visando à proteção da fauna e flora local, principalmente da tartaruga marinha (*Lepidochelys olivacea).*

A identidade cultural do Leste Sergipano é marcada por forte presença de manifestações afrodescendentes, práticas religiosas, festas populares e formas de aprendizado coletivo que se expressam na arquitetura, na culinária, na dança, no folclore e nas práticas sociais. Municípios como Divina Pastora, Carmópolis e Japaratuba mantêm calendário intenso de celebrações religiosas e culturais, que desempenham papel central na coesão social e no fortalecimento do sentimento de pertencimento. Esses elementos constituem importante base para ações educativas que integrem cultura, memória e conservação ambiental.

Do ponto de vista socioeconômico, o território ocupa a sexta posição na participação do Produto Interno Bruto estadual, refletindo uma economia diversificada, porém marcada por desigualdades internas e pressões ambientais associadas ao uso do solo, à expansão urbana e às atividades industriais. Nesse contexto, destaca-se a relevância da agroindústria canavieira, com os municípios de Japaratuba e Capela ocupando, respectivamente, a segunda e a terceira posições na produção estadual de cana-de-açúcar, atividade que historicamente estruturou a ocupação do território e continua a influenciar a dinâmica econômica e ambiental do território. A presença de áreas ambientalmente sensíveis, associada à ocupação histórica e à dinâmica produtiva, reforça a necessidade de planejamento territorial integrado e de fortalecimento da gestão ambiental local.

Nesse contexto, a educação ambiental no território do Leste Sergipano assume papel estratégico ao articular conservação da Mata Atlântica, proteção de recursos hídricos, valorização do patrimônio cultural e enfrentamento de impactos associados às atividades econômicas. Processos educativos voltados a escolas, comunidades, gestores públicos e setores produtivos contribuem para ampliar a compreensão sobre os limites ambientais do território, estimular práticas sustentáveis e fortalecer a participação social na gestão ambiental.

1.5.7 MÉDIO SERTÃO SERGIPANO

O território do Médio Sertão Sergipano situa-se no meio-norte de Sergipe, e é formado pelos municípios de Aquidabã, Cumbe, Feira Nova, Graccho Cardoso, Itabi e Nossa Senhora das Dores, sendo banhado por rios que integram as bacias do São Francisco, do Japaratuba e do Sergipe, o que lhe confere grande relevância estratégica para a gestão dos recursos hídricos, mesmo em um contexto de escassez e irregularidade das chuvas. Pequenos cursos d'água, açudes e barragens garantem o abastecimento humano e sustentam as atividades produtivas, muitas vezes operando sob forte pressão, por isso, a conservação das nascentes, a proteção das áreas de recarga e o uso racional da água tornam-se temas centrais tanto para o planejamento territorial quanto para as ações de educação ambiental.

Inserido numa faixa de transição climática entre o Agreste e o Sertão, apresentando assim uma grande diversidade na sua paisagem. A Cobertura vegetal é formada por espécies arbóreas e herbáceas do Bioma Caatinga. Ao longo do processo histórico de ocupação, a cobertura vegetal original foi quase integralmente substituída por pastagens, configurando uma das maiores proporções de área destinada à pecuária no

Estado, superada apenas pelo Agreste Central. Essa dinâmica molda tanto a organização produtiva quanto os desafios ambientais enfrentados pelos municípios do território.

A pecuária constitui a atividade econômica dominante, exercendo papel central na geração de renda e na estruturação do uso do solo, o que posiciona o Médio Sertão como o quarto maior território em participação dessa atividade no Estado. O predomínio de pastagens, associado a práticas de manejo nem sempre adequadas, contribui para processos de degradação do solo, redução da cobertura vegetal da Caatinga e aumento da vulnerabilidade ambiental, especialmente em períodos de estiagem prolongada.

Observa-se a presença de pequenos centros urbanos, com destaque para a feira semanal como principal atividade comercial sobressaindo os centros urbanos de Nossa Senhora de Dores e Aquidabã. Registre-se ainda uma expressiva presença de produção artesanal no território e uma reduzida presença de instituições culturais.

O Médio Sertão abriga sete projetos de assentamento rural, nos quais a produção agropecuária de base familiar desempenha papel relevante na segurança alimentar e na permanência das populações no campo. Esses espaços concentram desafios relacionados à assistência técnica, ao acesso a tecnologias apropriadas e à adoção de práticas conservacionistas, mas também representam oportunidades para a difusão de estratégias de convivência com o semiárido e valorização de saberes locais.

Do ponto de vista socioeconômico, o território apresenta a menor participação no Produto Interno Bruto estadual em 2023, refletindo limitações estruturais e reduzida capacidade fiscal dos municípios. Essa condição reforça a importância da atuação do Estado como articulador de políticas públicas integradas, capazes de fortalecer capacidades locais, reduzir vulnerabilidades socioambientais e apoiar trajetórias de desenvolvimento compatíveis com os limites ambientais do território.

Nesse contexto, a educação ambiental no Médio Sertão Sergipano deve dialogar diretamente com a realidade produtiva e climática da região, abordando temas como manejo sustentável de pastagens, conservação da Caatinga, prevenção de queimadas, uso eficiente da água e recuperação de áreas degradadas. A articulação entre escolas, associações comunitárias, assentamentos rurais, serviços de assistência técnica e órgãos públicos amplia o alcance das ações educativas e contribui para a construção de soluções coletivas.

1.5.8 SUL SERGIPANO

O Sul Sergipano concentra uma das combinações mais dinâmicas entre densidade populacional, diversidade produtiva e complexidade ambiental no Estado. Apresenta uma ocupação historicamente consolidada, fortemente apoiada no Bioma Mata Atlântica e em seus ecossistemas associados, cuja presença ainda estrutura a paisagem e condiciona os usos do solo.

Nesse contexto, destaca-se a Área de Proteção Ambiental (APA) Litoral Sul, unidade de conservação estadual que desempenha papel estratégico na proteção de ecossistemas costeiros sensíveis, como restingas e manguezais. A APA abrange os municípios de Estância, Santa Luzia do Itanhy e Indiaroba, integrantes do Território Sul Sergipano, além de Itaporanga D'Ajuda, pertencente ao Território da Grande Aracaju, configurando-se como importante instrumento de ordenamento ambiental e de conservação da biodiversidade costeira regional.

A economia regional revela um perfil multifacetado, no qual atividades tradicionais, industriais, agrícolas e comerciais coexistem e se retroalimentam. O território figura entre os quatro de maior participação no Produto Interno Bruto estadual, resultado de uma base produtiva diversificada que inclui indústrias da construção civil, do setor cerâmico, do vestuário e acessórios, além do segmento de alimentos e bebidas. A presença da distribuidora de energia SULGIPE, instalada no município de Estância, reforça a relevância econômica do território e sua inserção estratégica na malha produtiva estadual, em articulação com outras atividades que estruturam a dinâmica regional.

A produção agrícola mantém papel estruturante na economia do Sul Sergipano, pois reúne municípios com expressivo desempenho na fruticultura estadual, como Cristinápolis, maior produtor de laranja de Sergipe e segundo colocado na produção de tangerina, e Itabaianinha, que ocupa a segunda posição na produção de laranja e a quarta na de tangerina. Estância também se destaca, liderando a produção estadual de melancia e entre os principais produtores de coco-da-baía.

Além dos perfis industrial e agrícola, o território abriga práticas tradicionais fortemente associadas aos ecossistemas costeiros, que desempenham papel relevante na economia local, na segurança alimentar e na manutenção dos modos de vida locais. Em localidades como Porto do Mato, Ribuleirinha e Manoel Dias, a pesca artesanal, a mariscagem e o extrativismo costeiro constituem atividades historicamente consolidadas. As marisqueiras, em especial, exercem papel central nesse contexto, atuando na coleta de mariscos, crustáceos e moluscos em áreas de manguezal, atividade que demanda

conhecimento aprofundado dos ciclos naturais, das marés e da dinâmica dos ecossistemas. Esse trabalho, majoritariamente feminino, assegura a subsistência de inúmeras famílias, contribui para a circulação de renda no território e preserva saberes tradicionais transmitidos entre gerações.

De forma complementar, a coleta da mangaba, fruto emblemático de Sergipe, configura-se como importante atividade extrativista, também tradicionalmente desempenhada por mulheres. Para além da coleta, essas trabalhadoras atuam na transformação do fruto em doces, geleias, licores e outros produtos, agregando valor à produção e fortalecendo redes comunitárias. O reconhecimento dessas práticas por meio de políticas públicas recentes evidencia sua relevância socioeconômica, cultural e ambiental, bem como a necessidade de integrá-las às ações de educação ambiental, conservação dos ecossistemas costeiros e promoção do desenvolvimento territorial.

Ainda no contexto costeiro, destaca-se a expansão da carcinicultura no território, atividade de relevância econômica, porém marcada por desafios significativos do ponto de vista ambiental e social. A implantação de empreendimentos de criação de camarão, em diversos casos, tem ocorrido de forma inadequada, com pressão sobre os recursos hídricos, alteração da dinâmica dos ecossistemas estuarinos e conflitos com atividades tradicionais que dependem diretamente da qualidade ambiental para sua subsistência, como a pesca artesanal e a mariscagem. O lançamento de efluentes, a supressão de áreas de manguezal e o uso intensivo da água configuram riscos à integridade ambiental e à segurança alimentar das comunidades locais, reforçando a necessidade de ações educativas, de fiscalização e de ordenamento territorial que promovam práticas mais responsáveis e compatíveis com a conservação dos ecossistemas costeiros.

O território é composto pelos municípios de Arauá, Boquim, Cristinápolis, Estância, Indiaroba, Itabaianinha, Pedrinhas, Salgado, Santa Luzia do Itanhy, Tomar do Geru e Umbaúba, cujas dinâmicas locais expressam diferentes graus de urbanização, especialização produtiva e pressão sobre os recursos naturais. A intensificação do uso do solo, associada à expansão agrícola, à atividade industrial e à ocupação urbana, amplia os desafios relacionados à conservação ambiental, ao manejo sustentável dos recursos hídricos e à proteção dos remanescentes de Mata Atlântica.

Nesse cenário, a educação ambiental assume papel estratégico ao articular produção, conservação e qualidade de vida. As ações educativas no Território Sul Sergipano precisam dialogar com o cotidiano dos produtores rurais, trabalhadores industriais e comunidades tradicionais, incorporando temas como uso racional do solo e da água, manejo de resíduos, prevenção de impactos ambientais e adaptação às mudanças

climáticas. Ao reconhecer a diversidade produtiva e social do território, a educação ambiental contribui para fortalecer práticas mais sustentáveis e para qualificar a participação social na construção de um desenvolvimento territorial mais equilibrado.

1.6 CENÁRIO ATUAL DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

A educação ambiental está presente em todos os municípios sergipanos, em virtude das diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Educação Ambiental e pela Política Estadual de Educação Ambiental. Entretanto, observa-se a existência de diferentes níveis de institucionalização e maturidade das ações municipais, variando desde iniciativas pontuais, muitas vezes concentradas no ambiente escolar, até políticas públicas estruturadas, com órgãos ambientais definidos, conselhos ativos e programas permanentes.

No âmbito institucional, observa-se que os municípios sergipanos apresentam diferentes arranjos administrativos para a gestão ambiental, que influenciam diretamente a capacidade de implementação das ações de educação ambiental e climática. Para fins de planejamento e implementação do PEACP/SE, os municípios foram agrupados segundo níveis indicativos de institucionalização da educação ambiental, conforme caracterização a seguir (Quadro 2):

Quadro 2: Critérios para classificação do nível de institucionalização da educação ambiental nos municípios

NÍVEL DE INSTITUCIONALIZAÇÃO	CARACTERIZAÇÃO INSTITUCIONAL	DIRETRIZES ORIENTADORAS PARA APOIO TÉCNICO ESTADUAL
Alto	Secretarias ambientais estruturadas, conselhos ativos, programas contínuos	Campanhas territoriais estruturadas; capacitação continuada; materiais educativos padronizados; educomunicação e atuação como polos regionais
Médio	Estruturas ambientais integradas ou em consolidação	Apoio à capacitação técnica; fornecimento de metodologias e materiais padronizados; estímulo à institucionalização progressiva da educação ambiental e climática; apoio à formalização de instâncias específicas
Inicial	Atuação pontual ou setorial; ausência de política estruturada	Indução institucional; assessoria técnica direta; apoio à elaboração de normativas municipais; formação básica em educação ambiental e climática; estímulo à adesão a consórcios intermunicipais e a programas estaduais e federais

Fonte: Elaboração Própria (FIA).

Essa diversidade institucional reflete desigualdades de capacidade técnica, administrativa e financeira entre os municípios, exigindo do Estado uma atuação indutora, articuladora e diferenciada, de modo a garantir a efetividade do PEACP/SE em todo o território sergipano.

Considerando essas assimetrias, o PEACP/SE adota o princípio do apoio técnico diferenciado, orientando a implementação das ações educativas e de conscientização pública conforme o nível de estrutura administrativa e institucional de cada município. Para os municípios com secretaria exclusiva de meio ambiente, o plano prioriza a execução descentralizada das ações, o fortalecimento das equipes técnicas locais, a integração entre educação ambiental e políticas climáticas municipais e a ampliação de campanhas territoriais estruturadas.

Nos municípios com secretarias integradas ou órgãos ambientais vinculados, o PEACP/SE direciona ações voltadas à capacitação técnica, ao apoio metodológico, à produção de materiais educativos padronizados e ao estímulo à formalização de instâncias específicas de educação ambiental e climática, fortalecendo gradualmente a governança local.

Para os municípios com estrutura institucional inicial, caracterizada pela atuação por meio de diretorias, coordenações ou setores, o plano estabelece estratégias de indução e fortalecimento institucional, incluindo assessoria técnica para criação ou consolidação de estruturas ambientais, apoio à elaboração de normativas municipais, oferta de formações continuadas e estímulo à participação em consórcios intermunicipais, redes de cooperação e programas estaduais e federais. Nesse contexto, poderão ser articuladas iniciativas de apoio técnico e capacitação vinculadas a programas nacionais e estaduais de adaptação e resiliência climática, como o Programa Adapta Cidades, entre outros instrumentos disponíveis.

Essa abordagem diferenciada assegura maior equidade na implementação do PEACP/SE, reconhecendo as especificidades locais, respeitando a autonomia municipal e promovendo o fortalecimento progressivo da gestão ambiental e da educação climática em todos os municípios do Estado de Sergipe. Nesse contexto, o Quadro 2 apresenta a organização dos municípios por Território de Planejamento, a partir da tipologia institucional da gestão ambiental adotada como referência para fins de planejamento e definição de diretrizes de apoio técnico no âmbito do PEACP/SE (Quadro 3).

Quadro 3: Distribuição dos municípios por Território de Planejamento segundo tipologia institucional adotada para fins de planejamento do PEACP/SE

TERRITÓRIO DE PLANEJAMENTO	NÍVEL	MUNICÍPIOS
Grande Aracaju	Alto	Aracaju; Barra dos Coqueiros; Nossa Senhora do Socorro; São Cristóvão
Baixo São Francisco	Médio	Propriá; Neópolis
	Inicial	Amparo de São Francisco; Canhoba; Cedro de São João; Ilha das Flores; Santana do São Francisco; Telha
Leste Sergipano	Médio	Laranjeiras; Carmópolis; Capela
	Inicial	Divina Pastora; General Maynard; Japaratuba; Japoatã; Maruim; Pirambu; Rosário do Catete; Santa Rosa de Lima; Santo Amaro das Brotas; Siriri
Agreste Central	Alto	Itabaiana
	Inicial	Campo do Brito; Frei Paulo; Macambira; Malhador; Moita Bonita; Ribeirópolis; São Domingos
Centro-Sul Sergipano	Alto	Lagarto; Simão Dias; Tobias Barreto
	Médio	Boquim; Salgado
	Inicial	Riachão do Dantas; Pedrinhas; Tomar do Geru
Sul Sergipano	Alto	Estância
	Médio	Itaporanga d'Ajuda; Umbaúba
	Inicial	Arauá; Cristinápolis; Indiaroba; Santa Luzia do Itanhy
Alto Sertão Sergipano	Médio	Canindé de São Francisco; Porto da Folha; Nossa Senhora da Glória
	Inicial	Poço Redondo; Monte Alegre de Sergipe; Gararu
Médio Sertão Sergipano	Inicial	Nossa Senhora das Dores; Cumbe; Feira Nova; Graccho Cardoso; Nossa Senhora Aparecida; São Miguel do Aleixo

Fonte: Elaboração Própria (FIA).
*Os municípios foram organizados segundo o tipo de estrutura institucional formal existente para a gestão ambiental. Essa tipologia não constitui avaliação de desempenho, maturidade ou efetividade das políticas municipais, sendo utilizada exclusivamente como instrumento orientador para a definição de diretrizes de apoio técnico, indução institucional e articulação intergovernamental, podendo ser atualizada a partir de validação documental e diálogo com os entes municipais.

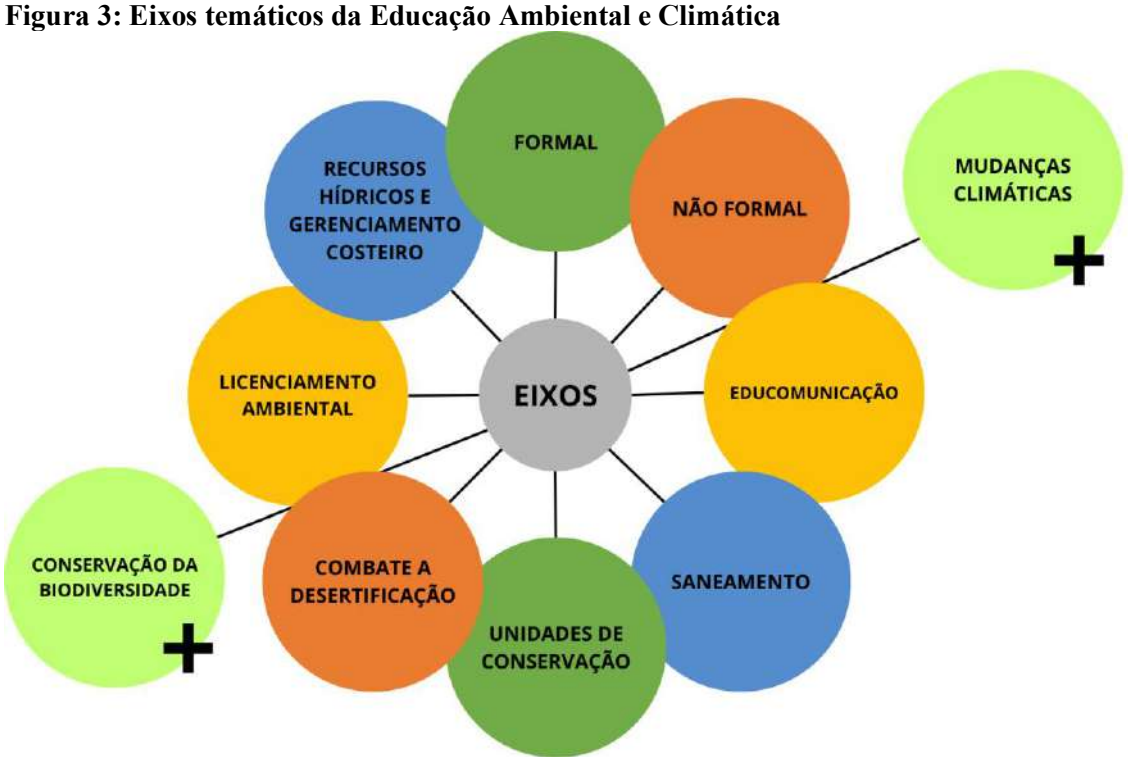
7. EIXOS TEMÁTICOS E DIRETRIZES DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Os eixos temáticos constituem a base estruturante do Plano Estadual de Educação Ambiental Climática de Sergipe (PEACP/SE), orientando a organização das ações, programas e estratégias educativas que deverão ser implementadas nos diversos territórios do Estado. Esses eixos atualizam e ampliam a estrutura originalmente estabelecida no Plano Estadual de Educação Ambiental (PlanEA/2022), preservando sua coerência metodológica, seu caráter participativo e seu alinhamento às políticas públicas de educação ambiental.

O Plano Estadual de Educação Ambiental, estabeleceu sua estrutura inicial a partir de oito eixos temáticos que orientam a implementação de ações educativas no Estado. Esses eixos permanecem como referência fundamental para a atualização deste plano. Contudo, a publicação da Lei nº 14.926, de 2024, incorporou a dimensão climática à Política Nacional de Educação Ambiental, tornando obrigatória a inclusão da educação para as mudanças climáticas nos processos educativos formais e não formais em todo o território nacional.

Soma-se a isso a instituição da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas de Sergipe (Lei nº 9.364, de 2024), que estabelece a educação, a comunicação e a pesquisa como instrumentos centrais da ação climática estadual. Nesse contexto, o presente plano amplia os eixos temáticos existentes e incorpora dois novos eixos estruturantes, essenciais para responder às demandas contemporâneas da gestão ambiental e climática (Figura 3):

Figura 3: Eixos temáticos da Educação Ambiental e Climática



Fonte: Elaboração Própria (FIA).

A inclusão dos novos eixos apresenta relação direta com a promulgação da Lei Estadual n° 9.364, de 2024, que instituiu a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas – PEMC/SE. Em seu art. 31, a referida lei estabelece a competência do Poder Público Estadual em realizar programas e ações de educação ambiental que abordem as seguintes temáticas (SERGIPE, 2024):

I. causas e impactos da mudança do clima;

II. vulnerabilidades do Estado de Sergipe e de sua população;

III. medidas de mitigação do efeito estufa;
IV. adaptação às mudanças do clima;
V. preservação ambiental;
VI. oceano e gestão costeira;
VII. semiárido e desertificação; e
VIII. urbanismo eficiente e sustentável.

Por meio do acréscimo dos eixos “Conservação Ambiental” e “Mudanças Climáticas” será possível abranger integralmente as temáticas exigidas pela PEMC/SE, que já haviam sido incorporadas de maneira parcial no PlanEA.

1.7 EDUCAÇÃO AMBIENTAL FORMAL

A Educação Ambiental Formal constitui um dos pilares mais estratégicos para a construção de sociedades sustentáveis, pois é na escola que se formam as bases do pensamento crítico, da responsabilidade cidadã e da compreensão dos vínculos entre sociedade, natureza e clima. A Constituição Federal determina que o Poder Público deve promover a Educação Ambiental em todos os níveis de ensino (BRASIL, 1988), reforçando o papel central das instituições educacionais na preparação dos estudantes para enfrentar os desafios socioambientais contemporâneos.

No ambiente escolar, a Educação Ambiental não se limita à transmissão de conteúdos, ela estimula valores, atitudes e competências que acompanham o indivíduo ao longo de toda a vida. As escolas desempenham um papel estratégico ao aproximar ciência, território e realidade social, possibilitando que estudantes compreendam os problemas ambientais a partir de suas próprias comunidades. Esse processo fortalece o protagonismo estudantil, incentiva o cuidado com o patrimônio natural e amplia a capacidade coletiva de tomada de decisão.

No entanto, muitos professores ainda enfrentam dificuldades para trabalhar a temática de forma interdisciplinar e sistêmica, seja pela falta de formação continuada específica, seja pela sobrecarga de demandas pedagógicas ou pela ausência de materiais adequados. Por isso, o fortalecimento da Educação Ambiental Formal passa necessariamente pela valorização da prática docente, pela oferta de capacitações consistentes e pela criação de metodologias que facilitem a integração da temática ambiental aos diferentes componentes curriculares.

A formação ambiental deve alcançar crianças, jovens e adultos, respeitando suas realidades, ritmos e contextos. Na educação básica, fortalece o pensamento crítico. No

ensino técnico e profissionalizante, amplia competências para uma economia verde. No ensino superior, fomenta pesquisa, inovação e atuação profissional responsável. Em todas essas etapas, a escola atua como força transformadora, capaz de converter conhecimento em ação, e ação em mudança cultural duradoura.

Assim, a Educação Ambiental Formal é compreendida como um espaço privilegiado para desenvolver habilidades socioambientais, promover a participação cidadã e preparar a população sergipana para compreender e agir frente às mudanças climáticas, à perda da biodiversidade e aos desafios socioambientais que marcam o século XXI.

Considerando a diversidade sociocultural, econômica e ambiental dos oito territórios de planejamento, o PEACP/SE organiza suas ações de Educação Ambiental Formal de maneira territorializada, assegurando que a implementação das ações considere as particularidades socioambientais de cada região do Estado de Sergipe. O Quadro 4, inserido a seguir, apresenta a estrutura de planejamento por território, orientando a execução das ações em horizontes de curto, médio e longo prazo e oferecendo um instrumento de gestão que apoia escolas, gestores e instituições parceiras na efetivação da Educação Ambiental Formal em Sergipe.

Quadro 4. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental Formal

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental Formal		
DIRETRIZ – Fortalecer a inserção transversal da Educação Ambiental nas instituições de ensino do território, integrando normativas ambientais, práticas pedagógicas sustentáveis e protagonismo estudantil, de modo a consolidar a escola como espaço estratégico de formação socioambiental.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Coleta seletiva efetiva nas escolas: • Realizar palestras e oficinas para estudantes e funcionários sobre a separação correta; • Avaliar a produção de resíduos por tipo; • Instalação de lixeiras padronizadas (cores e símbolos) e pontos de coleta centralizados; • Estabelecer convênios com cooperativas de catadores ou empresas de reciclagem para a retirada regular.	Promover a educação ambiental integrada na escola, envolvendo estudantes e comunidade, por meio da coleta seletiva.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas unidades escolares públicas e privadas do Território Agreste Central. A implantação ocorrerá inicialmente em escolas-piloto, selecionadas a partir de critérios como localização, número de alunos, infraestrutura e interesse da gestão escolar, sendo posteriormente ampliada para as demais unidades da rede. **Metodologia** • Serão realizadas, em cada escola participante, no mínimo 2 palestras educativas e 2 oficinas práticas sobre separação de resíduos; • Serão instaladas lixeiras padronizadas em áreas comuns das unidades participantes; • Serão firmados convênios com, no mínimo, 1 cooperativa de catadores ou empresa de reciclagem, assegurando a retirada periódica dos resíduos recicláveis; • A meta é alcançar 100% das unidades escolares do território com coleta seletiva em funcionamento regular. **Prazo**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: implantação em pelo menos 30% das escolas; • 12 meses: expansão para 70% das escolas; • 36 meses: cobertura de 100% das unidades escolares.
Formação de professores da rede estadual para inserção da Educação Ambiental no Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas, assegurando a inserção curricular do tema.	Capacitar professores para o desenvolvimento das ações de Educação Ambiental pertinente ao Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas da rede estadual.	**Espaço** Espaço virtual (Educação a Distância – EAD), com encontros presenciais semestrais para o Território. **Metodologia** • Os cursos deverão possuir 40h, sendo denominados "Educação para as Mudanças Climáticas"; • Os cursos serão ofertados continuamente, sendo admitidos 200 professores por semestre. **Metodologia** A formação será estruturada em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos da Educação Ambiental e sua dimensão político-pedagógica; • Integração da Educação Ambiental no currículo e no PPP; • Metodologias pedagógicas. **Prazo** • 6 meses: Planejamento da formação, elaboração de conteúdos e materiais didáticos, articulação institucional e mobilização dos gestores; • 12 meses: iniciar a oferta dos cursos de capacitação;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 48 meses: Capacitar, no mínimo, 2.000 professores da rede estadual, o que representa ¼ da rede estadual.
Inserção da Educação Ambiental nos Projetos Político Pedagógicos – PPP das escolas da rede estadual, em observância às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe.	Inserir temáticas de educação ambiental no cotidiano escolar, assegurando uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para o Estado de Sergipe.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de Ensino Fundamental e Médio da rede estadual. **Premissas:** • Interdisciplinariedade entre matérias: inserção da educação ambiental em todas as disciplinas; • Contextualização local: uso de dados contextualizados para o Estado de Sergipe e o Território de referência; • Educação Socioambiental Crítica: reforçar a reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação. **Metodologia** • Inserção de temáticas ambientais em todas as disciplinas, setorizando por nível de ensino: o Ensino Médio – Ciência do Clima (Modelagem climática), Acordo de Paris e políticas climáticas, transição energética, agricultura sustentável, cidades resilientes, ética ambiental e justiça climática, protagonismo juvenil em ações climáticas; o Ensino Fundamental II (6° ao 9° ano): Efeito estufa e aquecimento global; causas e consequências das Mudanças

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Climáticas; Impactos no Nordeste em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura); conceitos de mitigação e adaptação, energia renovável e economia circular; o Ensino Fundamental I (1° ao 5° ano): Clima e tempo, ciclo da água, importância das florestas e da biodiversidade, consumo consciente, práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico. • Criar biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts e aplicativos educacionais; • Desenvolver Projetos Escolares: projetos escolares relacionados a clima, como hortas comunitárias, compostagem, eficiência energética, arborização, coleta seletiva e monitoramento meteorológico; • Desenvolvimento de materiais didáticos, incluindo: o Cadernos temáticos para professores e estudantes (Ensino Fundamental I, II e Médio), com atividades práticas, experimentos, jogos e estudos de caso sergipanos; o Produção de vídeos educativos, a serem publicados no YouTube e na Plataforma Clima Transparente. • Criação da Semana do Clima (frequência anual, na primeira semana de junho): realização de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências); **Prazos** • 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental; • 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual; • 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.
Integração da temática climática no Ensino Superior, a partir da realização das seguintes ações: • Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social); • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade; • Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.	Ampliar o conhecimento acerca de temáticas ambientais na formação de profissionais de áreas estratégicas.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas instituições de Ensino Superior (UFS, UNIT e IFSE). Em relação aos grupos de pesquisa, os editais deverão ser disponibilizados pela FAPITEC. **Metodologia** • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social; • Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização. **Prazos** • 6 meses: articulação com as instituições de ensino e pesquisa para assegurar a implementação das ações; • 12 meses: definição do conteúdo programático das disciplinas e cursos de extensão e especialização; • 24 meses: implementar todas as ações previstas neste item.
Criação de projeto “Cidade Arborizada”: • Palestras sobre espécies nativas; • Aquisição ou produção de mudas; • Eventos de plantio envolvendo estudantes e a comunidade em áreas designadas (escolas e espaços públicos); • Criação de um sistema de "Apadrinhamento de Árvores" para garantir o cuidado pós-plantio; • Plantar alimentos nas escolas, criação de hortas nas escolas.	Promover a arborização urbana sustentável e a implantação de hortas escolares, integrando educação ambiental e participação comunitária, visando à melhoria da qualidade ambiental, da biodiversidade e do conforto climático em espaços escolares e públicos.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas escolas e em espaços públicos previamente definidos do Território Agreste Central, envolvendo comunidade escolar, moradores do entorno e instituições parceiras. **Metodologia** • Serão realizadas palestras sobre espécies nativas em no mínimo 50% das escolas participantes; • Serão produzidas ou adquiridas no mínimo 1.000 mudas de espécies nativas e frutíferas por ciclo anual; • Serão realizados eventos de plantio comunitário com a participação das escolas; • Cada área plantada contará com sistema de apadrinhamento para garantir manutenção e monitoramento das mudas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 12 meses: implantação inicial e primeiros eventos de plantio; • 24 meses: ampliação das áreas arborizadas e hortas escolares; • 36 meses: consolidação da arborização e das hortas como ações permanentes.
Resgatar o Programa "Vamos Cuidar do Brasil com as Escolas Sustentáveis" com as práticas: • Olimpíadas ambientais; • Cine ambiental com abordagem as temáticas: água, ar, solo, resíduos sólidos, saneamento, consumo consciente; • Criação de uma premiação para escolas, denominada "Prêmio Escola Sustentável", que visa premiar os projetos escolares previstos no Projeto Político-Pedagógico; • Implementação de calendário com ciclo de palestras com temáticas ambientais para pais de alunos e/ou responsáveis nas unidades de ensino de todos os níveis.	Reconhecer a relevância da disseminação de boas práticas na educação formal em todos os níveis objetivando o efeito multiplicador.	**Espaço** O programa será desenvolvido nas unidades de ensino de todos os níveis do Território Agreste Central, em articulação com universidades, órgãos ambientais e organizações da sociedade civil. **Metodologia** • Será elaborado um calendário semestral de ações ambientais; • Será realizado um Prêmio Escola Sustentável por ano; • Serão realizados 6 ciclos temáticos de palestras por ano, promovido 1 cine ambiental mensal e realizada 1 edição anual das olimpíadas ambientais. **Prazo** O programa será implantado em um ciclo inicial de 36 meses, com avaliação anual e consolidação como política permanente ao final desse período.
Implementação de um setor (área) de coordenação no âmbito das secretarias municipais de meio ambiente para assessorar as escolas com palestras e projetos com profissionais capacitados.	Abranger o escopo de atuação das secretarias de meio ambiente com vistas a dar suporte as instituições de Ensino	**Espaço** O setor será implantado no âmbito das Secretarias Municipais de Meio Ambiente, com atuação direta junto às unidades escolares do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	para implementação eficaz de projetos de cunho ambiental	**Metodologia** • Será criado 1 setor de coordenação ambiental, com equipe técnica própria; • Serão atendidas as unidades escolares, com realização de, no mínimo, 1 ação educativa mensal por escola; • Serão estabelecidas parcerias formais com no mínimo 3 instituições externas. **Prazo** A estruturação do setor ocorrerá em até 6 meses, a implantação plena em 12 meses e a consolidação institucional em até 36 meses
Implementação de cronograma de visitação no período letivo para a realização de aula campo em áreas de preservação ambiental (UCs, Parques, Florestas, RPPNs etc.)	Adotar calendário para realização de aulas de campo em áreas de preservação Ambiental na semana do meio Ambiente.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas unidades escolares do território, com realização de aulas de campo em Unidades de Conservação, parques, florestas, RPPNs e demais áreas de preservação ambiental situadas no município e região, de acordo com a realidade local, considerando fatores climáticos, logísticos e os conteúdos pedagógicos trabalhados em cada etapa de ensino. **Metodologia** • Será elaborado 1 cronograma anual de visitas técnicas por escola, contemplando obrigatoriamente a Semana do Meio Ambiente; • Serão capacitados no mínimo 2 professores e/ou monitores por unidade escolar para condução das aulas de campo;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Serão realizadas aulas de campo das escolas participantes durante o período letivo; • Serão estabelecidos protocolos de parceria com, no mínimo, 1 órgão gestor de Unidade de Conservação, RPPN ou parque ambiental por município, assegurando apoio logístico e pedagógico. **Prazo** • 6 meses: definição dos cronogramas e capacitação inicial das equipes; • 12 meses: realização das primeiras aulas de campo; • 36 meses: consolidação das aulas de campo como prática permanente no currículo escolar.
Disseminação das políticas públicas ambientais no cotidiano das escolas em cumprimento a Política Nacional de Meio Ambiente.	Aplicar de forma efetiva os mecanismos e instrumentos de proteção ao meio ambienta de acordo com a Política Nacional de Meio Ambiente vigente desde 1981.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas em todas as unidades escolares do território, integrando as diretrizes da Política Nacional de Meio Ambiente às práticas pedagógicas e administrativas das instituições de ensino. **Metodologia** • Serão distribuídos materiais informativos oficiais disponíveis nas esferas federal, estadual e municipal nas unidades escolares; • Serão realizadas no mínimo 2 ações formativas por ano em cada escola, abordando os instrumentos e mecanismos da Política

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Nacional de Meio Ambiente e sua aplicação prática no cotidiano escolar. **Prazo** • 6 meses: organização e distribuição dos materiais informativos; • 12 meses: realização das primeiras formações em pelo menos 60% das escolas; • 24 meses: consolidação da aplicação dos conteúdos em 100% das unidades escolares.
Criação de material instrucional como cartilhas, e-books e vídeos sobre o meio ambiente para ser trabalhado com os alunos em todos os níveis da educação formal.	Elaborar instrumentos para a apropriação de conteúdos inerentes às questões ambientais para todos os níveis educacionais.	**Espaço** A produção e utilização dos materiais ocorrerá em todas as unidades da educação formal do território, considerando as especificidades socioculturais e ambientais de cada município, com participação de educadores, técnicos, gestores e demais atores sociais. **Metodologia** • 1 conjunto de cartilhas educativas; • 1 e-book temático; • 2 vídeos educativos; • Os materiais serão utilizados em unidades escolares e adaptados aos diferentes níveis de ensino. **Prazo** • 6 meses: planejamento e definição de conteúdos; • 12 meses: produção dos materiais instrucionais; • 24 meses: distribuição, aplicação em sala de aula e avaliação dos resultados.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental Formal		
DIRETRIZ – Promover a Educação Ambiental no ambiente escolar com foco na convivência com o semiárido, no uso sustentável dos recursos naturais e na valorização dos saberes locais, integrando conteúdos curriculares, projetos pedagógicos e ações formativas para educadores e estudantes.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Palestras “O Rio São Francisco Vivo”: • Desenvolver ações educativas voltadas à valorização e conservação do Rio São Francisco, promovendo o conhecimento sobre sua importância ecológica, cultural e socioeconômica, bem como a conscientização sobre os impactos ambientais e o papel da comunidade escolar na proteção do Velho Chico.	Promover a sensibilização e a educação ambiental da comunidade escolar quanto à importância ecológica, cultural e socioeconômica do Rio São Francisco, estimulando atitudes voltadas à sua conservação e uso sustentável.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas unidades escolares públicas e privadas do Território Alto Sertão, envolvendo estudantes, professores e comunidade escolar. **Metodologia** Serão realizadas, no mínimo, 1 palestra educativas por escola, alcançando as unidades escolares do território, abordando a importância ecológica, cultural e socioeconômica do Rio São Francisco e o papel da comunidade na proteção do Velho Chico. **Prazo** • 6 meses: realização das palestras em pelo menos 50% das escolas; • 12 meses: cobertura de 100% das unidades escolares.
Ações ambientais de extensão com a comunidade: • Promover Feiras de Sustentabilidade; • Mutirões de Limpeza; • Abrir a horta escolar para a visitação e aprendizado de pais e vizinhos;	Fortalecer a educação ambiental e a participação social da comunidade escolar e do entorno, por meio da realização contínua de ações de extensão ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão nas escolas e em espaços comunitários do território, com participação ativa de estudantes, famílias e moradores do entorno. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
• Oferecer oficinas simples sobre compostagem.		• Será estabelecido 01 calendário anual de ações de extensão ambiental em cada escola, incluindo feiras de sustentabilidade, mutirões de limpeza, oficinas de compostagem e abertura da horta escolar à comunidade; • A meta é envolver no mínimo 50% da comunidade escolar em cada unidade. **Prazo** A implantação do calendário ocorrerá em até 6 meses, com execução contínua e avaliação anual ao longo de 36 meses.
Incentivar o reflorestamento (campanhas educativas e incentivo ao plantio): • Realização de oficinas e palestras explicando a importância do reflorestamento; • Mobilização de escolas, associações e produtores rurais para adesão ao plantio; • Produção e distribuição de mudas nativas adequadas ao bioma; • Criação de "dia do plantio" envolvendo estudantes e comunidade;	Campanhas educativas e ações práticas para aumentar áreas verdes, restaurar ecossistemas e reduzir degradação Ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas, rurais e escolares do Território Alto Sertão, com participação das escolas, associações e produtores rurais. **Metodologia** Serão plantadas 5.000 mudas nativas em até 3 anos, com participação das escolas da região, e implantação de sistema de monitoramento das áreas reflorestadas. **Prazo** A execução ocorrerá entre 2026 e 2028, com metas anuais de plantio e acompanhamento contínuo das áreas restauradas.
Arborização das escolas: • Promover a arborização das unidades escolares por meio do plantio de espécies arbóreas nativas para sombreamento e de espécies frutíferas,	Promover a arborização das escolas com espécies nativas para sombreamento e frutíferas, contribuindo para o conforto ambiental e a educação ambiental prática.	**Espaço** As ações serão realizadas nas unidades escolares do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
contribuindo para a melhoria do microclima, o bem-estar da comunidade escolar e o aprendizado prático sobre conservação ambiental, alimentação saudável e biodiversidade.		Será realizado o plantio mínimo de 10 árvores nativas e 05 frutíferas por escola, com criação de programa de monitoramento ambiental e uso pedagógico das áreas arborizadas. **Prazo** A implantação ocorrerá em até 24 meses, com manutenção permanente a partir da conclusão do ciclo de plantio.
Criar espaço nas escolas "cheirinho de mato" para ter contato com a natureza: • Criar espaços nas escolas que promovam o contato direto com a natureza, proporcionando sensações e experiências ligadas ao meio ambiente.	Criar espaços sensoriais nas escolas que favoreçam o contato direto com a natureza, estimulando a percepção ambiente a sensibilização ecológica.	**Espaço** Os espaços serão implantados nas unidades escolares do território. **Metodologia** Será implantado ao menos 1 (um) espaço sensorial por unidade escolar participante, estruturado para abrigar múltiplas experiências sensoriais integradas (plantio, hortas pedagógicas, trilhas interpretativas, canteiros aromáticos e atividades educativas), com participação ativa dos estudantes no planejamento, implantação e uso pedagógico ao longo do ano letivo. **Prazo** A implantação ocorrerá ao longo de 24 meses, com consolidação e manutenção permanente a partir do segundo ano.
Ecoturismo Educativo: • Promover o ecoturismo como ferramenta educativa, sensibilizando alunos e comunidade sobre a importância de preservar os ecossistemas locais.	Ecoturismo como instrumento de educação ambiental, incentivando a valorização e a conservação dos ecossistemas locais.	**Espaço** As atividades ocorrerão em áreas de preservação ambiental do território e municípios do entorno. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Será criado 1 programa de ecoturismo educativo, com realização de 2 visitas semestrais por escola, envolvendo as unidades escolares do território. **Prazo** O programa será implantado em até 12 meses, com execução contínua e avaliação anual por 36 meses.
Resgatar o Programa "Vamos Cuidar do Brasil com as Escolas Sustentáveis" com as práticas: • Olimpíadas ambientais; • Cine ambiental com abordagem as temáticas: água, ar, solo, resíduos sólidos, saneamento, consumo consciente; • Criação de uma premiação para escolas, denominada "Prêmio Escola Sustentável", que visa premiar os projetos escolares previstos no Projeto Político-Pedagógico; • Implementação de calendário com ciclo de palestras com temáticas ambientais para pais de alunos e/ou responsáveis nas unidades de ensino de todos os níveis.	Reconhecer a relevância da disseminação de boas práticas na educação formal em todos os níveis objetivando o efeito multiplicador.	**Espaço** O programa será desenvolvido nas unidades de ensino de todos os níveis do Território Agreste Central, em articulação com universidades, órgãos ambientais e organizações da sociedade civil. **Metodologia** • Será elaborado um calendário semestral de ações ambientais; • Será realizado um Prêmio Escola Sustentável por ano; • Serão realizados 6 ciclos temáticos de palestras por ano, promovido 1 cine ambiental mensal e realizada 1 edição anual das olimpíadas ambientais. **Prazo** O programa será implantado em um ciclo inicial de 36 meses, com avaliação anual e consolidação como política permanente ao final desse período.
Formação de professores da rede estadual para inserção da Educação Ambiental no Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas, assegurando a inserção curricular do tema.	Capacitar professores para o desenvolvimento das ações de Educação Ambiental pertinente ao	**Espaço** Espaço virtual (Educação a Distância – EAD), com encontros presenciais semestrais para o Território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas da rede estadual.	**Metodologia** A formação será estruturada em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos da Educação Ambiental e sua dimensão político-pedagógica; • Integração da Educação Ambiental no currículo e no PPP; • Metodologias pedagógicas. Os cursos deverão: • Possuir 40h, sendo denominados "Educação para as Mudanças Climáticas"; • Ser ofertados continuamente, sendo admitidos 200 professores por semestre. **Prazo** • 6 meses: Planejamento da formação, elaboração de conteúdos e materiais didáticos, articulação institucional e mobilização dos gestores; • 12 meses: iniciar a oferta dos cursos de capacitação; • 48 meses: Capacitar, no mínimo, 2.000 professores da rede estadual, o que representa ¼ da rede estadual.
Inserção da Educação Ambiental nos Projetos Político Pedagógicos – PPP das escolas da rede estadual, em observância às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe.	Inserir temáticas de educação ambiental no cotidiano escolar, assegurando uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para o Estado de Sergipe.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de Ensino Fundamental e Médio da rede estadual. **Premissas:** • Interdisciplinariedade entre matérias: inserção da educação ambiental em todas as disciplinas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Contextualização local: uso de dados contextualizados para o Estado de Sergipe e o Território de referência; • Educação Socioambiental Crítica: reforçar a reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação. **Metodologia** • Inserção de temáticas ambientais em todas as disciplinas, setorizando por nível de ensino: o Ensino Médio – Ciência do Clima (Modelagem climática), Acordo de Paris e políticas climáticas, transição energética, agricultura sustentável, cidades resilientes, ética ambiental e justiça climática, protagonismo juvenil em ações climáticas; o Ensino Fundamental II (6° ao 9° ano): Efeito estufa e aquecimento global; causas e consequências das Mudanças Climáticas; Impactos no Nordeste em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura); conceitos de mitigação e adaptação, energia renovável e economia circular; o Ensino Fundamental I (1° ao 5° ano): Clima e tempo, ciclo da água, importância das florestas e da biodiversidade, consumo consciente,

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico. • Criar biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts e aplicativos educacionais; • Desenvolver Projetos Escolares: projetos escolares relacionados a clima, como hortas comunitárias, compostagem, eficiência energética, arborização, coleta seletiva e monitoramento meteorológico; • Desenvolvimento de materiais didáticos, incluindo: o Cadernos temáticos para professores e estudantes (Ensino Fundamental I, II e Médio), com atividades práticas, experimentos, jogos e estudos de caso sergipanos; o Produção de vídeos educativos, a serem publicados no YouTube e na Plataforma Clima Transparente. • Criação da Semana do Clima (frequência anual, na primeira semana de junho): realização de atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências); **Prazos** • 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual; • 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.
Integração da temática climática no Ensino Superior, a partir da realização das seguintes ações: • Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social); • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade; • Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.	Ampliar o conhecimento acerca de temáticas ambientais na formação de profissionais de áreas estratégicas.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas instituições de Ensino Superior (UFS, UNIT e IFSE). Em relação aos grupos de pesquisa, os editais deverão ser disponibilizados pela FAPITEC. **Metodologia** • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social; • Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano; • Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização. **Prazos** • 6 meses: articulação com as instituições de ensino e pesquisa para assegurar a implementação das ações; • 12 meses: definição do conteúdo programático das disciplinas e cursos de extensão e especialização;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: implementar todas as ações previstas neste item.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental Formal		
DIRETRIZ – Integrar a Educação Ambiental às práticas pedagógicas das escolas ribeirinhas e urbanas, fortalecendo a formação de estudantes e educadores sobre conservação dos recursos hídricos, biodiversidade e sustentabilidade associada ao Rio São Francisco.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Fomentar a Implantação e implementação do Projeto Sala+Verdes nas escolas.	Incentivar a implantação e implementação de espaços para atuarem como centros de informação e formação dos discentes por meio de atividades teóricas/práticas de caráter educacional voltadas para conservação e uso sustentável do meio ambiente.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas unidades escolares do território, com criação ou adequação de espaços físicos para funcionamento das Salas +Verdes. **Metodologia** • Serão implantadas Salas+Verdes em no mínimo 50% das escolas no primeiro ciclo e em 100% das unidades ao final do período; • Serão capacitados 100% dos gestores escolares para condução do projeto; • Cada Sala +Verde deverá ofertar, no mínimo, 4 atividades educativas por ano. **Prazo** • 12 meses: implantação em 50% das escolas; • 36 meses: implantação em 100% das unidades.
Promover maior vivência no contexto da Educação Ambiental através de atividades complementares a educação: • Trilhas interpretativas; • Palestras; • Seminários;	Promover atividades de Educação Ambiental, complementares e integradas ao Currículo Escolar, com ampliação de tempo, espaços e oportunidades de aprendizagem, que visam enriquecer e ampliar a formação	**Espaço** As ações ocorrerão nas escolas, em espaços comunitários e em áreas naturais e unidades de conservação do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
• Oficinas relacionadas ao meio ambiente e relações sociais.	crítica do aluno as questões socioambientais.	• Cada escola deverá realizar, no mínimo, 6 atividades complementares por ano, incluindo trilhas interpretativas, palestras, seminários, oficinas e aulas de campo; • Serão mapeados e viabilizados no mínimo 2 espaços ambientais por município para apoio às atividades educativas. **Prazo** As ações iniciarão em até 6 meses e terão execução contínua com avaliação anual durante 36 meses.
Fomentar Implantação e implementação do Programa A3P – Agenda Ambiental da Administração Pública.	Incentivar a responsabilidade socioambiental por meio de um processo contínuo e progressivo para avanço em direção sustentabilidade das atividades administrativas e operacionais das unidades escolares.	**Espaço** As ações ocorrerão nas unidades escolares e nos setores administrativos do território. **Metodologia** • Serão realizadas campanhas informativas nas escolas; • Serão promovidas 2 formações por ano para gestores escolares sobre práticas de sustentabilidade administrativa; • Cada escola deverá implantar no mínimo 5 práticas sustentáveis relacionadas ao uso de água, energia, papel, resíduos e compras públicas sustentáveis. **Prazo** A implantação ocorrerá ao longo de 24 meses, com avaliação contínua e consolidação do programa como política permanente ao final do período.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Resgatar o Programa “Vamos Cuidar do Brasil com as Escolas Sustentáveis” com as práticas: • Olimpíadas ambientais; • Cine ambiental com abordagem as temáticas: água, ar, solo, resíduos sólidos, saneamento, consumo consciente; • Criação de uma premiação para escolas, denominada “Prêmio Escola Sustentável”, que visa premiar os projetos escolares previstos no Projeto Político-Pedagógico; • Implementação de calendário com ciclo de palestras com temáticas ambientais para pais de alunos e/ou responsáveis nas unidades de ensino de todos os níveis.	Reconhecer a relevância da disseminação de boas práticas na educação formal em todos os níveis objetivando o efeito multiplicador.	**Espaço** O programa será desenvolvido nas unidades de ensino de todos os níveis do Território Agreste Central, em articulação com universidades, órgãos ambientais e organizações da sociedade civil. **Metodologia** • Será elaborado um calendário semestral de ações ambientais; • Será realizado um Prêmio Escola Sustentável por ano; • Serão realizados 6 ciclos temáticos de palestras por ano, promovido 1 cine ambiental mensal e realizada 1 edição anual das olimpíadas ambientais. **Prazo** O programa será implantado em um ciclo inicial de 36 meses, com avaliação anual e consolidação como política permanente ao final desse período.
Formação de professores da rede estadual para inserção da Educação Ambiental no Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas, assegurando a inserção curricular do tema.	Capacitar professores para o desenvolvimento das ações de Educação Ambiental pertinente ao Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas da rede estadual.	**Espaço** Espaço virtual (Educação a Distância – EAD), com encontros presenciais semestrais para o Território. **Metodologia** A formação será estruturada em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos da Educação Ambiental e sua dimensão político-pedagógica; • Integração da Educação Ambiental no currículo e no PPP;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Metodologias pedagógicas. Os cursos deverão: • Possuir 40h, sendo denominados “Educação para as Mudanças Climáticas”; • Ser ofertados continuamente, sendo admitidos 200 professores por semestre. **Prazo** • 6 meses: Planejamento da formação, elaboração de conteúdos e materiais didáticos, articulação institucional e mobilização dos gestores; • 12 meses: iniciar a oferta dos cursos de capacitação; • 48 meses: Capacitar, no mínimo, 2.000 professores da rede estadual, o que representa ¼ da rede estadual.
Inserção da Educação Ambiental nos Projetos Político Pedagógicos – PPP das escolas da rede estadual, em observância às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe.	Inserir temáticas de educação ambiental no cotidiano escolar, assegurando uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para o Estado de Sergipe.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de Ensino Fundamental e Médio da rede estadual. **Premissas:** • Interdisciplinariedade entre matérias: inserção da educação ambiental em todas as disciplinas; • Contextualização local: uso de dados contextualizados para o Estado de Sergipe e o Território de referência; • Educação Socioambiental Crítica: reforçar a reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia • Inserção de temáticas ambientais em todas as disciplinas, setorizando por nível de ensino: o Ensino Médio – Ciência do Clima (Modelagem climática), Acordo de Paris e políticas climáticas, transição energética, agricultura sustentável, cidades resilientes, ética ambiental e justiça climática, protagonismo juvenil em ações climáticas; o Ensino Fundamental II (6° ao 9° ano): Efeito estufa e aquecimento global; causas e consequências das Mudanças Climáticas; Impactos no Nordeste em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura); conceitos de mitigação e adaptação, energia renovável e economia circular; o Ensino Fundamental I (1° ao 5° ano): Clima e tempo, ciclo da água, importância das florestas e da biodiversidade, consumo consciente, práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico. • Criar biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts e aplicativos educacionais; • Desenvolver Projetos Escolares: projetos escolares relacionados a clima, como hortas comunitárias, compostagem, eficiência

TERRITÓRIOS/EIXOS		

		energética, arborização, coleta seletiva e monitoramento meteorológico;
		• Desenvolvimento de materiais didáticos, incluindo:
		  o Cadernos temáticos para professores e estudantes (Ensino Fundamental I, II e Médio), com atividades práticas, experimentos, jogos e estudos de caso sergipanos;
		  o Produção de vídeos educativos, a serem publicados no YouTube e na Plataforma Clima Transparente.
		• Criação da Semana do Clima (frequência anual, na primeira semana de junho): realização de atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências);
		
		Prazos
		• 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental;
		• 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual;
		• 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Integração da temática climática no Ensino Superior, a partir da realização das seguintes ações: • Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social); • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade; • Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.	Ampliar o conhecimento acerca de temáticas ambientais na formação de profissionais de áreas estratégicas.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas instituições de Ensino Superior (UFS, UNIT e IFSE). Em relação aos grupos de pesquisa, os editais deverão ser disponibilizados pela FAPITEC. **Metodologia** • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social; • Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano; • Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização. **Prazos** • 6 meses: articulação com as instituições de ensino e pesquisa para assegurar a implementação das ações; • 12 meses: definição do conteúdo programático das disciplinas e cursos de extensão e especialização; • 24 meses: implementar todas as ações previstas neste item.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental Formal		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
DIRETRIZ – Consolidar a Educação Ambiental no sistema educacional do território por meio da articulação entre escolas, instituições de ensino superior e projetos pedagógicos, promovendo práticas educativas voltadas à sustentabilidade, inovação e desenvolvimento local responsável.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Resgatar o Programa "Vamos Cuidar do Brasil com as Escolas Sustentáveis" com as práticas: • Olimpíadas ambientais; • Cine ambiental com abordagem as temáticas: água, ar, solo, resíduos sólidos, saneamento, consumo consciente; • Criação de uma premiação para escolas, denominada "Prêmio Escola Sustentável", que visa premiar os projetos escolares previstos no Projeto Político-Pedagógico; • Implementação de calendário com ciclo de palestras com temáticas ambientais para pais de alunos e/ou responsáveis nas unidades de ensino de todos os níveis.	Reconhecer a relevância da disseminação de boas práticas na educação formal em todos os níveis objetivando o efeito multiplicador.	**Espaço** O programa será desenvolvido nas unidades de ensino de todos os níveis do Território Agreste Central, em articulação com universidades, órgãos ambientais e organizações da sociedade civil. **Metodologia** • Será elaborado um calendário semestral de ações ambientais; • Será realizado um Prêmio Escola Sustentável por ano; • Serão realizados 6 ciclos temáticos de palestras por ano, promovido 1 cine ambiental mensal e realizada 1 edição anual das olimpíadas ambientais. **Prazo** • O programa será implantado em um ciclo inicial de 36 meses, com avaliação anual e consolidação como política permanente ao final desse período.
Formação de professores da rede estadual para inserção da Educação Ambiental no Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas, assegurando a inserção curricular do tema.	Capacitar professores para o desenvolvimento das ações de Educação Ambiental pertinente ao Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas da rede estadual.	**Espaço** Espaço virtual (Educação a Distância – EAD), com encontros presenciais semestrais para o Território. **Metodologia** A formação será estruturada em módulos teórico-práticos, abordando:

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Fundamentos da Educação Ambiental e sua dimensão político-pedagógica; • Integração da Educação Ambiental no currículo e no PPP; • Metodologias pedagógicas. Os cursos deverão: • Possuir 40h, sendo denominados "Educação para as Mudanças Climáticas"; • Ser ofertados continuamente, sendo admitidos 200 professores por semestre. **Prazo** • 6 meses: Planejamento da formação, elaboração de conteúdos e materiais didáticos, articulação institucional e mobilização dos gestores; • 12 meses: iniciar a oferta dos cursos de capacitação; • 48 meses: Capacitar, no mínimo, 2.000 professores da rede estadual, o que representa ¼ da rede estadual.
Inserção da Educação Ambiental nos Projetos Político Pedagógicos – PPP das escolas da rede estadual, em observância às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe.	Inserir temáticas de educação ambiental no cotidiano escolar, assegurando uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para o Estado de Sergipe.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de Ensino Fundamental e Médio da rede estadual. **Premissas:** • Interdisciplinariedade entre matérias: inserção da educação ambiental em todas as disciplinas; • Contextualização local: uso de dados contextualizados para o Estado de Sergipe e o Território de referência;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Educação Socioambiental Crítica: reforçar a reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação. **Metodologia** • Inserção de temáticas ambientais em todas as disciplinas, setorizando por nível de ensino: o Ensino Médio – Ciência do Clima (Modelagem climática), Acordo de Paris e políticas climáticas, transição energética, agricultura sustentável, cidades resilientes, ética ambiental e justiça climática, protagonismo juvenil em ações climáticas; o Ensino Fundamental II (6° ao 9° ano): Efeito estufa e aquecimento global; causas e consequências das Mudanças Climáticas; Impactos no Nordeste em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura); conceitos de mitigação e adaptação, energia renovável e economia circular; o Ensino Fundamental I (1° ao 5° ano): Clima e tempo, ciclo da água, importância das florestas e da biodiversidade, consumo consciente, práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico.

TERRITÓRIOS/EIXOS		

		• Criar biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts e aplicativos educacionais;
		• Desenvolver Projetos Escolares: projetos escolares relacionados a clima, como hortas comunitárias, compostagem, eficiência energética, arborização, coleta seletiva e monitoramento meteorológico;
		• Desenvolvimento de materiais didáticos, incluindo:
		  o Cadernos temáticos para professores e estudantes (Ensino Fundamental I, II e Médio), com atividades práticas, experimentos, jogos e estudos de caso sergipanos;
		  o Produção de vídeos educativos, a serem publicados no YouTube e na Plataforma Clima Transparente.
		• Criação da Semana do Clima (frequência anual, na primeira semana de junho): realização de atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências);
		
		Prazos
		• 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental;
		• 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.
Integração da temática climática no Ensino Superior, a partir da realização das seguintes ações: • Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social); • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade; • Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.	Ampliar o conhecimento acerca de temáticas ambientais na formação de profissionais de áreas estratégicas.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas instituições de Ensino Superior (UFS, UNIT e IFSE). Em relação aos grupos de pesquisa, os editais deverão ser disponibilizados pela FAPITEC. **Metodologia** • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social; • Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano; • Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização. **Prazos** • 6 meses: articulação com as instituições de ensino e pesquisa para assegurar a implementação das ações; • 12 meses: definição do conteúdo programático das disciplinas e cursos de extensão e especialização; • 24 meses: implementar todas as ações previstas neste item.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Incentivar o reflorestamento: • Realização de oficinas e palestras explicando a importância do reflorestamento; • Mobilização de escolas, associações e produtores rurais para adesão ao plantio; • Produção e distribuição de mudas nativas adequadas ao bioma; • Criação de "dia do plantio" envolvendo estudantes e comunidade.	Campanhas educativas e ações práticas para aumentar áreas verdes, restaurar ecossistemas e reduzir degradação ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas, rurais e escolares do Território Centro Sul, em parceria com associações comunitárias e produtores rurais. **Metodologia** Serão plantadas, de forma gradual, milhares de mudas nativas ao longo de 03 anos, envolvendo escolas, associações e comunidades, com implantação de sistema de monitoramento das áreas reflorestadas. **Prazo** A execução ocorrerá entre 2026 e 2028, com metas anuais de plantio e acompanhamento ambiental.
Arborização das escolas: • Promover a arborização das unidades escolares por meio do plantio de espécies arbóreas nativas para sombreamento e de espécies frutíferas, contribuindo para a melhoria do microclima, o bem-estar da comunidade escolar e o aprendizado prático sobre conservação ambiental, alimentação saudável e biodiversidade.	Promover a arborização das escolas com espécies nativas para sombreamento e frutíferas, contribuindo para o conforto ambiental e a educação ambiental prática.	**Espaço** As ações ocorrerão nas unidades escolares participantes do território. **Metodologia** Cada escola participante deverá realizar o plantio de espécies nativas e frutíferas, adotando como referência mínima 1 (uma) muda arbórea para cada 50 m² de área livre disponível, priorizando áreas de sombreamento e espaços de convivência, com acompanhamento periódico do desenvolvimento das áreas arborizadas. **Prazo** A implantação ocorrerá ao longo de 24 meses, com manutenção permanente a partir da consolidação das áreas plantadas.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
EIXO – Educação Ambiental Formal		
DIRETRIZ – Fortalecer a Educação Ambiental nas redes pública e privada de ensino, integrando temas urbanos, climáticos e socioambientais aos currículos escolares, estimulando o protagonismo juvenil e a articulação interinstitucional no contexto metropolitano.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Incentivar a criação de escolas sustentáveis (currículo/gestão/infraestrutura).	Incidir com práticas sustentáveis e pensamento socioambiental crítico no contexto escolar por meio da promoção de espaços que contem com os recursos materiais e humanos adequados.	**Espaço** As ações ocorrerão nas unidades escolares do território, integrando práticas pedagógicas, administrativas e estruturais. **Metodologia** Serão apoiadas iniciativas de adequação dos projetos pedagógicos, práticas de gestão e melhorias na infraestrutura escolar, com meta de atender progressivamente ao menos 30% das escolas participantes por território, priorizando unidades com maior engajamento institucional e potencial de replicação das experiências. **Prazo** A implantação ocorrerá ao longo de 36 meses, com acompanhamento técnico e avaliação anual dos avanços obtidos.
Incentivar a implantação de Salas Verdes nas escolas.	Contribuir com as discussões da temática socioambiental e cultural nas escolas por meio da implantação de espaços educadores para atuarem como centros de informação e formação ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão nas unidades escolares interessadas do Território Grande Aracaju. **Metodologia** • Serão implantadas Salas + Verdes em no mínimo 50% das escolas no primeiro ciclo e em 100% das unidades ao final do período;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Serão capacitados gestores escolares para condução do projeto; • Cada Sala +Verde deverá ofertar, no mínimo, 4 atividades educativas por ano. **Prazo** O processo de adesão e implantação ocorrerá em até 24 meses, com consolidação e ampliação contínua a partir desse período.
Incentivar o reflorestamento (campanhas educativas e incentivo ao plantio): • Realização de oficinas e palestras explicando a importância do reflorestamento; • Mobilização de escolas, associações e produtores rurais para adesão ao plantio; • Produção e distribuição de mudas nativas adequadas ao bioma; • Criação de "dia do plantio" envolvendo estudantes e comunidade.	Campanhas educativas e ações práticas para aumentar áreas verdes, restaurar ecossistemas e reduzir degradação ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas, periurbanas e rurais do território, envolvendo escolas, associações comunitárias e produtores rurais. **Metodologia** Serão realizadas pelo menos 2 (duas) campanhas educativas, oficinas e eventos de plantio comunitário, com a produção e distribuição anual mínima de 300 (trezentas) mudas nativas por município, adequadas ao bioma local, de forma gradual ao longo do ano, além do acompanhamento técnico periódico das áreas reflorestadas implantadas no âmbito do programa. **Prazo** A execução ocorrerá ao longo de 36 meses, com metas anuais de plantio e avaliação ambiental contínua.
Desenvolver ações educativas voltadas à compreensão da justiça climática, destacando desigualdades socioambientais e impactos diferenciados das mudanças climáticas.	Promover equidade, inclusão social e participação informada nas políticas climáticas.	**Espaço** As ações ocorrerão em comunidades, escolas, espaços institucionais e fóruns participativos. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Serão realizadas no mínimo 2 (duas) oficinas educativas e 1 (uma) campanha temática anual por município, além da promoção de debates públicos voltados à compreensão das desigualdades socioambientais e dos impactos diferenciados das mudanças climáticas. **Prazo** • 6 meses: planejamento das ações educativas; • 12 meses: execução das primeiras atividades; • 24 a 32 meses: ações contínuas e avaliações periódicas.
Serão concedidas bolsas para estudantes do ensino médio, com formação prática em inventários de GEE, cálculo de emissões por fontes e conversão de dados, sob orientação técnica.	Estimular a formação científica e técnica de jovens, promovendo alfabetização climática e qualificação para áreas estratégicas da agenda climática.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de ensino médio, universidades parceiras, laboratórios de informática e espaços institucionais. **Metodologia** Serão concedidas bolsas para estudantes do ensino médio, com formação prática em inventários de GEE, cálculo de emissões por fontes e conversão de dados, sob orientação técnica. **Prazo** • 3 meses: elaboração do edital e seleção dos estudantes; • 6 meses: início das atividades formativas e dos projetos; • 12 meses: continuidade do programa e socialização dos resultados.
Resgatar o Programa “Vamos Cuidar do Brasil com as Escolas Sustentáveis” com as práticas:	Reconhecer a relevância da disseminação de boas práticas na	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
• Olimpíadas ambientais; • Cine ambiental com abordagem as temáticas: água, ar, solo, resíduos sólidos, saneamento, consumo consciente; • Criação de uma premiação para escolas, denominada "Prêmio Escola Sustentável", que visa premiar os projetos escolares previstos no Projeto Político-Pedagógico; • Implementação de calendário com ciclo de palestras com temáticas ambientais para pais de alunos e/ou responsáveis nas unidades de ensino de todos os níveis.	educação formal em todos os níveis objetivando o efeito multiplicador.	O programa será desenvolvido nas unidades de ensino de todos os níveis do Território Agreste Central, em articulação com universidades, órgãos ambientais e organizações da sociedade civil. **Metodologia** • Será elaborado um calendário semestral de ações ambientais; • Será realizado um Prêmio Escola Sustentável por ano; • Serão realizados 6 ciclos temáticos de palestras por ano, promovido 1 cine ambiental mensal e realizada 1 edição anual das olimpíadas ambientais. **Prazo** • O programa será implantado em um ciclo inicial de 36 meses, com avaliação anual e consolidação como política permanente ao final desse período.
Formação de professores da rede estadual para inserção da Educação Ambiental no Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas, assegurando a inserção curricular do tema.	Capacitar professores para o desenvolvimento das ações de Educação Ambiental pertinente ao Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas da rede estadual.	**Espaço** Espaço virtual (Educação a Distância – EAD), com encontros presenciais semestrais para o Território. **Metodologia** A formação será estruturada em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos da Educação Ambiental e sua dimensão político-pedagógica; • Integração da Educação Ambiental no currículo e no PPP;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Metodologias pedagógicas. Os cursos deverão: • Possuir 40h, sendo denominados “Educação para as Mudanças Climáticas”; • Ser ofertados continuamente, sendo admitidos 200 professores por semestre. **Prazo** • 6 meses: Planejamento da formação, elaboração de conteúdos e materiais didáticos, articulação institucional e mobilização dos gestores; • 12 meses: iniciar a oferta dos cursos de capacitação; • 48 meses: Capacitar, no mínimo, 2.000 professores da rede estadual, o que representa ¼ da rede estadual.
Inserção da Educação Ambiental nos Projetos Político Pedagógicos – PPP das escolas da rede estadual, em observância às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe.	Inserir temáticas de educação ambiental no cotidiano escolar, assegurando uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para o Estado de Sergipe.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de Ensino Fundamental e Médio da rede estadual. **Premissas:** • Interdisciplinariedade entre matérias: inserção da educação ambiental em todas as disciplinas; • Contextualização local: uso de dados contextualizados para o Estado de Sergipe e o Território de referência; • Educação Socioambiental Crítica: reforçar a reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia • Inserção de temáticas ambientais em todas as disciplinas, setorizando por nível de ensino: o Ensino Médio – Ciência do Clima (Modelagem climática), Acordo de Paris e políticas climáticas, transição energética, agricultura sustentável, cidades resilientes, ética ambiental e justiça climática, protagonismo juvenil em ações climáticas; o Ensino Fundamental II (6° ao 9° ano): Efeito estufa e aquecimento global; causas e consequências das Mudanças Climáticas; Impactos no Nordeste em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura); conceitos de mitigação e adaptação, energia renovável e economia circular; o Ensino Fundamental I (1° ao 5° ano): Clima e tempo, ciclo da água, importância das florestas e da biodiversidade, consumo consciente, práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico. • Criar biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts e aplicativos educacionais; • Criação da Semana do Clima (frequência anual, na primeira semana de junho): realização de atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências); • Desenvolver Projetos Escolares: projetos escolares relacionados a clima, como hortas comunitárias, compostagem, eficiência energética, arborização, coleta seletiva e monitoramento meteorológico. **Prazos** • 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental; • 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual; • 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.
Integração da temática climática no Ensino Superior, a partir da realização das seguintes ações: • Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social); • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade; • Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável,	Ampliar o conhecimento acerca de temáticas ambientais na formação de profissionais de áreas estratégicas.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas instituições de Ensino Superior (UFS, UNIT e IFSE). Em relação aos grupos de pesquisa, os editais deverão ser disponibilizados pela FAPITEC. **Metodologia** • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.		• Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano; • Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização. **Prazos** • 6 meses: articulação com as instituições de ensino e pesquisa para assegurar a implementação das ações; • 12 meses: definição do conteúdo programático das disciplinas e cursos de extensão e especialização; • 24 meses: implementar todas as ações previstas neste item.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO - Educação Ambiental Formal		
DIRETRIZ – Inserir de forma sistemática a Educação Ambiental nas práticas pedagógicas das escolas do território, com ênfase na conservação da Mata Atlântica, dos ecossistemas costeiros e na valorização da identidade ambiental local.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Difundir boas práticas unindo comunidades, escolas e instituições que desenvolvem e praticam ações ambientais.	Conhecer as ações relevantes na área ambiental praticadas na educação formal em todos os níveis, por escolas, comunidades e instituições locais.	**Espaço** As ações ocorrerão nas escolas, comunidades e instituições locais do território, promovendo a integração entre os diferentes atores sociais envolvidos com a educação e a gestão ambiental. **Metodologia** Serão identificadas, sistematizadas e divulgadas no mínimo 2 (duas) experiências exitosas de educação ambiental por município a cada ano, por meio de ao menos 1 (um) encontro territorial anual, além da

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		produção de publicações institucionais, materiais informativos e divulgação em canais digitais oficiais. **Prazo** • 6 meses: levantamento e mapeamento das boas práticas existentes nos municípios; • 7 a 12 meses; organização dos registros, elaboração de material de divulgação e realização do primeiro encontro territorial de compartilhamento de experiências; • 2 a 3 anos: manutenção anual do processo de difusão, com atualização do banco de práticas e realização de pelo menos 01 encontro anual de intercâmbio de experiências.
Incentivar cursos de formação para Trilheiros de base das comunidades locais a fim de promover a educação formal em espaços não formais.	Formar Trilheiros das comunidades locais, capacitados para realizar a Educação Ambiental em espaços não formais, incentivando a participação individual e coletiva na preservação ambiental	**Espaço** As ações ocorrerão nas comunidades locais e em espaços naturais e educativos do território. **Metodologia** Serão ofertados no território pelo menos 2 (dois) cursos por ano de formação para moradores interessados, formando grupos de trilheiros ambientais comunitários aptos a atuar em atividades de educação ambiental em espaços não formais, trilhas interpretativas e ações de sensibilização. **Prazo** • 6 meses: planejamento do programa de formação, definição de conteúdos e identificação das comunidades participantes;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 7 a 12 meses: realização da 1ª turma de formação de trilheiros; • Ano 2: realização de novas turmas conforme demanda e acompanhamento das ações desenvolvidas pelos trilheiros formados; • Ano 3: consolidação do programa como ação permanente, com avaliações anuais e ajustes metodológicos.
Estimular a utilização pela comunidade escolar de espaços ecopedagógicos nos municípios	Integração e conhecimento da comunidade escolar, dos espaços ecopedagógicos locais.	**Espaço** As ações ocorrerão nos espaços ecopedagógicos existentes nos municípios e nas unidades escolares participantes do território. **Metodologia** As escolas serão estimuladas a incorporar os espaços ecopedagógicos em suas práticas pedagógicas por meio de visitas orientadas, aulas de campo, oficinas e projetos interdisciplinares. **Prazo** • 6 meses: levantamento e mapeamento dos espaços ecopedagógicos existentes nos municípios; • 12 meses: inserção progressiva desses espaços nos planejamentos pedagógicos das escolas participantes; • Ano 2: ampliação do número de escolas utilizando regularmente os espaços ecopedagógicos; • Ano 3: consolidação do uso dos espaços como prática pedagógica contínua.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Estimular eventos como, fórum estadual permanente de Educação Ambiental no dia 05 de junho (dia nacional do meio ambiente)	Estimular eventos como, fórum estadual permanente de Educação Ambiental no dia 05 de junho (dia nacional do meio ambiente)	**Espaço** As ações ocorrerão em âmbito estadual, com participação das escolas, comunidades, instituições públicas e organizações da sociedade civil. **Metodologia** Será promovido anualmente o Fórum Estadual Permanente de Educação Ambiental, com articulação entre os municípios e integração das atividades ao calendário escolar e às ações continuadas de Educação Ambiental. **Prazo** • 6 meses: planejamento e articulação institucional do primeiro fórum; • 12 meses: realização da primeira edição do fórum no dia 05 de junho; • 36 meses: realização anual do fórum, com avaliação e aprimoramento contínuo da programação.
Resgatar o Programa "Vamos Cuidar do Brasil com as Escolas Sustentáveis" com as práticas: • Olimpíadas ambientais; • Cine ambiental com abordagem as temáticas: água, ar, solo, resíduos sólidos, saneamento, consumo consciente; • Criação de uma premiação para escolas, denominada "Prêmio Escola Sustentável", que visa premiar os projetos escolares previstos no Projeto Político-Pedagógico; • Implementação de calendário com ciclo de palestras com temáticas ambientais para pais de	Reconhecer a relevância da disseminação de boas práticas na educação formal em todos os níveis objetivando o efeito multiplicador.	**Espaço** O programa será desenvolvido nas unidades de ensino de todos os níveis do Território Agreste Central, em articulação com universidades, órgãos ambientais e organizações da sociedade civil. **Metodologia** • Será elaborado um calendário semestral de ações ambientais; • Será realizado um Prêmio Escola Sustentável por ano;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
alunos e/ou responsáveis nas unidades de ensino de todos os níveis.		• Serão realizados 6 ciclos temáticos de palestras por ano, promovido 1 cine ambiental mensal e realizada 1 edição anual das olimpíadas ambientais. **Prazo** O programa será implantado em um ciclo inicial de 36 meses, com avaliação anual e consolidação como política permanente ao final desse período.
Formação de professores da rede estadual para inserção da Educação Ambiental no Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas, assegurando a inserção curricular do tema.	Capacitar professores para o desenvolvimento das ações de Educação Ambiental pertinente ao Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas da rede estadual.	**Espaço** Espaço virtual (Educação a Distância – EAD), com encontros presenciais semestrais para o Território. **Metodologia** A formação será estruturada em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos da Educação Ambiental e sua dimensão político-pedagógica; • Integração da Educação Ambiental no currículo e no PPP; • Metodologias pedagógicas. Os cursos deverão: • Possuir 40h, sendo denominados “Educação para as Mudanças Climáticas”; • Ser ofertados continuamente, sendo admitidos 200 professores por semestre. **Prazo** • 6 meses: Planejamento da formação, elaboração de conteúdos e materiais didáticos, articulação institucional e mobilização dos gestores;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: iniciar a oferta dos cursos de capacitação; • 48 meses: Capacitar, no mínimo, 2.000 professores da rede estadual, o que representa ¼ da rede estadual.
Inserção da Educação Ambiental nos Projetos Político Pedagógicos – PPP das escolas da rede estadual, em observância às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe.	Inserir temáticas de educação ambiental no cotidiano escolar, assegurando uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para o Estado de Sergipe.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de Ensino Fundamental e Médio da rede estadual. **Premissas** • Interdisciplinariedade entre matérias: inserção da educação ambiental em todas as disciplinas; • Contextualização local: uso de dados contextualizados para o Estado de Sergipe e o Território de referência; • Educação Socioambiental Crítica: reforçar a reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação. **Metodologia** • Inserção de temáticas ambientais em todas as disciplinas, setorizando por nível de ensino: o Ensino Médio – Ciência do Clima (Modelagem climática), Acordo de Paris e políticas climáticas, transição energética, agricultura sustentável, cidades resilientes, ética ambiental e justiça climática, protagonismo juvenil em ações climáticas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		○ Ensino Fundamental II (6° ao 9° ano): Efeito estufa e aquecimento global; causas e consequências das Mudanças Climáticas; Impactos no Nordeste em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura); conceitos de mitigação e adaptação, energia renovável e economia circular; ○ Ensino Fundamental I (1° ao 5° ano): Clima e tempo, ciclo da água, importância das florestas e da biodiversidade, consumo consciente, práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico. • Criar biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts e aplicativos educacionais; • Desenvolver Projetos Escolares: projetos escolares relacionados a clima, como hortas comunitárias, compostagem, eficiência energética, arborização, coleta seletiva e monitoramento meteorológico; • Desenvolvimento de materiais didáticos, incluindo: ○ Cadernos temáticos para professores e estudantes (Ensino Fundamental I, II e Médio), com atividades práticas, experimentos, jogos e estudos de caso sergipanos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		○ Produção de vídeos educativos, a serem publicados no YouTube e na Plataforma Clima Transparente. • Criação da Semana do Clima (frequência anual, na primeira semana de junho): realização de atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências); **Prazos** • 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental; • 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual; • 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.
Integração da temática climática no Ensino Superior, a partir da realização das seguintes ações: • Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social); • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade;	Ampliar o conhecimento acerca de temáticas ambientais na formação de profissionais de áreas estratégicas.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas instituições de Ensino Superior (UFS, UNIT e IFSE). Em relação aos grupos de pesquisa, os editais deverão ser disponibilizados pela FAPITEC. **Metodologia** • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura,

TERRITÓRIOS/EIXOS		
• Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.		Administração Pública, Direito, Comunicação Social; • Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano; • Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização. **Prazos** • 6 meses: articulação com as instituições de ensino e pesquisa para assegurar a implementação das ações; • 12 meses: definição do conteúdo programático das disciplinas e cursos de extensão e especialização; • 24 meses: implementar todas as ações previstas neste item.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental Formal		
DIRETRIZ – Promover a Educação Ambiental nas instituições de ensino com foco na sustentabilidade no semiárido, no uso racional dos recursos naturais e na formação cidadã, integrando conteúdos curriculares, projetos escolares e capacitação docente.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Inserção de práticas extensionistas – a escola vai à comunidade (consumo consciente água, energia, arborização nativa, coleta seletiva preservação do meio ambiente e da biodiversidade, trilhas interpretativas).	Sensibilizar a comunidade por meio dos alunos como multiplicadores, com o objetivo de conscientizar sobre a importância do meio ambiente	**Espaço** As ações ocorrerão nas unidades escolares e nas comunidades do entorno, abrangendo áreas urbanas e rurais do território. **Metodologia** Serão desenvolvidas ações extensionistas envolvendo temas como consumo consciente de água e energia, arborização nativa, coleta seletiva, preservação do meio

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		ambiente e da biodiversidade e trilhas interpretativas, integradas aos projetos pedagógicos das escolas participantes, com realização periódica de atividades comunitárias ao longo do ano letivo. **Prazo** • 12 meses: planejamento institucional, articulação com comunidades e início das primeiras ações piloto; • 24 meses: ampliação das práticas extensionistas para novas escolas e comunidades do território; • 32 meses: consolidação da ação como política pública educacional de caráter permanente no território.
Criação de calendário para eventos de discussões com temáticas ambientais (palestras, oficinas, mostras, feiras, cine ambiental).	Inserir no currículo escolar as ações de forma programada e continuada de Educação Ambiental norteada pela lei 9.795 (Política Nacional de Educação Ambiental) que traz como princípio a garantia de continuidade e permanência do processo educativo da Educação Ambiental nas instituições de ensino.	**Espaço** As ações ocorrerão nas unidades escolares e em espaços comunitários do território. **Metodologia** Será instituído um calendário anual de eventos ambientais por território, contemplando palestras, oficinas, mostras, feiras, cine ambiental e outras atividades educativas, integradas ao currículo escolar de forma programada e continuada. **Prazo** • 6 meses: elaboração do calendário e inserção no planejamento pedagógico das escolas; • 12 meses: realização do primeiro ciclo anual de eventos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: manutenção e aperfeiçoamento do calendário, com avaliações periódicas e fortalecimento institucional da política de Educação Ambiental.
Resgatar o Programa "Vamos Cuidar do Brasil com as Escolas Sustentáveis" com as práticas: • Olimpíadas ambientais; • Cine ambiental com abordagem as temáticas: água, ar, solo, resíduos sólidos, saneamento, consumo consciente; • Criação de uma premiação para escolas, denominada "Prêmio Escola Sustentável", que visa premiar os projetos escolares previstos no Projeto Político-Pedagógico; • Implementação de calendário com ciclo de palestras com temáticas ambientais para pais de alunos e/ou responsáveis nas unidades de ensino de todos os níveis.	Reconhecer a relevância da disseminação de boas práticas na educação formal em todos os níveis objetivando o efeito multiplicador.	**Espaço** O programa será desenvolvido nas unidades de ensino de todos os níveis do Território Agreste Central, em articulação com universidades, órgãos ambientais e organizações da sociedade civil. **Metodologia** • Será elaborado um calendário semestral de ações ambientais; • Será realizado um Prêmio Escola Sustentável por ano; • Serão realizados 6 ciclos temáticos de palestras por ano, promovido 1 cine ambiental mensal e realizada 1 edição anual das olimpíadas ambientais. **Prazo** O programa será implantado em um ciclo inicial de 36 meses, com avaliação anual e consolidação como política permanente ao final desse período.
Formação de professores da rede estadual para inserção da Educação Ambiental no Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas, assegurando a inserção curricular do tema.	Capacitar professores para o desenvolvimento das ações de Educação Ambiental pertinente ao Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas da rede estadual.	**Espaço** Espaço virtual (Educação a Distância – EAD), com encontros presenciais semestrais para o Território. **Metodologia** A formação será estruturada em módulos teórico-práticos, abordando:

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Fundamentos da Educação Ambiental e sua dimensão político-pedagógica; • Integração da Educação Ambiental no currículo e no PPP; • Metodologias pedagógicas. Os cursos deverão: • Possuir 40h, sendo denominados "Educação para as Mudanças Climáticas"; • Ser ofertados continuamente, sendo admitidos 200 professores por semestre. **Prazo** • 6 meses: Planejamento da formação, elaboração de conteúdos e materiais didáticos, articulação institucional e mobilização dos gestores; • 12 meses: iniciar a oferta dos cursos de capacitação; • 48 meses: Capacitar, no mínimo, 2.000 professores da rede estadual, o que representa ¼ da rede estadual.
Inserção da Educação Ambiental nos Projetos Político Pedagógicos – PPP das escolas da rede estadual, em observância às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe.	Inserir temáticas de educação ambiental no cotidiano escolar, assegurando uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para o Estado de Sergipe.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de Ensino Fundamental e Médio da rede estadual. **Premissas** • Interdisciplinariedade entre matérias: inserção da educação ambiental em todas as disciplinas; • Contextualização local: uso de dados contextualizados para o Estado de Sergipe e o Território de referência;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Educação Socioambiental Crítica: reforçar a reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação. **Metodologia** • Inserção de temáticas ambientais em todas as disciplinas, setorizando por nível de ensino: o Ensino Médio – Ciência do Clima (Modelagem climática), Acordo de Paris e políticas climáticas, transição energética, agricultura sustentável, cidades resilientes, ética ambiental e justiça climática, protagonismo juvenil em ações climáticas; o Ensino Fundamental II (6° ao 9° ano): Efeito estufa e aquecimento global; causas e consequências das Mudanças Climáticas; Impactos no Nordeste em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura); conceitos de mitigação e adaptação, energia renovável e economia circular; o Ensino Fundamental I (1° ao 5° ano): Clima e tempo, ciclo da água, importância das florestas e da biodiversidade, consumo consciente, práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico.

TERRITÓRIOS/EIXOS		

		• Criar biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts e aplicativos educacionais;
		• Desenvolver Projetos Escolares: projetos escolares relacionados a clima, como hortas comunitárias, compostagem, eficiência energética, arborização, coleta seletiva e monitoramento meteorológico;
		• Desenvolvimento de materiais didáticos, incluindo:
		  o Cadernos temáticos para professores e estudantes (Ensino Fundamental I, II e Médio), com atividades práticas, experimentos, jogos e estudos de caso sergipanos;
		  o Produção de vídeos educativos, a serem publicados no YouTube e na Plataforma Clima Transparente.
		• Criação da Semana do Clima (frequência anual, na primeira semana de junho): realização de atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências);
		
		Prazos
		• 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental;
		• 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.
Integração da temática climática no Ensino Superior, a partir da realização das seguintes ações: • Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social); • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade; • Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.	Ampliar o conhecimento acerca de temáticas ambientais na formação de profissionais de áreas estratégicas.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas instituições de Ensino Superior (UFS, UNIT e IFSE). Em relação aos grupos de pesquisa, os editais deverão ser disponibilizados pela FAPITEC. **Metodologia** • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social; • Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano; • Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização. **Prazos** • 6 meses: articulação com as instituições de ensino e pesquisa para assegurar a implementação das ações; • 12 meses: definição do conteúdo programático das disciplinas e cursos de extensão e especialização; • 24 meses: implementar todas as ações previstas neste item.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental Formal		
DIRETRIZ – Fortalecer a Educação Ambiental no ambiente escolar por meio da integração entre currículo, projetos pedagógicos e práticas educativas voltadas à conservação dos ecossistemas costeiros, manguezais e à sustentabilidade territorial.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Fortalecimento de Normativas que formalizem a Educação Ambiental em escolas.	Incentivar a implementação, dentro das instituições públicas de ensino, programas de Educação Ambiental integrados aos componentes curriculares já existentes na escola e promover o conhecimento de professores, alunos, servidores e demais funcionários das instituições de ensino a respeito da existência das normativas que visam a proteção ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão nas instituições públicas e privadas de ensino do território, envolvendo gestores, equipes pedagógicas, professores, servidores e estudantes. **Metodologia** Serão realizadas ao menos 2 (duas) ações anuais de divulgação das normativas ambientais por território, bem como 1 (uma) rodada anual de encontros de orientação técnica com equipes escolares, além da criação de 1 (uma) equipe interinstitucional por território para acompanhar a efetivação das normas, discutir os problemas ambientais locais e apoiar a integração da ética ambiental às práticas pedagógicas. **Prazo** • 6 meses: mobilização institucional, divulgação das normativas e formação da equipe interinstitucional; • 12 meses: realização dos primeiros encontros de orientação e início da incorporação das normativas aos projetos pedagógicos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 32 meses: acompanhamento contínuo da implementação, com avaliações anuais e ajustes nas estratégias.
Intensificar a sensibilização ambiental em todos os setores educacionais públicos ou privados.	Sensibilizar alunos, educadores e servidores a respeito da problemática ambiental e dos possíveis meios de soluções despertar no público escolar um senso crítico construtivo a respeito dos problemas ambientais vigentes, como mudanças climáticas, descarte inadequado dos resíduos sólidos e crise hídrica, de modo a incentivar a democracia e práticas individuais e coletivas desses educadores, alunos, servidores e demais funcionários no seu dia a dia dentro da escola e fora dela.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas públicas e privadas do território e em espaços comunitários vinculados às instituições de ensino. **Metodologia** Serão promovidas no mínimo 4 (quatro) ações anuais por município, entre campanhas educativas, eventos, oficinas, atividades pedagógicas e formações periódicas para educadores, abordando temas como mudanças climáticas, resíduos sólidos, crise hídrica e práticas sustentáveis, envolvendo progressivamente alunos, educadores e servidores. **Prazo** • 6 meses: planejamento das campanhas e definição dos temas prioritários; • 12 meses: realização das primeiras ações de sensibilização; • 24 meses: continuidade das ações, com ampliação do alcance e avaliações anuais de impacto.
Estimular a criação de projetos que tornam o aluno protagonista dos processos ambientais.	O fomento e fortalecimento da integração com a ciência e a tecnologia (PNEA, Art. 5º, VI)	**Espaço** As ações ocorrerão nas unidades escolares e em instituições parceiras do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia Serão incentivados ao menos 3 (três) projetos de protagonismo estudantil por território a cada ano, integrando ciência, tecnologia e cidadania, com apoio técnico de instituições de ensino superior, centros de pesquisa e organizações parceiras. **Prazo** • 12 meses: lançamento dos editais internos de incentivo a projetos escolares; • 24 meses: desenvolvimento dos projetos nas escolas participantes; • 32 meses: socialização dos resultados em eventos territoriais e incorporação das metodologias às práticas pedagógicas.
Promover a implementação de plataformas digitais que divulguem as associações, cooperativas de catadores de material reciclável.	A difusão de conhecimentos, tecnologias e informações sobre a questão ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão nas unidades escolares e nos canais digitais institucionais do território. **Metodologia** Será implantada 1 (uma) plataforma digital integrada em nível estadual, com atualização contínua pelas equipes territoriais, destinada à divulgação das associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis, complementada por ao menos 1 (um) canal institucional em redes sociais por território, para apoio às campanhas educativas e fortalecimento da economia circular.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 6 meses: planejamento da estratégia digital e criação dos canais de comunicação; • 12 meses: início das campanhas de divulgação; • 24 a 32 meses: manutenção e ampliação das ações digitais, com monitoramento dos resultados e ajustes contínuos.
Resgatar o Programa "Vamos Cuidar do Brasil com as Escolas Sustentáveis" com as práticas: • Olimpíadas ambientais; • Cine ambiental com abordagem as temáticas: água, ar, solo, resíduos sólidos, saneamento, consumo consciente; • Criação de uma premiação para escolas, denominada "Prêmio Escola Sustentável", que visa premiar os projetos escolares previstos no Projeto Político-Pedagógico; • Implementação de calendário com ciclo de palestras com temáticas ambientais para pais de alunos e/ou responsáveis nas unidades de ensino de todos os níveis.	Reconhecer a relevância da disseminação de boas práticas na educação formal em todos os níveis objetivando o efeito multiplicador.	**Espaço** O programa será desenvolvido nas unidades de ensino de todos os níveis do Território Agreste Central, em articulação com universidades, órgãos ambientais e organizações da sociedade civil. **Metodologia** • Será elaborado um calendário semestral de ações ambientais; • Será realizado um Prêmio Escola Sustentável por ano; • Serão realizados 6 ciclos temáticos de palestras por ano, promovido 1 cine ambiental mensal e realizada 1 edição anual das olimpíadas ambientais. **Prazo** O programa será implantado em um ciclo inicial de 36 meses, com avaliação anual e consolidação como política permanente ao final desse período.
Formação de professores da rede estadual para inserção da Educação Ambiental no Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas, assegurando a inserção curricular do tema.	Capacitar professores para o desenvolvimento das ações de Educação Ambiental pertinente ao	**Espaço** Espaço virtual (Educação a Distância – EAD), com encontros presenciais semestrais para o Território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	Projeto Político Pedagógico – PPP das escolas da rede estadual.	**Metodologia** A formação será estruturada em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos da Educação Ambiental e sua dimensão político-pedagógica; • Integração da Educação Ambiental no currículo e no PPP; • Metodologias pedagógicas. Os cursos deverão: • Possuir 40h, sendo denominados "Educação para as Mudanças Climáticas"; • Ser ofertados continuamente, sendo admitidos 200 professores por semestre. **Prazo** • 6 meses: Planejamento da formação, elaboração de conteúdos e materiais didáticos, articulação institucional e mobilização dos gestores; • 12 meses: iniciar a oferta dos cursos de capacitação; • 48 meses: Capacitar, no mínimo, 2.000 professores da rede estadual, o que representa ¼ da rede estadual.
Inserção da Educação Ambiental nos Projetos Político Pedagógicos – PPP das escolas da rede estadual, em observância às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e do Currículo do Estado de Sergipe.	Inserir temáticas de educação ambiental no cotidiano escolar, assegurando uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para o Estado de Sergipe.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de Ensino Fundamental e Médio da rede estadual. **Premissas** • Interdisciplinariedade entre matérias: inserção da educação ambiental em todas as disciplinas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Contextualização local: uso de dados contextualizados para o Estado de Sergipe e o Território de referência; • Educação Socioambiental Crítica: reforçar a reflexão sobre causas estruturais, desigualdades, justiça climática e alternativas de transformação. **Metodologia** • Inserção de temáticas ambientais em todas as disciplinas, setorizando por nível de ensino: o Ensino Médio – Ciência do Clima (Modelagem climática), Acordo de Paris e políticas climáticas, transição energética, agricultura sustentável, cidades resilientes, ética ambiental e justiça climática, protagonismo juvenil em ações climáticas; o Ensino Fundamental II (6° ao 9° ano): Efeito estufa e aquecimento global; causas e consequências das Mudanças Climáticas; Impactos no Nordeste em Sergipe (secas, ondas de calor, agricultura); conceitos de mitigação e adaptação, energia renovável e economia circular; o Ensino Fundamental I (1° ao 5° ano): Clima e tempo, ciclo da água, importância das florestas e da biodiversidade, consumo consciente,

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		práticas sustentáveis no cotidiano escolar e doméstico. • Criar biblioteca digital com artigos, infográficos, podcasts e aplicativos educacionais; • Desenvolver Projetos Escolares: projetos escolares relacionados a clima, como hortas comunitárias, compostagem, eficiência energética, arborização, coleta seletiva e monitoramento meteorológico; • Desenvolvimento de materiais didáticos, incluindo: o Cadernos temáticos para professores e estudantes (Ensino Fundamental I, II e Médio), com atividades práticas, experimentos, jogos e estudos de caso sergipanos; o Produção de vídeos educativos, a serem publicados no YouTube e na Plataforma Clima Transparente. • Criação da Semana do Clima (frequência anual, na primeira semana de junho): realização de atividades simultâneas em todas as escolas (palestras, oficinas, exibição de filmes, plantio de árvores, limpeza de praias/rios, feiras de ciências); **Prazos** • 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual; • 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.
Integração da temática climática no Ensino Superior, a partir da realização das seguintes ações: • Estímulo à inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas sobre Mudanças Climáticas em cursos de graduação (Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social); • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade; • Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.	Ampliar o conhecimento acerca de temáticas ambientais na formação de profissionais de áreas estratégicas.	**Espaço** As ações serão desenvolvidas nas instituições de Ensino Superior (UFS, UNIT e IFSE). Em relação aos grupos de pesquisa, os editais deverão ser disponibilizados pela FAPITEC. **Metodologia** • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social; • Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano; • Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização. **Prazos** • 6 meses: articulação com as instituições de ensino e pesquisa para assegurar a implementação das ações; • 12 meses: definição do conteúdo programático das disciplinas e cursos de extensão e especialização;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: implementar todas as ações previstas neste item.
Instituir bolsas de iniciação científica para estudantes do ensino médio, com formação prática em inventários de gases de efeito estufa (GEE), cálculo por fontes emissoras e processos de conversão.	Estimular a formação científica e técnica de jovens, promovendo alfabetização climática e qualificação para áreas estratégicas da agenda climática.	**Espaço** As ações ocorrerão em escolas de ensino médio, universidades parceiras, laboratórios de informática e espaços institucionais. **Metodologia** Serão concedidas no mínimo 6 (seis) bolsas de iniciação científica por território a cada ciclo anual, destinadas a estudantes do ensino médio, com formação prática em inventários de GEE, cálculo de emissões por fontes e conversão de dados, sob orientação técnica. **Prazo** • 3 meses: elaboração do edital e seleção dos estudantes; • 6 meses: início das atividades formativas e dos projetos; • 12 meses: continuidade do programa e socialização dos resultados.

Fonte: Os autores.

1.8 EDUCAÇÃO AMBIENTAL NÃO-FORMAL

A Educação Ambiental Não Formal constitui um campo fundamental para ampliar o alcance das ações educativas e promover a mobilização social em torno das questões ambientais e climáticas. Diferente do ambiente escolar, esse eixo se desenvolve em espaços comunitários, culturais, associativos, institucionais e públicos, alcançando crianças, jovens, adultos e idosos em seus contextos cotidianos. Sua força está na capacidade de dialogar diretamente com a realidade local, valorizar saberes tradicionais, integrar diferentes atores e estimular a participação cidadã na gestão socioambiental do território.

As iniciativas de Educação Ambiental Não Formal em Sergipe têm se consolidado como importantes instrumentos de sensibilização, formação comunitária e difusão do conhecimento ambiental, especialmente em regiões onde a escola não é o principal espaço de educação. Programas como o Dialogar, campanhas do Sergipe Recicla, ações de reflorestamento do Florestar-SE, atividades culturais, oficinas, feiras ambientais, mutirões comunitários e projetos desenvolvidos por associações, ONGs, coletivos e órgãos públicos representam oportunidades de engajamento direto da população em práticas sustentáveis.

Nesse contexto, a Educação Ambiental Não Formal fortalece o vínculo entre políticas públicas e participação social, estimulando comunidades a compreender, discutir e intervir em questões como resíduos sólidos, recursos hídricos, conservação da biodiversidade, adaptação climática, riscos de desastres, desertificação e qualidade de vida. Além disso, contribui para aproximar a ciência do cotidiano, ampliando o acesso à informação ambiental por meio de linguagens simples, interativas e culturalmente adequadas.

Para que esse eixo alcance seu potencial transformador, é essencial promover ações integradas entre governo, escolas, universidades, conselhos, coletivos juvenis, movimentos sociais, associações de moradores e instituições religiosas, fortalecendo redes territoriais de educação ambiental. Também é necessário garantir a continuidade das iniciativas, aprimorar a formação dos agentes comunitários e ampliar o acesso da população a materiais educativos, campanhas, tecnologias sociais, metodologias participativas e espaços de diálogo.

Dessa forma, a Educação Ambiental Não Formal contribui para criar uma cultura de sustentabilidade baseada na corresponsabilidade, no cuidado com o território e na construção coletiva de soluções. Ao alcançar populações diversas e fortalecer o senso de

pertencimento, esse eixo amplia a capacidade da sociedade sergipana de responder às mudanças climáticas, conservar a biodiversidade e enfrentar os desafios socioambientais que marcam o presente e o futuro do Estado.

As diretrizes das ações, objetivos e metas propostas estão sistematizados no Quadro 5, organizado por território de planejamento do Estado de Sergipe, de modo a orientar a implementação da Educação Ambiental Não Formal em cada região, destacando a importância de formular propostas específicas que atendam às particularidades e necessidades locais.

Quadro 5. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental Não-Formal

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental Não Formal		
DIRETRIZ – Fortalecer processos comunitários, econômicos e culturais voltados à sustentabilidade territorial		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Curso de Formação de Educadores Ambientais.	Promover formação inicial e continuada em Educação Ambiental em espaços não formais, visando contribuir para o exercício da cidadania, a conservação dos recursos naturais, a proteção da biodiversidade, as políticas de adaptação e de mitigação das mudanças climáticas, o combate às injustiças ambientais e a melhoria das condições da qualidade de vida das populações envolvidas.	**Espaço** Centros de formação de educadores, espaços não formais de educação (centros comunitários, ONGs, associações, museus, parques e Unidades de Conservação), escolas-polo e auditórios públicos, universidades e institutos de educação e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido ou totalmente online, quando necessário); **Metodologia** Realização inicial de 1 (uma) turma piloto por território no primeiro ciclo anual, com mínimo de 20 (vinte) participantes por turma ou 2 (dois) representantes de cada município do território, e ampliação progressiva para 2 (duas) turmas por território até o segundo ano de execução, conforme capacidade operacional. **Metodologia** O curso será estruturado em módulos teórico-práticos, articulando fundamentos conceituais, marcos legais, políticas públicas, práticas educativas e construção de propostas de intervenção socioambiental. Os conteúdos contemplarão:

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Fundamentos da Educação Ambiental crítica e emancipatória; • Problemática socioambiental contemporânea; • Mudanças climáticas, biodiversidade e justiça ambiental; • Políticas públicas ambientais e educacionais; • Educação Ambiental em espaços formais e não formais; • Interdisciplinaridade e transdisciplinaridade; • Metodologias participativas e projetos socioambientais; • Planejamento, monitoramento e avaliação de ações educativas. **Prazo** • 6 meses: Planejamento pedagógico do curso, definição dos conteúdos, metodologia e equipe formadora, **e**laboração de material didático, articulação institucional e divulgação. • 12 meses: Realização da 1ª edição do curso, acompanhamento inicial das propostas de intervenção socioambiental, avaliação participativa dos resultados e ajustes metodológicos. • 24 meses: Consolidação do curso como programa permanente de formação em Educação Ambiental, ampliação do

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		número de turmas e participantes e fortalecimento das redes locais de educadores ambientais.
Fomentar o turismo ecológico com base comunitária com capacitação de condutores ambientais locais.	Inserir o turismo ecológico de base comunitária como atividade econômica sustentável, promovendo geração de renda, valorização do território e conservação ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão em comunidades rurais, áreas naturais, trilhas ecológicas, unidades de conservação existentes ou propostas, além de espaços comunitários e associações locais do território Agreste Central. **Metodologia** • 4 Capacitações técnicas para condutores ambientais locais; • 4 Oficinas sobre turismo sustentável e educação ambiental; • Ações educativas junto a moradores, associações comunitárias e pequenos empreendedores vinculados ao turismo rural e ecológico. **Prazo** • 6 meses: mapeamento participativo das áreas com potencial turístico e mobilização das comunidades; • 12 meses: realização das primeiras capacitações de condutores ambientais e oficinas comunitárias; • 24 a 32 meses: consolidação dos roteiros ecológicos, acompanhamento técnico e avaliações anuais das atividades.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Plantio de árvores nativas para ampliação de áreas verdes nas cidades, a partir de parcerias com instituições públicas e privadas.	Promover a ampliação das áreas verdes e a recuperação da vegetação nativa, contribuindo para a melhoria do microclima, conservação da biodiversidade e proteção dos recursos hídricos.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas e rurais, incluindo praças públicas, espaços institucionais, margens de cursos d'água, áreas comunitárias e terrenos públicos do território. **Metodologia** No mínimo, 2 Mutirões de plantio de espécies nativas e 4 Campanhas educativas sobre arborização urbana e produção, distribuição e acompanhamento de mudas nativas, envolvendo comunidades, escolas, associações e poder público. **Prazo** • 6 meses: planejamento das ações, definição das áreas prioritárias e produção de mudas; • 12 meses: realização dos primeiros mutirões de plantio; • 24 a 32 meses: manutenção das áreas plantadas, monitoramento e ações educativas continuadas.
Oficinas de redução de resíduos, com foco em embalagens, plásticos e alternativas sustentáveis direcionadas ao comércio e feiras livres.	Reduzir a geração de resíduos sólidos, especialmente embalagens e plásticos, promovendo práticas sustentáveis no comércio local e nas feiras livres.	**Espaço** As ações ocorrerão em feiras livres, mercados públicos, estabelecimentos comerciais, associações de comerciantes e espaços comunitários do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		2 oficinas práticas, campanhas educativas e 4 ações demonstrativas sobre alternativas sustentáveis, reutilização de materiais e redução do uso de plásticos descartáveis, envolvendo comerciantes, feirantes e consumidores. **Prazo** • 6 meses: diagnóstico das principais fontes de resíduos e articulação com comerciantes; • 12 meses: realização das oficinas e campanhas iniciais; • 24 meses: ampliação das ações e avaliação periódica dos resultados.
Fortalecimento da coleta seletiva, com participação ativa dos catadores, promovendo inclusão social e economia circular.	Fortalecer a coleta seletiva no território, promovendo inclusão social, geração de renda e valorização dos catadores como agentes da Política Nacional de Resíduos Sólidos.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas, cooperativas e associações de catadores, pontos de entrega voluntária (PEVs), feiras e espaços institucionais do território. **Metodologia** Será implantado e fortalecido no mínimo 1 (um) Ponto de Entrega Voluntária (PEV) por município, acompanhados de ao menos 2 (duas) campanhas educativas anuais e ações formativas periódicas com catadores, visando ampliar a coleta, a triagem e a destinação ambientalmente adequadas dos materiais recicláveis. **Prazo**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: planejamento, articulação institucional e definição dos locais dos PEVs; • 12 meses: implantação inicial dos PEVs e campanhas educativas; • 24 a 32 meses: ampliação, manutenção e monitoramento contínuo das ações.
Eventos artísticos e interativos (grafite, música, teatro, saraus verdes) atraindo o público jovem para temas ambientais.	Sensibilizar o público jovem para temas ambientais e climáticos por meio da arte, da cultura e da linguagem urbana, estimulando o engajamento, a expressão criativa e o protagonismo juvenil.	**Espaço** Praças públicas, escolas, centros culturais, comunidades urbanas e espaços de convivência juvenil do território. **Metodologia** Serão realizados no mínimo 3 (três) eventos culturais e artísticos por território a cada ano, incluindo grafite ambiental, apresentações musicais, teatro de rua, saraus verdes e intervenções urbanas, integrados a ações educativas e rodas de conversa sobre meio ambiente, clima e cidadania. **Prazo** • 6 meses: articulação com coletivos culturais e planejamento das ações; • 12 meses: realização dos primeiros eventos territoriais; • 24 a 32 meses: consolidação do calendário cultural ambiental anual.
Implementação de pontos de entrega voluntária de resíduos sólidos (eletrônico, material reciclável, óleo comestível, pilhas e baterias) agregando valor	Ampliar a coleta seletiva e valorizar o trabalho dos catadores de materiais recicláveis, utilizando os Pontos de Entrega Voluntária como instrumentos	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
para as cooperativas locais estimulando o protagonismo dos catadores transformando-os em agentes propulsores da Política Nacional de Resíduos Sólidos	permanentes de educação ambiental, inclusão social e fortalecimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos.	Áreas urbanas, praças públicas, equipamentos comunitários, estabelecimentos comerciais e espaços institucionais do território. **Metodologia** Implantação de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) para resíduos recicláveis, eletroeletrônicos, óleo comestível, pilhas e baterias, associada a campanhas educativas, ações de sensibilização da população e parcerias público-privadas para apoio logístico e operacional às cooperativas de catadores. **Prazo** • 6 meses: definição de locais estratégicos e formalização de parcerias; • 12 meses: implantação inicial dos PEVs e início das campanhas educativas; • 24 a 32 meses: ampliação da rede de PEVs e consolidação do protagonismo dos catadores.
Criação de parcerias entre institutos, universidades, ONGs e Unidades de Conservação para projetos de pesquisa e extensão em Educação Ambiental.	Fortalecer a Educação Ambiental por meio da integração entre ensino, pesquisa e extensão, estimulando a produção de conhecimento aplicado e ações educativas em territórios estratégicos.	**Espaço** Institutos de pesquisa, universidades, ONGs, Unidades de Conservação, comunidades do entorno e espaços educativos do território. **Metodologia** Serão formalizadas no mínimo 3 (três) parcerias institucionais ativas por território para desenvolvimento de projetos de pesquisa aplicada, extensão universitária, atividades de campo, ações

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		educativas comunitárias e produção de materiais técnico-pedagógicos em Educação Ambiental. **Prazo** • 6 meses: articulação institucional e definição de linhas prioritárias; • 12 meses: início dos projetos de pesquisa e extensão; • 24 a 32 meses: ampliação, avaliação e sistematização dos resultados.
Criação de redes comunitárias de vigilância ambiental, com apoio das secretarias de meio ambiente.	Fortalecer o monitoramento ambiental participativo e a corresponsabilidade social na proteção dos recursos naturais, ampliando a capacidade das comunidades de identificar, prevenir e comunicar danos ambientais.	**Espaço** Comunidades urbanas, rurais, ribeirinhas e áreas ambientalmente sensíveis do território. **Metodologia** Serão formados ao menos 1 (um) grupo comunitário de vigilância ambiental por município integrante de cada território, com capacitações, apoio técnico das secretarias de meio ambiente, criação de canais de comunicação e realização de ações educativas sobre monitoramento, denúncia e prevenção de danos ambientais. **Prazo** • 6 meses: mobilização comunitária e estruturação das redes; • 12 meses: capacitação inicial e início das ações de vigilância; • 24 a 32 meses: fortalecimento e integração às políticas ambientais locais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Realizar ações educativas voltadas ao ensino e à difusão dos conceitos de mitigação, adaptação, sumidouros de carbono e neutralidade climática para a população em geral.	Garantir compreensão qualificada dos fundamentos da política climática, promovendo participação social informada.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, associações comunitárias, espaços culturais e institucionais do território. **Metodologia** Serão realizadas no mínimo 2 (duas) ações educativas anuais por município, entre oficinas, rodas de conversa, campanhas educativas e eventos culturais abordando mitigação, adaptação, sumidouros de carbono e justiça climática. **Prazo** • 6 meses: desenvolvimento dos conteúdos e metodologias; • 12 meses: realização das primeiras ações; • 24 a 32 meses: continuidade e avaliações anuais.
Desenvolver ações educativas voltadas à compreensão da justiça climática, destacando desigualdades socioambientais e impactos diferenciados das mudanças climáticas.	Promover a compreensão crítica da justiça climática, evidenciando as desigualdades socioambientais e os impactos diferenciados das mudanças climáticas sobre populações vulneráveis, de modo a fortalecer a participação social informada nas políticas climáticas.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, associações comunitárias, movimentos sociais, espaços culturais, instituições públicas e eventos comunitários do território. **Metodologia** Serão realizadas ao menos 2 (duas) ações educativas anuais por território, incluindo oficinas educativas, rodas de diálogo, seminários comunitários e ações de comunicação popular abordando justiça climática, vulnerabilidade

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		socioambiental, racismo ambiental, gênero e clima, com participação de lideranças comunitárias, jovens, mulheres e grupos tradicionais. **Prazo** • 6 meses: planejamento metodológico, definição de públicos prioritários e articulação institucional; • 12 meses: realização das primeiras ações educativas territoriais; • 24 a 32 meses: ampliação, integração às políticas locais e avaliações periódicas.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental Não Formal		
DIRETRIZ – Promover a convivência sustentável com o semiárido e a valorização do bioma Caatinga		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Desenvolver ações educativas voltadas à convivência com o semiárido e valorização do bioma Caatinga, voltadas à conservação do solo, uso racional da água.	Fortalecer práticas sustentáveis de uso do solo e da água adaptadas às condições do semiárido.	**Espaço** Comunidades rurais, assentamentos, associações comunitárias e espaços públicos do território. **Metodologia** Serão realizadas oficinas educativas, palestras comunitárias e ações práticas demonstrativas sobre conservação do solo, captação e uso racional da água. **Prazo** • 6 meses: planejamento e mobilização comunitária;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das primeiras ações; • 24 a 32 meses: continuidade e monitoramento.
Promover práticas educativas sobre conservação da biodiversidade da Caatinga, com ênfase na fauna e flora nativas.	Promover a valorização e conservação da fauna e flora nativas da Caatinga.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas, áreas naturais e espaços comunitários do território. **Metodologia** Serão realizadas campanhas educativas, oficinas temáticas, trilhas interpretativas e eventos comunitários sobre biodiversidade. **Prazo** • 6 meses: elaboração dos materiais educativos; • 12 meses: realização das primeiras ações; • 24 a 32 meses: consolidação das atividades.
Incentivo à criação de programas de conscientização de grandes fazendeiros para produção agroflorestal.	Estimular práticas produtivas sustentáveis por meio da adoção de sistemas agroflorestais.	**Espaço** Propriedades rurais, associações de produtores e espaços institucionais do território. **Metodologia** Serão realizadas oficinas técnicas, encontros formativos e campanhas educativas junto a grandes produtores rurais. **Prazo** • 6 meses: articulação institucional e planejamento; • 12 meses: execução das formações;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: acompanhamento e avaliação.
Criação de fomento para editais que possam beneficiar entidades que desenvolvam projetos de Educação Ambiental por meio de captação de recursos público/privado	Buscar o fomento para criação de editais que possam beneficiar entidades que desenvolvam projetos de Educação Ambiental através da captação de recursos público/privado.	**Espaço** Instituições públicas, organizações da sociedade civil e entidades do território. **Metodologia** Serão estruturados editais e mecanismos de captação de recursos públicos e privados para apoio a projetos socioambientais. **Prazo** • 6 meses: estruturação dos instrumentos; • 12 meses: lançamento dos primeiros editais; • 24 a 32 meses: acompanhamento e novas edições.
Fortalecimento e ampliação do ecoturismo como ferramenta de Educação Ambiental	Utilizar o ecoturismo como instrumento de Educação Ambiental e geração de renda sustentável.	**Espaço** Áreas naturais, comunidades rurais e espaços turísticos do território. **Metodologia** Serão realizadas ações educativas, capacitações e eventos integrando turismo, cultura e conservação ambiental. **Prazo** • 6 meses: planejamento e articulação local; • 12 meses: execução das ações iniciais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: consolidação das iniciativas.
Criação de programas para incentivar a recuperação e a preservação ambiental, a exemplo do pagamento por serviço ambiental (PSA) para o fortalecimento da Educação Ambiental	Incentivar a recuperação e preservação ambiental por meio de instrumentos econômicos, como o Pagamento por Serviços Ambientais, integrando educação ambiental, conservação e valorização dos serviços ecossistêmicos.	**Espaço** Áreas rurais, comunidades tradicionais, áreas de preservação ambiental e propriedades participantes do território. **Metodologia** Estruturação de programas educativos associados ao PSA, incluindo oficinas, capacitações e ações de sensibilização sobre serviços ecossistêmicos, recuperação ambiental e uso sustentável do solo, com participação de produtores, comunidades e gestores públicos. **Prazo** • 6 meses: estudos técnicos e articulação institucional; • 12 meses: implantação piloto dos programas; • 24 a 32 meses: ampliação e consolidação das iniciativas.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental Não Formal		
DIRETRIZ – Fortalecer a relação entre comunidades ribeirinhas, recursos hídricos e sustentabilidade socioambiental		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Educação ambiental voltada à conservação dos recursos hídricos, manguezais e ecossistemas associados ao Rio São Francisco.	Promover a conservação dos recursos hídricos, manguezais e ecossistemas associados ao Rio São Francisco.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, escolas, associações comunitárias e espaços públicos do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia Serão realizadas no mínimo 4 (quatro) ações educativas anuais no território do Baixo São Francisco por ano, incluindo oficinas educativas, palestras comunitárias e campanhas de sensibilização ambiental. **Prazo** • 6 meses: planejamento e mobilização comunitária; • 12 meses: execução das primeiras ações; • 24 a 32 meses: continuidade e avaliações periódicas.
Mutirões comunitários de limpeza de rios e margens.	Reduzir a poluição hídrica e fortalecer o senso de pertencimento das comunidades ribeirinhas.	**Espaço** Margens de rios, igarapés, áreas ribeirinhas e espaços comunitários. **Metodologia** Realização periódica de mutirões de limpeza com participação da comunidade, associações e poder público. **Prazo** • 6 meses: organização logística e articulação; • 12 meses: realização dos primeiros mutirões; • 24 a 32 meses: institucionalização das ações.
Reflorestamento de matas ciliares.	Recuperar áreas degradadas e proteger os corpos hídricos.	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Áreas de preservação permanente, margens do Rio São Francisco e afluentes. **Metodologia** Plantio de mudas nativas e ações educativas integradas às comunidades locais. **Prazo** • 6 meses: produção de mudas e planejamento; • 12 meses: primeiros plantios; • 24 a 32 meses: manutenção e monitoramento.
Formação de agentes ambientais ribeirinhos	Capacitar lideranças comunitárias ribeirinhas para atuação qualificada na proteção ambiental, no monitoramento participativo dos recursos naturais e na difusão de práticas sustentáveis, fortalecendo a educação ambiental comunitária e a governança socioambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão prioritariamente nas comunidades ribeirinhas do território, contemplando associações comunitárias, colônias de pescadores, escolas locais, sedes de organizações sociais e espaços institucionais vinculados às secretarias municipais e estadual de meio ambiente. **Metodologia** • Serão formados no mínimo 30 (trinta) agentes ambientais ribeirinhos por ciclo anual, por meio de cursos de formação teórica e prática abordando conservação dos recursos hídricos, gestão de resíduos, proteção de matas ciliares, educação ambiental comunitária, legislação

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		ambiental básica e vigilância ambiental participativa. • Os agentes formados receberão acompanhamento técnico contínuo, por meio de ao menos 2 (dois) encontros anuais de atualização, oficinas temáticas e suporte institucional, visando fortalecer sua atuação como multiplicadores e articuladores comunitários. **Prazo** • 6 meses: mobilização comunitária, definição dos critérios de seleção e planejamento pedagógico da formação; • 12 meses: realização da formação inicial teórico-prática e início da atuação supervisionada dos agentes ambientais; • 24 a 32 meses: consolidação da atuação continuada, com acompanhamento técnico regular, avaliações periódicas e ajustes nas estratégias de atuação conforme as demandas territoriais.
Cine-debates e rodas de conversa sobre pesca sustentável, resíduos nos rios e adaptação climática.	Promover a reflexão crítica e o diálogo comunitário sobre pesca sustentável, gestão de resíduos sólidos e estratégias de adaptação às mudanças climáticas, fortalecendo o conhecimento socioambiental e a participação informada das comunidades ribeirinhas.	**Espaço** As ações ocorrerão em comunidades ribeirinhas, associações comunitárias, colônias de pescadores, escolas, centros culturais e espaços públicos do território, priorizando localidades diretamente dependentes dos recursos hídricos para subsistência e atividades econômicas. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Serão realizados no mínimo 2 (dois) ciclos anuais de cine-debates por território, cada ciclo composto por ao menos 3 (três) sessões públicas, acompanhadas de rodas de conversa comunitárias mediadas por equipe técnica qualificada. **Prazo** • 6 meses: seleção dos temas prioritários, produção ou escolha dos materiais audiovisuais e articulação com comunidades e parceiros locais; • 12 meses: realização dos primeiros ciclos de cine-debates e rodas de conversa; • 24 a 32 meses: continuidade das atividades, com ampliação do público e avaliações periódicas de participação e impacto.
Campanhas de coleta seletiva com foco em áreas ribeirinhas e urbanas.	Reduzir a disposição inadequada de resíduos sólidos nos corpos hídricos e áreas ribeirinhas, promovendo práticas de coleta seletiva e valorização dos catadores de materiais recicláveis.	**Espaço** As ações ocorrerão em comunidades ribeirinhas, áreas urbanas próximas aos rios, feiras, mercados, escolas, associações comunitárias e cooperativas de catadores do território Baixo São Francisco. **Metodologia** Serão realizadas no mínimo 2 (duas) campanhas municipais anuais de coleta seletiva, com foco em áreas ribeirinhas e urbanas prioritárias, incluindo ações educativas comunitárias, implantação e fortalecimento de PEVs e apoio técnico às cooperativas e associações de catadores.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 6 meses: diagnóstico das áreas prioritárias e articulação com catadores e poder público; • 12 meses: implementação das campanhas e dos primeiros pontos de coleta seletiva; • 24 a 32 meses: ampliação, manutenção das ações e monitoramento contínuo dos resultados.
Mobilização comunitária para vigilância ambiental participativa, especialmente em áreas sensíveis.	Fortalecer a vigilância ambiental participativa, prevenindo práticas degradadoras e promovendo a proteção dos ecossistemas ribeirinhos e áreas ambientalmente sensíveis.	**Espaço** As ações ocorrerão em comunidades ribeirinhas, áreas de preservação permanente, margens do Rio São Francisco e seus afluentes, além de espaços institucionais de apoio à gestão ambiental. **Metodologia** Serão promovidas oficinas de capacitação comunitária sobre identificação de impactos ambientais, canais de denúncia, legislação ambiental básica e monitoramento participativo, articuladas com a atuação dos agentes ambientais ribeirinhos e órgãos ambientais competentes. **Prazo** • 6 meses: mobilização comunitária e definição das áreas sensíveis prioritárias; • 12 meses: capacitação inicial das comunidades e início das ações de vigilância participativa; • 24 a 32 meses: consolidação da rede comunitária de vigilância, com

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		acompanhamento técnico e avaliações periódicas.
Feiras ambientais e culturais integrando identidade ribeirinha, arte e educação verde.	Valorizar a identidade cultural ribeirinha e integrar arte, cultura e Educação Ambiental como instrumentos de sensibilização e mobilização comunitária.	**Espaço** As ações ocorrerão em praças públicas, comunidades ribeirinhas, espaços culturais, escolas e áreas centrais dos municípios do território Baixo São Francisco. **Metodologia** Serão realizadas feiras ambientais e culturais com exposições temáticas, apresentações artísticas, oficinas educativas, comercialização de produtos locais sustentáveis e atividades interativas, promovendo a participação de artistas, artesãos, estudantes, pescadores e organizações comunitárias. **Prazo** • 6 meses: planejamento participativo e articulação com coletivos culturais e comunitários; • 12 meses: realização da primeira edição das feiras; • 24 a 32 meses: consolidação das feiras como eventos periódicos do território, com avaliações anuais.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental Não Formal		
DIRETRIZ – Integrar conservação ambiental, participação social e desenvolvimento local		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Fomentar o ecoturismo como estratégia de Educação Ambiental e desenvolvimento local sustentável com foco no Parque Nacional Serra de Itabaiana.	Utilizar o ecoturismo como ferramenta de Educação Ambiental, promovendo conservação ambiental, geração de renda local e fortalecimento da relação entre comunidades do entorno e o Parque Nacional Serra de Itabaiana.	**Espaço** As ações ocorrerão no Parque Nacional Serra de Itabaiana, em comunidades do entorno, trilhas ecológicas, áreas de visitação, associações comunitárias e espaços turísticos vinculados ao território Centro Sul. **Metodologia** Serão realizadas capacitações para condutores locais, oficinas de Educação Ambiental voltadas a moradores e visitantes, implantação de trilhas interpretativas e ações educativas comunitárias, integrando conservação ambiental, turismo responsável e valorização do patrimônio natural. **Prazo** • 6 meses: planejamento das ações, articulação institucional e mobilização comunitária; • 12 meses: realização das primeiras capacitações e implantação inicial das trilhas interpretativas; • 24 a 32 meses: consolidação das ações de ecoturismo educativo, com avaliações periódicas e ajustes operacionais.
Apoio às cooperativas de catadores e fortalecimento da economia circular.	Fortalecer a inclusão social dos catadores de materiais recicláveis e promover a gestão sustentável de resíduos sólidos por meio da economia circular no território.	**Espaço** As ações ocorrerão em cooperativas e associações de catadores, áreas urbanas dos municípios do território, espaços institucionais e pontos de coleta seletiva.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia Serão realizadas oficinas formativas para catadores, campanhas educativas voltadas à população urbana, visitas técnicas e escutas qualificadas com os catadores, visando identificar demandas, potencialidades e prioridades para o fortalecimento das cooperativas. As ações incluirão apoio técnico à organização das cooperativas e atividades de sensibilização sobre a separação adequada de resíduos, contribuindo para a ampliação da coleta seletiva e a valorização dos materiais recicláveis. **Prazo** • 6 meses: diagnóstico participativo das cooperativas e definição das áreas prioritárias; • 12 meses: execução das oficinas e campanhas educativas; • 24 a 32 meses: ampliação das ações, fortalecimento institucional das cooperativas e monitoramento dos resultados.
Incentivar ações continuadas de arborização urbana com espécies nativas.	Ampliar a cobertura vegetal urbana, contribuindo para a melhoria do microclima, qualidade ambiental e valorização dos espaços públicos.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas, praças públicas, vias, equipamentos públicos, escolas e espaços comunitários dos municípios do território Centro Sul. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Serão realizados mutirões periódicos de plantio de espécies nativas, campanhas educativas sobre arborização urbana e ações de acompanhamento e manutenção das áreas arborizadas, envolvendo comunidades, instituições públicas e privadas. **Prazo** • 6 meses: planejamento, definição das áreas prioritárias e produção ou aquisição de mudas; • 12 meses: realização dos primeiros mutirões de plantio; • 24 a 32 meses: manutenção das áreas plantadas, monitoramento e ampliação das ações.
Formação de lideranças comunitárias ambientais.	Fortalecer o protagonismo social e a participação comunitária na gestão ambiental do território, por meio da formação de lideranças locais.	**Espaço** As ações ocorrerão em comunidades urbanas e rurais, associações comunitárias, espaços institucionais e organizações da sociedade civil do território Centro Sul. **Metodologia** Serão estruturados cursos de formação teórica e prática para lideranças comunitárias, abordando temas como Educação Ambiental, gestão participativa, legislação ambiental básica, justiça climática e mobilização social, com acompanhamento técnico contínuo. **Prazo**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: mobilização comunitária e definição dos critérios de seleção; • 12 meses: realização da formação inicial; • 24 a 32 meses: acompanhamento da atuação das lideranças formadas e avaliações periódicas.
Desenvolver campanhas educativas sobre biodiversidade, Mata Atlântica e Caatinga e a compreensão da justiça climática.	Promover a compreensão qualificada sobre a biodiversidade local, os biomas Mata Atlântica e Caatinga e os princípios da justiça climática, destacando desigualdades socioambientais e impactos diferenciados das mudanças climáticas.	**Espaço** As ações ocorrerão em comunidades urbanas e rurais, escolas, espaços culturais, associações comunitárias e canais institucionais do território Centro Sul. **Metodologia** Serão desenvolvidas campanhas educativas integradas, com oficinas, palestras, materiais informativos, eventos comunitários e atividades participativas, voltadas a diferentes públicos, incluindo jovens, agricultores, lideranças comunitárias e população em geral. **Prazo** • 6 meses: planejamento das campanhas e definição dos temas prioritários; • 12 meses: execução das primeiras ações educativas; • 24 a 32 meses: continuidade das campanhas, ampliação do alcance e avaliações periódicas de impacto.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental Não Formal		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
DIRETRIZ – Promover sustentabilidade urbana, inclusão social, justiça climática e participação interinstitucional na gestão ambiental da Região Metropolitana		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Curso de Formação de Educadores Ambientais	Promover formação inicial e continuada em Educação Ambiental em espaços não formais, visando contribuir para o exercício da cidadania, a conservação dos recursos naturais, a proteção da biodiversidade, as políticas de adaptação e de mitigação das mudanças climáticas, o combate às injustiças ambientais e a melhoria das condições da qualidade de vida das populações envolvidas.	**Espaço** Centros de formação de educadores, espaços não formais de educação (centros comunitários, ONGs, associações, museus, parques e Unidades de Conservação), escolas-polo e auditórios públicos, universidades e institutos de educação e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido ou totalmente online, quando necessário); **Metodologia** O curso será estruturado em módulos teórico-práticos, articulando fundamentos conceituais, marcos legais, políticas públicas, práticas educativas e construção de propostas de intervenção socioambiental. Os conteúdos contemplarão: • Fundamentos da Educação Ambiental crítica e emancipatória; • Problemática socioambiental contemporânea; • Mudanças climáticas, biodiversidade e justiça ambiental; • Políticas públicas ambientais e educacionais; • Educação Ambiental em espaços formais e não formais; • Interdisciplinaridade e transdisciplinaridade;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Metodologias participativas e projetos socioambientais; • Planejamento, monitoramento e avaliação de ações educativas. **Prazo** • 6 meses: Planejamento pedagógico do curso, definição dos conteúdos, metodologia e equipe formadora, **e**laboração de material didático, articulação institucional e divulgação. • 12 meses: Realização da 1ª edição do curso, acompanhamento inicial das propostas de intervenção socioambiental, avaliação participativa dos resultados e ajustes metodológicos. • 24 meses: Consolidação do curso como programa permanente de formação em Educação Ambiental, ampliação do número de turmas e participantes e fortalecimento das redes locais de educadores ambientais.
Incentivar a criação de fóruns, programas e parcerias interinstitucionais de Educação Ambiental.	Articular instituições públicas, universidades, organizações da sociedade civil, setor produtivo e movimentos sociais para planejar, executar e monitorar ações integradas de Educação Ambiental no território da Grande Aracaju.	**Espaço** As ações ocorrerão em instituições públicas estaduais e municipais, universidades, centros comunitários, sedes de organizações da sociedade civil e espaços institucionais da Região Metropolitana da Grande Aracaju. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Serão criados e fortalecidos fóruns territoriais de Educação Ambiental, com realização de reuniões periódicas, grupos de trabalho temáticos e pactuação de agendas comuns, além da formalização de parcerias interinstitucionais para execução conjunta de projetos e ações educativas. **Prazo** • 6 meses: articulação institucional, identificação de atores estratégicos e estruturação do fórum territorial; • 12 meses: realização dos primeiros encontros, definição de agendas e início das ações articuladas; • 24 a 32 meses: consolidação do fórum como instância permanente de articulação, com avaliações periódicas.
Campanhas de conscientização ao comércio para redução de sacolas plásticas e embalagens descartáveis.	Reduzir a geração de resíduos sólidos urbanos por meio da mudança de práticas no comércio varejista e da sensibilização de consumidores para o consumo responsável.	**Espaço** As ações ocorrerão em estabelecimentos comerciais, mercados, feiras livres, shoppings, associações comerciais e espaços públicos da Grande Aracaju. **Metodologia** Serão realizadas campanhas educativas direcionadas a comerciantes e consumidores, oficinas orientativas, distribuição de materiais informativos e estímulo à adoção de alternativas reutilizáveis e biodegradáveis, em articulação com entidades comerciais e órgãos públicos.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 6 meses: planejamento das campanhas, articulação com associações comerciais e produção de materiais educativos; • 12 meses: execução das primeiras campanhas de conscientização; • 24 a 32 meses: ampliação das ações, adesão progressiva do comércio e avaliações de impacto.
Fortalecimento da coleta seletiva urbana e valorização dos catadores, promovendo inclusão social.	Ampliar a coleta seletiva na Região Metropolitana, promovendo inclusão social, geração de renda e reconhecimento dos catadores como agentes centrais da Política Nacional de Resíduos Sólidos.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas, bairros residenciais, equipamentos públicos, cooperativas e associações de catadores, além de pontos de entrega voluntária distribuídos no território. **Metodologia** Serão desenvolvidas campanhas permanentes de separação de resíduos, ações educativas junto à população urbana, fortalecimento institucional das cooperativas de catadores, apoio técnico-operacional e ampliação da rede de coleta seletiva e PEVs. **Prazo** • 6 meses: diagnóstico das áreas prioritárias e articulação com cooperativas e poder público; • 12 meses: execução das campanhas educativas e fortalecimento inicial da coleta seletiva;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: ampliação territorial da coleta seletiva e consolidação das cooperativas.
Promover eventos artísticos, culturais e interativos voltados à juventude urbana.	Promover a sensibilização ambiental e climática da juventude urbana por meio de eventos culturais, artísticos e interativos, integrando universidades, organizações da sociedade civil, setor produtivo e poder público, de modo a estimular o engajamento social, o protagonismo juvenil e a construção coletiva de soluções sustentáveis.	**Espaço** Praças públicas, centros culturais, universidades, escolas, comunidades urbanas, espaços de convivência juvenil e equipamentos culturais do território. **Metodologia** Realização de eventos culturais e artísticos interativos, como apresentações musicais, teatro, grafite, saraus verdes, exposições, intervenções urbanas e rodas de diálogo, articulados com ações educativas e participação de universidades, ONGs, coletivos juvenis, setor produtivo e instituições públicas. **Prazo** • 6 meses: articulação interinstitucional, definição de parceiros e planejamento do calendário de eventos; • 12 meses: realização das primeiras edições territoriais; • 24 a 32 meses: consolidação do calendário anual e ampliação do alcance das ações.
Plantio de árvores nativas para ampliação de áreas verdes e mitigação de ilhas de calor.	Contribuir para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano, melhoria da qualidade ambiental e promoção do bem-estar da população da Grande Aracaju.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas densamente ocupadas, praças públicas, vias, escolas, equipamentos públicos e espaços comunitários da Região Metropolitana.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia Serão realizados mutirões de arborização urbana com espécies nativas, campanhas educativas sobre os benefícios das áreas verdes e ações de acompanhamento e manutenção das árvores plantadas, envolvendo comunidades, instituições e poder público. **Prazo** • 6 meses: planejamento, definição de áreas prioritárias e produção ou aquisição de mudas; • 12 meses: realização dos primeiros mutirões de plantio; • 24 a 32 meses: manutenção das áreas arborizadas e ampliação contínua das ações.
Desenvolver ações educativas e de sensibilização voltadas à compreensão da justiça climática e a criação e fortalecimento de empregos verdes, associados à economia circular, energias renováveis, saneamento e conservação ambiental.	Promover a compreensão crítica sobre justiça climática e estimular a criação e o fortalecimento de empregos verdes associados à economia circular, energias renováveis, saneamento e conservação ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão em instituições de ensino, universidades, associações comunitárias, espaços culturais, organizações sociais e canais institucionais da Grande Aracaju. **Metodologia** Serão realizadas oficinas, cursos, campanhas educativas e eventos formativos voltados a jovens, trabalhadores, estudantes e tomadores de decisão, abordando justiça climática, desigualdades socioambientais e oportunidades de trabalho sustentável no contexto urbano-metropolitano.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 6 meses: planejamento pedagógico e definição dos públicos prioritários; • 12 meses: execução das primeiras ações formativas e educativas; • 24 a 32 meses: continuidade, ampliação do alcance e avaliações periódicas de impacto.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental Não Formal		
DIRETRIZ – Promover a conservação dos ecossistemas costeiros, a valorização da Mata Atlântica e a integração entre cultura, turismo e participação comunitária		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Desenvolver ações de Educação Ambiental voltadas à conservação da Mata Atlântica, manguezais e ecossistemas costeiros.	Promover a conservação da Mata Atlântica, dos manguezais e dos ecossistemas costeiros por meio de ações educativas que fortaleçam o conhecimento ambiental, o sentimento de pertencimento e a corresponsabilidade das comunidades locais.	**Espaço** Comunidades costeiras, áreas urbanas e periurbanas, associações comunitárias, espaços públicos e áreas próximas a ecossistemas sensíveis do território. **Metodologia** Realização de oficinas educativas, palestras comunitárias, campanhas de sensibilização e ações de educação ambiental de campo, abordando a importância ecológica, social e econômica da Mata Atlântica e dos manguezais. **Prazo** • 6 meses: planejamento metodológico e mobilização comunitária;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das primeiras ações educativas; • 24 a 32 meses: continuidade, ampliação e avaliações periódicas.
Turismo sustentável e educação Ambiental com foco nos eventos culturais locais.	Integrar o turismo sustentável à Educação Ambiental, utilizando eventos culturais locais como instrumentos de sensibilização, valorização do patrimônio natural e fortalecimento da economia local.	**Espaço** Eventos culturais, comunidades turísticas, áreas costeiras, centros históricos, praias e espaços públicos do território. **Metodologia** Desenvolvimento de ações educativas em eventos culturais locais, incluindo oficinas, materiais informativos, atividades interativas e participação de condutores, artesãos, empreendedores turísticos e comunidade. **Prazo** • 6 meses: articulação com organizadores de eventos e planejamento das ações; • 12 meses: implementação das primeiras ações educativas integradas; • 24 a 32 meses: consolidação do turismo sustentável como eixo permanente dos eventos.
Sensibilização ambiental por meio de eventos culturais, oficinas e atividades comunitárias.	Sensibilizar a população local para temas ambientais e climáticos por meio de atividades culturais e comunitárias, promovendo o engajamento social e o diálogo entre saberes locais e técnicos.	**Espaço** Praças públicas, comunidades urbanas e rurais, espaços culturais, associações comunitárias e equipamentos públicos do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Realização de eventos culturais, oficinas temáticas, rodas de conversa, exposições e atividades comunitárias abordando meio ambiente, mudanças climáticas, resíduos, biodiversidade e qualidade de vida. **Prazo** • 6 meses: planejamento participativo e definição de temáticas prioritárias; • 12 meses: realização das primeiras atividades comunitárias; • 24 a 32 meses: ampliação do alcance e institucionalização das ações.
Educação ambiental associada à proteção das unidades de conservação.	Fortalecer a proteção das Unidades de Conservação por meio da Educação Ambiental Não Formal, ampliando o conhecimento da população sobre a importância dessas áreas e estimulando a participação social em sua gestão.	**Espaço** Unidades de Conservação e suas zonas de amortecimento, comunidades do entorno, espaços educativos e institucionais do território. **Metodologia** Desenvolvimento de ações educativas como visitas orientadas, trilhas interpretativas, oficinas, palestras e campanhas informativas sobre conservação, uso público responsável e legislação ambiental. **Prazo** • 6 meses: articulação com órgãos gestores das UCs e planejamento; • 12 meses: início das ações educativas nas áreas prioritárias;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: consolidação das atividades e integração às políticas de gestão das UCs.
Promover atividades educativas sobre biodiversidade, fauna e flora da Mata Atlântica.	Promover o conhecimento e a valorização da biodiversidade da Mata Atlântica, com ênfase na fauna e flora nativas, estimulando atitudes de conservação e proteção dos ecossistemas.	**Espaço** Comunidades locais, escolas, associações, espaços culturais e áreas naturais do território. **Metodologia** Realização de atividades educativas, como oficinas, palestras, materiais informativos e ações de campo, abordando espécies nativas, serviços ecossistêmicos, ameaças à biodiversidade e formas de conservação. **Prazo** • 6 meses: elaboração dos conteúdos educativos; • 12 meses: execução das primeiras atividades; • 24 a 32 meses: continuidade e avaliação dos resultados.
Arborização comunitária e restauração ecológica em áreas urbanas e periurbanas.	Incentivar a arborização comunitária e a restauração ecológica em áreas urbanas e periurbanas, contribuindo para a melhoria do microclima, da biodiversidade e da qualidade de vida da população.	**Espaço** Áreas urbanas e periurbanas, praças públicas, comunidades, áreas degradadas e espaços institucionais do território. **Metodologia** Realização de mutirões comunitários de plantio, produção e distribuição de mudas nativas, oficinas educativas e acompanhamento participativo das áreas restauradas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 6 meses: planejamento e produção de mudas; • 12 meses: primeiros mutirões de plantio; • 24 a 32 meses: manutenção, monitoramento e ampliação das áreas restauradas.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental Não Formal		
DIRETRIZ – Fortalecer a convivência sustentável com o semiárido e a zona de transição dos biomas (Caatinga e Mata Atlântica), a gestão dos recursos naturais e a participação comunitária no desenvolvimento territorial		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Educação ambiental comunitária para Convivência com o semiárido e a zona de transição dos biomas Caatinga e Mata Atlântica.	Fortalecer a Educação Ambiental comunitária voltada à convivência sustentável com o semiárido, promovendo práticas adaptativas, uso racional dos recursos naturais e valorização dos saberes locais.	**Espaço** Comunidades rurais, povoados, associações comunitárias, assentamentos, espaços públicos e áreas produtivas do território. **Metodologia** Realização de oficinas comunitárias, rodas de diálogo, atividades práticas e ações educativas itinerantes abordando convivência com o semiárido, mudanças climáticas, manejo sustentável da água, do solo e da vegetação nativa. **Prazo** • 6 meses: planejamento metodológico e mobilização comunitária; • 12 meses: realização das primeiras ações territoriais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: ampliação, consolidação e avaliações periódicas.
Estimular ações de sensibilização ambiental junto a comunidades rurais e agricultores familiares.	Estimular práticas sustentáveis junto a comunidades rurais e agricultores familiares, promovendo a conservação ambiental associada à produção agrícola, segurança alimentar e resiliência climática.	**Espaço** Propriedades rurais, associações de agricultores, comunidades rurais, feiras agroecológicas e espaços comunitários do território. **Metodologia** Realização de oficinas técnicas, dias de campo, campanhas educativas e atividades demonstrativas sobre agroecologia, manejo do solo, conservação da água, redução do uso de agrotóxicos e recuperação de áreas produtivas degradadas. **Prazo** • 6 meses: diagnóstico participativo e planejamento das ações; • 12 meses: execução das primeiras capacitações; • 24 a 32 meses: ampliação das ações e acompanhamento técnico continuado.
Reflorestamento e recuperação de áreas degradadas e zonas de transição entre os biomas.	Promover a recuperação ambiental de áreas degradadas e zonas de transição ecológica, contribuindo para a proteção do solo, da biodiversidade e dos recursos hídricos do território.	**Espaço** Áreas degradadas, margens de cursos d'água, áreas rurais, zonas de transição entre biomas e espaços comunitários do território. **Metodologia** Implantação de ações de reflorestamento com espécies nativas, mutirões comunitários de plantio, produção e distribuição de mudas, além de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		atividades educativas sobre restauração ecológica e conservação ambiental. **Prazo** • 6 meses: planejamento técnico e produção de mudas; • 12 meses: realização dos primeiros plantios; • 24 a 32 meses: manutenção, monitoramento e ampliação das áreas restauradas.
Implementar ações formativas específicas para empresários, gestores públicos e tomadores de decisão, com foco em responsabilidade socioambiental, gestão sustentável e conformidade ambiental.	Capacitar empresários, gestores públicos e tomadores de decisão para incorporar critérios ambientais e climáticos nos processos de planejamento, gestão e desenvolvimento econômico do território.	**Espaço** Instituições públicas, associações empresariais, câmaras municipais, sindicatos, espaços institucionais e eventos setoriais do território. **Metodologia** Realização de cursos, oficinas técnicas, seminários e encontros formativos abordando responsabilidade socioambiental, licenciamento ambiental, gestão sustentável, mudanças climáticas, economia verde e conformidade legal. **Prazo** • 6 meses: planejamento dos conteúdos e articulação institucional; • 12 meses: execução das primeiras formações; • 24 a 32 meses: consolidação do programa formativo e avaliações periódicas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Campanhas educativas sobre a conservação da água e do solo	Promover a conservação da água e do solo por meio de campanhas educativas que incentivem o uso racional dos recursos naturais e a adoção de práticas sustentáveis no meio rural e urbano.	**Espaço** Comunidades rurais, áreas urbanas, escolas, feiras, associações comunitárias e espaços públicos do território. **Metodologia** Desenvolvimento de campanhas educativas, materiais informativos, ações de campo e atividades comunitárias abordando captação de água de chuva, uso eficiente da água, conservação do solo, combate à erosão e adaptação climática. **Prazo** • 6 meses: elaboração das campanhas e materiais educativos; • 12 meses: implementação das primeiras ações; • 24 a 32 meses: ampliação do alcance e avaliação dos impactos.
Formação de agentes ambientais locais	Formar agentes ambientais locais para atuar como multiplicadores da Educação Ambiental, fortalecendo o monitoramento participativo, a mobilização comunitária e a gestão ambiental no território.	**Espaço** Comunidades rurais, áreas urbanas, associações comunitárias, escolas e espaços institucionais do território. **Metodologia** Realização de cursos de formação inicial, oficinas práticas e acompanhamento técnico contínuo, capacitando moradores, lideranças comunitárias e jovens para atuação em ações educativas, monitoramento ambiental e mobilização social.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 6 meses: seleção dos participantes e estruturação do programa formativo; • 12 meses: formação inicial dos agentes; • 24 a 32 meses: atuação continuada e fortalecimento da rede de agentes ambientais.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental Não Formal		
DIRETRIZ – Educação Ambiental para Conservação de Manguezais e Ambientes Estuarinos		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Educação ambiental para conservação de manguezais.	Promover a conservação dos manguezais e ecossistemas estuarinos por meio de processos educativos participativos, fortalecendo a consciência ambiental e o engajamento comunitário.	**Espaço** Comunidades costeiras, áreas de manguezais, estuários, escolas, associações comunitárias e espaços públicos do território. **Metodologia** Realização de oficinas educativas, trilhas interpretativas, campanhas comunitárias e atividades práticas sobre funções ecológicas dos manguezais, serviços ecossistêmicos, pesca sustentável e adaptação às mudanças climáticas. **Prazo** • 6 meses: planejamento e mobilização comunitária; • 12 meses: execução das primeiras ações educativas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: ampliação e consolidação das atividades com avaliações periódicas.
Plantio de árvores nativas para ampliação de áreas verdes nas cidades.	Ampliar a cobertura vegetal urbana e periurbana, contribuindo para mitigação de ilhas de calor, melhoria da qualidade ambiental e valorização paisagística das cidades do território.	**Espaço** Áreas urbanas, praças públicas, escolas, equipamentos comunitários, áreas periurbanas e corredores verdes do território. **Metodologia** Implantação de mutirões de plantio, produção e distribuição de mudas nativas, ações educativas sobre arborização urbana e manejo adequado das espécies plantadas. **Prazo** • 6 meses: planejamento técnico e produção de mudas; • 12 meses: execução dos primeiros plantios; • 24 a 32 meses: manutenção, monitoramento e expansão das áreas arborizadas.
Turismo ecológico sustentável.	Qualificar o turismo ecológico no território, promovendo práticas sustentáveis que conciliem conservação ambiental, geração de renda e valorização cultural.	**Espaço** Áreas turísticas, comunidades costeiras, pousadas, bares, restaurantes, associações de turismo e espaços públicos do território. **Metodologia** Realização de capacitações para trabalhadores do turismo, guias locais e empreendedores, oficinas educativas, elaboração de materiais orientativos e

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		campanhas de sensibilização ambiental voltadas a turistas e moradores. **Prazo** • 6 meses: diagnóstico do setor turístico local e planejamento; • 12 meses: realização das primeiras capacitações; • 24 a 32 meses: consolidação das práticas sustentáveis no setor.
Formação e fortalecimento de organizações socioambientais.	Fortalecer organizações comunitárias e socioambientais para ampliar a participação social, a governança ambiental e a execução de projetos territoriais sustentáveis.	**Espaço** Associações comunitárias, colônias de pescadores, cooperativas, ONGs locais e espaços institucionais do território. **Metodologia** Realização de cursos de capacitação em gestão de projetos, educação ambiental, captação de recursos, governança participativa e articulação institucional, além de acompanhamento técnico continuado. **Prazo** • 6 meses: mapeamento das organizações e planejamento das formações; • 12 meses: execução das primeiras capacitações; • 24 a 32 meses: fortalecimento institucional e ampliação das redes locais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Apoio às ações do Projeto Tamar e incentivo à Educação Ambiental voltada à conservação marinha e costeira.	Fortalecer as ações de conservação marinha e costeira, em articulação com o Projeto Tamar e outras iniciativas, promovendo educação ambiental voltada à proteção da biodiversidade marinha.	**Espaço** Praias, áreas costeiras, comunidades pesqueiras, centros de visitantes, escolas e espaços públicos do território. **Metodologia** Realização de campanhas educativas, atividades em escolas, oficinas comunitárias, eventos de sensibilização e apoio logístico às ações de monitoramento e conservação da fauna marinha. **Prazo** • 6 meses: articulação institucional e planejamento conjunto; • 12 meses: execução das primeiras ações integradas; • 24 a 32 meses: consolidação das parcerias e ampliação das atividades educativas.
Campanhas de redução do uso de plásticos e proteção de praias, manguezais e estuários.	Reduzir a poluição por resíduos sólidos nos ambientes costeiros e estuarinos, promovendo mudanças de comportamento e fortalecimento da cultura da responsabilidade ambiental.	**Espaço** Praias, comunidades costeiras, áreas urbanas, escolas, feiras, estabelecimentos comerciais e espaços públicos do território. **Metodologia** Desenvolvimento de campanhas educativas, mutirões de limpeza, ações em estabelecimentos comerciais, distribuição de materiais informativos e atividades comunitárias de sensibilização. **Prazo**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: elaboração das campanhas e materiais educativos; • 12 meses: implementação das primeiras ações; • 24 a 32 meses: ampliação territorial das campanhas e avaliações periódicas.
Capacitação Baseada nos Saberes e Fazeres Tradicionais das Comunidades.	Valorizar os conhecimentos tradicionais e fortalecer o protagonismo das comunidades locais na gestão ambiental, integrando saberes populares e técnico-científicos.	**Espaço** Comunidades tradicionais, vilas de pescadores, associações comunitárias, escolas e espaços culturais do território. **Metodologia** Realização de oficinas participativas, intercâmbios de saberes, registros de práticas tradicionais sustentáveis e ações formativas integradas entre técnicos e comunidades. **Prazo** • 6 meses: mapeamento dos saberes locais e planejamento das ações; • 12 meses: realização das primeiras capacitações; • 24 a 32 meses: consolidação das práticas e fortalecimento do protagonismo comunitário.

Fonte: Os autores.

1.9 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E EDUCOMUNICAÇÃO

A educomunicação constitui um campo estratégico para o fortalecimento da Educação Ambiental, pois integra processos educativos e comunicacionais com o objetivo de ampliar o acesso à informação, estimular o diálogo e promover o protagonismo social. Ao articular educação, mídia e participação cidadã, esse eixo favorece a construção coletiva de conhecimentos e a circulação de ideias capazes de impulsionar transformações socioambientais.

No cenário atual, marcado pela presença constante das redes sociais e pela velocidade com que informações circulam, a educomunicação assume papel ainda mais relevante. Plataformas digitais como Instagram, Facebook, YouTube, WhatsApp e outras mídias emergentes tornaram-se espaços essenciais para divulgar ações, compartilhar boas práticas e aproximar a população das iniciativas ambientais desenvolvidas no estado. Mostrar pessoas, atividades e resultados reais gera identificação, amplia o alcance das mensagens e estimula o engajamento comunitário, muitas vezes de forma mais rápida e eficaz do que métodos tradicionais.

Sem divulgação, as ações ambientais tendem a permanecer restritas aos participantes diretos, reduzindo seu potencial transformador. Por isso, comunicar de forma clara, atrativa e contínua o que está acontecendo no território é fundamental para mobilizar novos públicos, fortalecer parcerias e garantir que os avanços alcancem toda a sociedade.

A produção colaborativa de conteúdos (vídeos, fotografias, podcasts, reportagens comunitárias, mapas interativos e campanhas educativas) reforça o sentimento de pertencimento e incentiva a participação social. Quando escolas, comunidades e gestores públicos se envolvem na criação e circulação dessas narrativas, ampliam a transparência, valorizam iniciativas locais e constroem uma cultura ambiental mais forte.

Além disso, a educomunicação contribui para formar cidadãos críticos, capazes de avaliar informações, reconhecer fontes confiáveis e combater a desinformação ambiental. Esse letramento midiático é essencial em um contexto de grande volume de dados e notícias, onde a clareza e a veracidade são indispensáveis para decisões responsáveis.

Para garantir que a comunicação ambiental aconteça de maneira descentralizada e coerente com as realidades locais, o Quadro 6 abaixo reúne as diretrizes e ações

definidas para cada território, apoiando a criação de redes, linguagens e estratégias de diálogo próprias de cada região.

Quadro 6. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental e Educomunicação

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental e Educomunicação		
DIRETRIZ – Fortalecer a comunicação ambiental comunitária e digital como ferramenta de mobilização social, educação cidadã e promoção de práticas sustentáveis no território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Produção e difusão de conteúdos digitais sobre sustentabilidade e gestão de resíduos sólidos.	Ampliar o acesso à informação ambiental e fortalecer práticas sustentáveis por meio da produção e circulação de conteúdos educativos digitais voltados à gestão de resíduos sólidos e consumo responsável.	**Espaço** Plataformas digitais (Instagram, Facebook, YouTube, WhatsApp e portais institucionais), escolas, associações comunitárias, cooperativas de catadores e espaços públicos do território. **Metodologia** Produção contínua de vídeos educativos, cards informativos, reportagens comunitárias, campanhas digitais temáticas e materiais audiovisuais curtos voltados à separação de resíduos, coleta seletiva, reciclagem e economia circular. **Prazos** • 2 meses: planejamento editorial, definição de identidade visual e capacitação inicial das equipes locais; • 6 meses: início da produção regular e publicação dos conteúdos; • 12 meses: consolidação das redes digitais territoriais e ampliação do alcance das campanhas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Oficinas de formação em educomunicação ambiental para estudantes e educadores.	Capacitar estudantes e educadores para o uso estratégico de ferramentas de comunicação digital e audiovisual aplicadas à Educação Ambiental.	**Espaço** Escolas públicas e privadas, instituições de ensino técnico, universidades, centros comunitários e espaços culturais do território. **Metodologia** Realização de oficinas práticas sobre produção de vídeos, fotografia ambiental, podcasts, storytelling socioambiental, uso responsável das redes sociais e combate à desinformação ambiental. **Prazo** • 6 meses: elaboração dos conteúdos formativos e seleção dos participantes; • 12 meses: realização das primeiras turmas de capacitação; • 24 meses: formação continuada e multiplicação das oficinas em novos polos educacionais.
Integração da educomunicação às campanhas ambientais e turísticas do território.	Integrar estratégias de educomunicação às campanhas de Educação Ambiental e turismo sustentável, ampliando o alcance das ações e fortalecendo a identidade territorial.	**Espaço** Eventos turísticos, feiras locais, comunidades rurais, áreas naturais, espaços públicos e plataformas digitais do território. **Metodologia** Produção contínua de materiais audiovisuais, cobertura colaborativa de eventos ambientais, campanhas digitais temáticas e divulgação contínua das ações territoriais de sustentabilidade e ecoturismo.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 2 meses: articulação institucional e planejamento integrado das campanhas; • 6 meses: execução das primeiras ações conjuntas; • 12 meses: consolidação da educomunicação como ferramenta permanente das políticas territoriais.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental e Educomunicação		
DIRETRIZ – Promover a valorização da Caatinga, a convivência com o semiárido e o turismo sustentável por meio da comunicação ambiental participativa e territorializada.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Produção e difusão de conteúdos digitais sobre caatinga, turismo local e convivência com o semiárido.	Valorizar o bioma Caatinga, fortalecer a identidade territorial e disseminar práticas sustentáveis adaptadas ao semiárido por meio de conteúdos educativos digitais.	**Espaço** Redes sociais, plataformas digitais institucionais, escolas, associações comunitárias, espaços culturais e equipamentos públicos do território. **Metodologia** Produção contínua de vídeos educativos, documentários curtos, fotografias temáticas, campanhas digitais e materiais informativos sobre biodiversidade da Caatinga, uso racional da água, práticas agroecológicas e turismo sustentável. **Prazos** • 2 meses: planejamento editorial e capacitação inicial das equipes locais; • 6 meses: início da produção sistemática dos conteúdos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: ampliação do alcance territorial e consolidação das redes de comunicação ambiental.
Oficinas de formação em educomunicação ambiental voltadas a estudantes e comunidades locais.	Capacitar jovens, educadores e lideranças comunitárias para atuarem como multiplicadores de informação ambiental no território do semiárido.	**Espaço** Escolas, comunidades rurais, associações comunitárias, centros culturais e espaços públicos do território. **Metodologia** Serão realizadas no mínimo 4 (quatro) oficinas de educomunicação ambiental por município a cada ano, voltadas a práticas sobre produção audiovisual comunitária, comunicação popular, uso estratégico das redes sociais, fotografia ambiental e produção de conteúdos educativos locais. **Prazos** • 6 meses: planejamento metodológico e mobilização dos participantes; • 12 meses: realização das primeiras formações; • 24 meses: expansão das oficinas e consolidação dos núcleos locais de educomunicação.
Integração da Educomunicação às Campanhas de Educação Ambiental sobre Biodiversidade e Uso Sustentável dos Recursos Naturais.	Fortalecer campanhas territoriais de Educação Ambiental por meio da comunicação digital participativa, ampliando a visibilidade das ações e o engajamento social.	**Espaço** Comunidades rurais, áreas naturais, eventos locais, escolas e plataformas digitais do território. **Metodologia** Serão realizadas no mínimo 2 (duas) oficinas de educomunicação ambiental por município a cada

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		ano, voltadas a produção de campanhas digitais temáticas, cobertura colaborativa de ações ambientais, materiais educativos multimídia e divulgação contínua das iniciativas territoriais. **Prazos** • 6 meses: planejamento integrado com equipes ambientais locais; • 12 meses: execução das primeiras campanhas conjuntas; • 24 meses: institucionalização da educomunicação nas ações territoriais.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental e Educomunicação		
DIRETRIZ – Fortalecer a comunicação ambiental participativa voltada à conservação dos recursos hídricos, biodiversidade ribeirinha e serviços ecossistêmicos do Rio São Francisco.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Produção e difusão de conteúdos educomunicativos sobre conservação dos recursos hídricos, biodiversidade e serviços ecossistêmicos associados ao Rio São Francisco.	Ampliar o conhecimento público e a valorização dos recursos hídricos, da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos associados ao Rio São Francisco, por meio de estratégias de comunicação ambiental acessíveis e territorializadas.	**Espaço** Plataformas digitais institucionais, redes sociais, escolas, comunidades ribeirinhas, associações comunitárias, espaços públicos e centros culturais do território. **Metodologia** Serão produzidos no mínimo 4 (quatro) conteúdos educomunicativos mensais, totalizando 48 (quarenta e oito) peças anuais por território, entre vídeos educativos, reportagens comunitárias, podcasts, materiais audiovisuais curtos e campanhas digitais temáticas, voltadas à

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		conservação dos recursos hídricos, biodiversidade, manguezais, pesca sustentável, matas ciliares e adaptação climática no território do Baixo São Francisco. **Prazo** • 2 meses: planejamento editorial, definição das equipes locais e estruturação dos canais de divulgação; • 6 meses: início da produção sistemática e publicação dos conteúdos; • 12 meses: consolidação das redes territoriais de comunicação ambiental e ampliação do alcance das campanhas.
Desenvolvimento de ações de educomunicação ambiental com protagonismo estudantil e comunitário.	Estimular o protagonismo de estudantes e comunidades ribeirinhas na produção e disseminação de conteúdos ambientais, fortalecendo a participação social e o sentimento de pertencimento territorial.	**Espaço** Escolas públicas e privadas, comunidades ribeirinhas, associações comunitárias, espaços culturais e ambientes educativos do território. **Metodologia** Serão implementados no mínimo 2 (dois) projetos estruturados de educomunicação por território a cada ano, envolvendo produção colaborativa de vídeos, boletins digitais, campanhas escolares, registros audiovisuais locais e ações educativas protagonizadas por jovens e lideranças comunitárias. **Prazo**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: mobilização das instituições parceiras e seleção dos grupos participantes; • 12 meses: execução dos primeiros projetos educomunicativos locais; • 24 meses: ampliação do número de núcleos comunitários e consolidação das iniciativas.
Integração da educomunicação às campanhas de Educação Ambiental voltadas à proteção de rios e matas ciliares.	Fortalecer campanhas ambientais territoriais por meio da integração de estratégias de comunicação digital e comunitária voltadas à proteção dos recursos hídricos e da vegetação ciliar.	**Espaço** Margens do Rio São Francisco e afluentes, comunidades ribeirinhas, escolas, eventos ambientais e plataformas digitais do território. **Metodologia** Serão produzidos no mínimo 3 (três) campanhas multimídia territoriais por ano, incluindo materiais educativos digitais, cobertura colaborativa de mutirões ambientais, divulgação de campanhas de recuperação ambiental e produção contínua de conteúdos informativos sobre boas práticas de conservação. **Prazo** • 6 meses: articulação institucional e planejamento integrado das campanhas; • 12 meses: execução das primeiras ações conjuntas; • 24 meses: institucionalização da educomunicação como ferramenta permanente de apoio às campanhas ambientais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental e Educomunicação		
DIRETRIZ – Integrar comunicação ambiental, participação social e valorização dos ativos socioambientais do território como estratégia de desenvolvimento sustentável		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Produção e difusão de conteúdos de Educação Ambiental por meio da educomunicação, com foco em conservação ambiental e sustentabilidade local.	Promover a disseminação de informações ambientais qualificadas e valorizar iniciativas locais de sustentabilidade por meio da produção de conteúdos digitais acessíveis à população.	**Espaço** Redes sociais institucionais, escolas, universidades, comunidades urbanas e rurais, espaços culturais e equipamentos públicos do território. **Metodologia** Produção contínua de vídeos educativos, campanhas digitais, materiais audiovisuais informativos, reportagens comunitárias e conteúdos temáticos sobre biodiversidade, resíduos sólidos, recursos hídricos, arborização urbana e ecoturismo. **Prazo** • 2 meses: planejamento editorial e definição dos canais de divulgação; • 6 meses: início da produção regular dos conteúdos; • 12 meses: ampliação do alcance territorial e consolidação da estratégia de comunicação ambiental.
Integração da educomunicação às campanhas de Educação Ambiental realizadas nos municípios do território.	Apoiar campanhas ambientais realizadas nos municípios do território por meio de estratégias de	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	comunicação digital e comunitária, ampliando o alcance das ações e o engajamento social.	Municípios do território Centro-Sul, escolas, praças públicas, eventos ambientais e plataformas digitais. **Metodologia** Produção contínua de materiais gráficos e audiovisuais, cobertura colaborativa de campanhas ambientais, divulgação sistemática das ações municipais e criação de conteúdos educativos temáticos. **Prazo** • 6 meses: articulação institucional e planejamento conjunto; • 12 meses: execução das primeiras campanhas integradas; • 24 meses: consolidação da educomunicação como ferramenta permanente de apoio às ações municipais.
Oficinas de formação em educomunicação ambiental para estudantes e comunidades.	Capacitar estudantes, educadores e lideranças comunitárias para utilização de ferramentas de comunicação ambiental participativa, fortalecendo redes locais de educomunicação.	**Espaço** Escolas, universidades, centros comunitários, associações locais e espaços culturais do território. **Metodologia** Realização de oficinas práticas sobre produção audiovisual, fotografia ambiental, comunicação digital, uso estratégico das redes sociais, *storytelling* socioambiental e combate à desinformação ambiental.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 6 meses: elaboração dos conteúdos formativos e mobilização dos participantes; • 12 meses: realização das primeiras turmas; • 24 a 32 meses: expansão das oficinas e consolidação dos núcleos territoriais de educomunicação.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental e Educomunicação		
DIRETRIZ – Fortalecer a comunicação ambiental urbana como instrumento de mobilização social, justiça climática e transformação de práticas sustentáveis na região metropolitana		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Produção e difusão de conteúdos educomunicativos sobre sustentabilidade urbana, biodiversidade e mudanças climáticas por meio de mídias digitais e redes sociais.	Ampliar o acesso da população urbana a informações qualificadas sobre sustentabilidade, biodiversidade e mudanças climáticas, estimulando práticas sustentáveis e maior engajamento social.	**Espaço** Redes sociais institucionais, plataformas digitais, escolas, universidades, centros culturais, espaços públicos urbanos e equipamentos comunitários da Região Metropolitana. **Metodologia** Produção contínua de vídeos educativos, campanhas digitais temáticas, cards informativos, reportagens comunitárias, podcasts e conteúdos audiovisuais curtos sobre mobilidade sustentável, resíduos sólidos, áreas verdes urbanas, recursos hídricos, adaptação climática e mitigação de emissões. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 2 meses: planejamento editorial, definição de equipes técnicas e estruturação dos canais de comunicação; • 6 meses: início da produção sistemática e publicação dos conteúdos; • 12 meses: ampliação do alcance das campanhas e consolidação das redes territoriais de comunicação ambiental.
Desenvolvimento de ações de educomunicação ambiental e justiça climática com protagonismo estudantil.	Estimular o protagonismo juvenil na produção de conteúdos ambientais e na discussão sobre justiça climática, promovendo participação social qualificada e engajamento cidadão.	**Espaço** Escolas públicas e privadas, universidades, centros comunitários, espaços culturais e plataformas digitais da Região Metropolitana. **Metodologia** Implementação de projetos educomunicativos escolares, produção colaborativa de vídeos, campanhas digitais protagonizadas por jovens, rodas de diálogo, fóruns juvenis e ações educativas sobre desigualdades socioambientais e impactos diferenciados das mudanças climáticas. **Prazos** • 2 meses: mobilização das instituições de ensino e seleção dos grupos participantes; • 6 meses: execução dos primeiros projetos educomunicativos estudantis; • 12 meses: ampliação dos núcleos juvenis e consolidação das ações permanentes.
Realizar oficinas e formações em educomunicação ambiental para estudantes, educadores e agentes públicos.	Capacitar atores estratégicos para o uso qualificado da comunicação ambiental como ferramenta educativa, institucional e comunitária.	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Escolas, universidades, centros de formação, órgãos públicos, espaços comunitários e ambientes institucionais do território. **Metodologia** Realização de oficinas práticas e cursos de curta duração sobre produção audiovisual, comunicação digital, fotografia ambiental, uso estratégico das redes sociais, educação midiática e combate à desinformação ambiental. **Prazo** • 6 meses: elaboração dos conteúdos formativos e planejamento das turmas; • 12 meses: realização das primeiras formações presenciais e híbridas; • 24 meses: expansão do programa formativo e capacitação contínua.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental e Educomunicação		
DIRETRIZ – Valorizar a Mata Atlântica, os ecossistemas costeiros e o turismo sustentável por meio da comunicação ambiental participativa e territorializada		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Produção e difusão de conteúdos educomunicativos voltados à conservação da Mata Atlântica e dos ecossistemas associados.	Promover a valorização e a proteção da Mata Atlântica, manguezais e ecossistemas costeiros por meio da produção e circulação de conteúdos educativos acessíveis à população.	**Espaço** Plataformas digitais, escolas, comunidades costeiras, associações comunitárias, unidades de conservação, espaços culturais e equipamentos públicos do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Produção contínua de vídeos educativos, campanhas digitais temáticas, materiais audiovisuais informativos, registros fotográficos e conteúdos interativos sobre biodiversidade, restauração ecológica, conservação costeira e serviços ecossistêmicos. **Prazos** • 2 meses: planejamento editorial e estruturação dos canais de comunicação; • 6 meses: início da produção regular dos conteúdos; • 12 meses: consolidação da estratégia territorial de comunicação ambiental.
Integração da educomunicação às campanhas de educação ambiental sobre biodiversidade e turismo ecológico.	Fortalecer campanhas ambientais e turísticas sustentáveis do território por meio da comunicação digital e comunitária, ampliando a visibilidade das ações e o engajamento social.	**Espaço** Municípios do território, áreas naturais, eventos culturais e turísticos, escolas e plataformas digitais. **Metodologia** Produção contínua de materiais audiovisuais, cobertura colaborativa de campanhas ambientais e eventos turísticos sustentáveis, divulgação sistemática das ações territoriais e criação de conteúdos educativos temáticos. **Prazos** • 2 meses: articulação institucional e planejamento integrado das campanhas; • 6 meses: execução das primeiras ações conjuntas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: consolidação das campanhas integradas de educomunicação.
Oficinas de educomunicação ambiental com participação de estudantes e comunidades locais.	Capacitar estudantes e comunidades locais para atuarem como multiplicadores de informação ambiental e produtores de conteúdos educomunicativos no território.	**Espaço** Escolas, associações comunitárias, centros culturais, comunidades urbanas e rurais e espaços educativos do território. **Metodologia** Realização de oficinas práticas sobre produção audiovisual comunitária, fotografia ambiental, comunicação digital, uso de redes sociais e storytelling socioambiental. **Prazos** • 6 meses: planejamento metodológico e mobilização dos participantes; • 12 meses: realização das primeiras formações; • 24 meses: expansão das oficinas e consolidação dos núcleos locais de educomunicação.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental e Educomunicação		
DIRETRIZ – Fortalecer a comunicação ambiental territorial voltada à conservação dos recursos naturais, adaptação às mudanças climáticas e convivência sustentável com o semiárido		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Produção e difusão de conteúdos educomunicativos, com ênfase na conservação ambiental e adaptação às mudanças climáticas.	Promover o acesso da população a informações qualificadas sobre conservação ambiental e estratégias de adaptação às mudanças climáticas, fortalecendo práticas sustentáveis no território.	**Espaço** Plataformas digitais institucionais, escolas, comunidades rurais, associações comunitárias,

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		espaços públicos e equipamentos sociais do território. **Metodologia** Produção contínua de vídeos educativos, campanhas digitais temáticas, materiais audiovisuais informativos, reportagens comunitárias e conteúdos interativos sobre uso racional da água, conservação do solo, agroecologia, restauração ambiental e adaptação climática. **Prazos** • 2 meses: planejamento editorial e definição das equipes locais de comunicação; • 6 meses: início da produção sistemática dos conteúdos; • 12 meses: ampliação do alcance territorial e consolidação da estratégia de educomunicação.
Oficinas de educomunicação ambiental em escolas e espaços comunitários.	Capacitar estudantes, educadores e lideranças comunitárias para utilização de ferramentas de comunicação ambiental participativa no território.	**Espaço** Escolas públicas e privadas, associações comunitárias, centros culturais, comunidades rurais e espaços educativos do território. **Metodologia** Realização de oficinas práticas sobre produção audiovisual, fotografia ambiental, comunicação digital, uso estratégico das redes sociais, criação de campanhas educativas e educação midiática.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 6 meses: planejamento metodológico e mobilização dos participantes; • 12 meses: realização das primeiras turmas formativas; • 24 a 32 meses: ampliação das oficinas e formação continuada.
Integrar ações de educomunicação às campanhas educativas e culturais voltadas à biodiversidade, turismo e sustentabilidade.	Fortalecer campanhas territoriais de Educação Ambiental e turismo sustentável por meio da comunicação participativa e digital.	**Espaço** Municípios do território, eventos culturais e turísticos, escolas, espaços públicos e plataformas digitais. **Metodologia** Produção contínua de materiais audiovisuais, cobertura colaborativa de campanhas ambientais, divulgação contínua de eventos sustentáveis e criação de conteúdos educativos temáticos integrados. **Prazos** • 2 meses: articulação institucional e planejamento integrado das campanhas; • 6 meses: execução das primeiras ações conjuntas; • 12 meses: consolidação da educomunicação como ferramenta permanente de apoio às campanhas territoriais.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
EIXO – Educação Ambiental e Educomunicação		
DIRETRIZ – Valorizar a Mata Atlântica, os recursos hídricos e os ecossistemas costeiros por meio da comunicação ambiental participativa e territorializada		
AÇÕES	AÇÕES	METAS
Produzir e difundir conteúdos educomunicativos voltados à conservação da Mata Atlântica, recursos hídricos e ambientes costeiros.	Promover a valorização e a proteção dos ecossistemas costeiros e florestais por meio da produção e disseminação de conteúdos educativos acessíveis à população.	**Espaço** Plataformas digitais, escolas, comunidades costeiras, associações comunitárias, unidades de conservação, espaços públicos e equipamentos culturais do território. **Metodologia** Produção contínua de vídeos educativos, campanhas digitais temáticas, materiais audiovisuais informativos, registros fotográficos e conteúdos interativos sobre biodiversidade marinha, manguezais, recursos hídricos, conservação costeira e serviços ecossistêmicos. **Prazos** • 6 meses: planejamento editorial e estruturação dos canais de comunicação; • 12 meses: início da produção regular dos conteúdos; • 24 a 32 meses: consolidação da estratégia territorial de comunicação ambiental.
Desenvolver ações de educomunicação ambiental integradas às campanhas educativas sobre biodiversidade e clima.	Fortalecer campanhas ambientais territoriais por meio da comunicação digital e comunitária voltadas à conservação da biodiversidade e enfrentamento das mudanças climáticas.	**Espaço** Municípios do território, escolas, áreas naturais, eventos ambientais e plataformas digitais. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Produção contínua de materiais audiovisuais, cobertura colaborativa de campanhas ambientais, divulgação sistemática de ações territoriais e criação de conteúdos educativos temáticos. **Prazos** • 2 meses: articulação institucional e planejamento integrado das campanhas; • 3 meses: execução das primeiras campanhas conjuntas.
Oficinas de educomunicação ambiental com participação de estudantes, comunidades e organizações locais.	Capacitar diferentes atores sociais para atuação como multiplicadores de informação ambiental e produtores de conteúdos educomunicativos no território.	**Espaço** Escolas, associações comunitárias, organizações socioambientais, centros culturais e espaços educativos do território. **Metodologia** Serão realizadas no mínimo 2 (duas) oficinas de educomunicação ambiental por território a cada ano, voltadas a realização de oficinas práticas sobre produção audiovisual comunitária, fotografia ambiental, comunicação digital, uso estratégico das redes sociais, *storytelling* socioambiental e educação midiática. **Prazo** • 6 meses: planejamento metodológico e mobilização dos participantes; • 12 meses: realização das primeiras formações;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: expansão das oficinas e consolidação dos núcleos territoriais de educomunicação.

Fonte: Os autores.

1.10 EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM SANEAMENTO

O saneamento é um dos temas socioambientais mais sensíveis e desafiadores, pois seus impactos incidem de forma imediata sobre a vida cotidiana das pessoas. A ausência de coleta e tratamento de esgoto, o manejo inadequado dos resíduos sólidos, o desperdício de água e os problemas de drenagem geram consequências diretas para a saúde pública, para a poluição dos rios e para a degradação ambiental. Por isso, a Educação Ambiental em Saneamento é fundamental para fortalecer a compreensão da população sobre a relação direta entre saúde, qualidade de vida e gestão adequada da água, do esgotamento sanitário, dos resíduos sólidos e da drenagem urbana.

Esse eixo atua por meio de ações que aproximam os desafios do saneamento da realidade das comunidades. Oficinas, visitas guiadas, campanhas educativas, materiais didáticos, mutirões de limpeza, ações porta a porta e projetos escolares são estratégias eficazes para ampliar o entendimento sobre temas como separação de resíduos, consumo de água, destino correto do óleo de cozinha, importância do tratamento de esgoto, riscos das ligações clandestinas e manutenção de sistemas de drenagem, além de esclarecer como denunciar irregularidades, cobrar investimentos e acompanhar a atuação das prestadoras de serviços públicos.

A participação social é elemento central nesse processo. Quando moradores compreendem como funciona o sistema de saneamento, quais são seus direitos e deveres e de que forma suas atitudes individuais influenciam o coletivo, tornam-se agentes de mudança em seus territórios. Ao mesmo tempo, passam a entender que a responsabilidade pelo saneamento não recai apenas sobre o indivíduo, mas envolve principalmente a atuação eficiente das empresas de abastecimento e coleta, o cumprimento de normas pelas indústrias e a garantia de políticas públicas adequadas pelo governo.

No contexto do PEACP/SE, a Educação Ambiental em Saneamento assume papel estratégico ao articular saber técnico e conhecimento comunitário, reconhecendo a diversidade dos territórios sergipanos e suas realidades urbanas e rurais. Assim, promove uma cultura de cuidado com os recursos hídricos, incentiva a adoção de hábitos sustentáveis e fortalece o entendimento de que empresas, indústrias e governos devem garantir a manutenção dos sistemas, ampliar coberturas, cumprir a legislação ambiental e assegurar equidade no acesso aos serviços.

Dessa forma, a Educação Ambiental em Saneamento amplia a consciência coletiva, fortalece políticas públicas e apoia o desenvolvimento de comunidades mais

resilientes, saudáveis, ao mesmo tempo em que estimula a população a exigir transparência, investimentos adequados e responsabilidade das instituições envolvidas no saneamento básico.

Diante da diversidade de desafios relacionados ao saneamento básico no estado, o Quadro 7, inserido a seguir, detalha as diretrizes e ações por território, permitindo que cada região trabalhe suas fragilidades e potencialidades de forma específica e integrada.

Quadro 7. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental em Saneamento

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental em Saneamento		
DIRETRIZ – Fortalecer a gestão integrada de resíduos sólidos, o consumo consciente e a participação social na melhoria das condições sanitárias urbanas e rurais do território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Promover ações de capacitação em Saneamento Rural a moradores e produtores na Zona Rural.	Promover a capacitação para ações de saneamento básico no meio rural, com foco na redução de desigualdades e na promoção da saúde pública.	**Espaço** Centros comunitários rurais, associações de moradores, sindicatos rurais, escolas do campo, unidades de saúde rural, prefeituras municipais, universidades parceiras e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido quando necessário). **Metodologia** Realização de 1 (uma) turma de capacitação por território rural prioritário a cada ano, com mínimo de 20 (vinte) participantes por turma, contemplando lideranças comunitárias, agentes de saúde, técnicos municipais, professores do campo e representantes de associações locais. O curso será estruturado em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos do saneamento básico no meio rural; • Diretrizes, princípios e instrumentos do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR); • Abastecimento de água em comunidades rurais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Esgotamento sanitário, soluções individuais e coletivas; • Manejo adequado de resíduos sólidos no meio rural; • Drenagem e manejo de águas pluviais; • Tecnologias sociais de saneamento rural; • Saúde pública, saneamento e qualidade de vida; • Participação comunitária e controle social; • Planejamento, implantação e monitoramento de ações de saneamento rural. **Prazos** • 1 a 6 meses: Planejamento pedagógico, articulação institucional, seleção de territórios prioritários e mobilização comunitária; • 6 a 12 meses: Execução da 1ª rodada de cursos territoriais do PNSR; • 12 a 24 meses: Ampliação para novos territórios, consolidação metodológica e acompanhamento das ações implantadas.
Educação e Capacitação para a Regulação e Gestão das Águas e Saneamento.	Capacitar gestores públicos, técnicos, conselheiros, usuários e representantes da sociedade civil para a regulação e gestão integrada das águas e do saneamento, fortalecendo a governança hídrica, a eficiência dos serviços públicos e a universalização do acesso à água e ao saneamento básico.	**Espaço** Comunidades rurais e assentamentos, escolas do campo e escolas-polo rurais e sedes de associações comunitárias e cooperativas. **Metodologia** Serão realizadas no mínimo 2 (duas) capacitações técnicas anuais por território, voltadas a gestores

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		públicos, conselheiros municipais, técnicos de saneamento, lideranças comunitárias e representantes de comitês de bacia, abordando regulação, planejamento, monitoramento e gestão integrada dos serviços de água e saneamento. A capacitação será organizada em módulos teórico-práticos, contemplando: • Fundamentos da gestão de recursos hídricos; • Políticas públicas de águas e saneamento básico; • Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020); • Regulação, fiscalização e controle social dos serviços de saneamento; • Planejamento e gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas; • Outorga, cobrança e enquadramento dos corpos d'água; • Governança hídrica e comitês de bacia; • Mediação de conflitos pelo uso da água; • Indicadores de desempenho e qualidade dos serviços; • Sustentabilidade econômico-financeira dos sistemas de água e esgoto. **Prazos** 6 meses: • Planejamento da capacitação; • Articulação com prefeituras, conselhos municipais e lideranças rurais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Levantamento das demandas locais de saneamento rural; • Produção de material didático; • Mobilização e inscrição dos participantes. 12 meses: • Realização das turmas do curso; • Oficinas práticas sobre tecnologias sociais de saneamento; • Acompanhamento inicial das soluções implantadas nas comunidades; • Avaliação participativa da capacitação. • 24 meses: • Consolidação do curso como programa permanente; • Expansão para novos territórios rurais; • Monitoramento dos impactos em saúde pública e qualidade ambiental; • Atualização periódica dos conteúdos conforme políticas públicas.
Palestras e oficinas sobre coleta seletiva, destinação adequada de resíduos e consumo consciente.	Promover a mudança de comportamento da população em relação ao manejo de resíduos sólidos e ao consumo consciente, reduzindo a geração de resíduos e os impactos ambientais associados.	**Espaço** Escolas, associações comunitárias, feiras livres, centros comunitários, bairros urbanos e comunidades rurais do território. **Metodologia** Realização de 6 palestras educativas, 4 oficinas práticas sobre separação de resíduos, reaproveitamento de materiais e 4 campanhas informativas direcionadas a moradores, estudantes e comerciantes locais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: planejamento metodológico e mobilização comunitária; • 12 meses: realização das primeiras ações educativas territoriais; • 24 meses: ampliação das ações e institucionalização das atividades formativas.
Implantação e divulgação de ecopontos para descarte de entulho, óleo de cozinha e lixo eletrônico.	Ampliar o acesso da população a pontos adequados de descarte de resíduos especiais, reduzindo o descarte irregular e a contaminação ambiental.	**Espaço** Áreas urbanas estratégicas, mercados públicos, praças, equipamentos públicos municipais e zonas de grande circulação no território. **Metodologia** Implantação e sinalização de pelo menos 2 ecopontos, 10 campanhas educativas de divulgação, produção de materiais informativos e ações de orientação à população sobre uso correto dos pontos de entrega voluntária. **Prazo** • 6 meses: definição dos locais e articulação institucional; • 12 meses: implantação dos primeiros ecopontos e início das campanhas; • 24 a 32 meses: ampliação da rede de ecopontos e monitoramento do uso.
Projetos escolares de leitura, escrita e práticas ambientais voltadas ao saneamento.	Inserir o tema saneamento básico no cotidiano escolar por meio de práticas pedagógicas integradas, fortalecendo a formação cidadã de crianças e adolescentes.	**Espaço** Escolas públicas e privadas do território e espaços pedagógicos comunitários.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia Desenvolvimento de pelo menos 1 projeto interdisciplinar e contínuo envolvendo leitura, produção textual, atividades práticas, hortas escolares, campanhas internas e ações educativas sobre água, resíduos e esgotamento sanitário. **Prazo** • 6 meses: elaboração dos materiais pedagógicos e capacitação inicial dos educadores; • 12 meses: implementação dos projetos escolares; • 24 a 32 meses: ampliação das escolas participantes e consolidação das práticas.
Institucionalização de data municipal para Educação Ambiental em Saneamento.	Fortalecer a agenda pública de saneamento por meio da criação de um marco anual de mobilização, sensibilização e educação ambiental.	**Espaço** Rede municipal de ensino, espaços públicos, órgãos municipais e comunidades do território. **Metodologia** Instituição oficial da data no calendário escolar, realização de semanas temáticas, eventos educativos, campanhas públicas e atividades integradas entre escolas e comunidades. **Prazo** • 6 meses: articulação institucional e elaboração da proposta normativa; • 12 meses: aprovação e inclusão no calendário escolar;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: consolidação das atividades anuais permanentes.
Incentivo ao descarte adequado de resíduos gerados por pequenas e médias indústrias e comércios locais.	Reduzir impactos ambientais provenientes das atividades comerciais e industriais locais, promovendo conformidade ambiental e responsabilidade socioambiental.	**Espaço** Zonas comerciais, áreas industriais, feiras, mercados públicos e estabelecimentos produtivos do território. **Metodologia** Realização de 6 oficinas orientativas, visitas técnicas educativas, campanhas informativas e elaboração de materiais sobre segregação de resíduos, logística reversa e destinação ambientalmente adequada. **Prazo** • 6 meses: mapeamento dos setores prioritários e planejamento das ações; • 12 meses: início das atividades educativas junto aos empreendedores; • 24 a 32 meses: ampliação do alcance e consolidação das práticas.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental em Saneamento		
DIRETRIZ – Promover práticas sustentáveis de saneamento adaptadas ao semiárido, fortalecendo a saúde pública, a proteção dos recursos hídricos e a gestão comunitária.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Palestras e oficinas comunitárias sobre descarte correto de resíduos sólidos, coleta seletiva e prevenção de doenças endêmicas.	Ampliar o conhecimento da população sobre a relação entre saneamento inadequado, saúde pública e degradação ambiental, reduzindo riscos sanitários.	**Espaço** Comunidades rurais, bairros urbanos, escolas, associações comunitárias e unidades de saúde do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia Realização de 6 palestras educativas, oficinas práticas e campanhas informativas sobre manejo de resíduos, limpeza de quintais, prevenção da dengue e outras doenças associadas ao saneamento precário. **Prazo** • 6 meses: planejamento das ações e mobilização comunitária; • 12 meses: execução das primeiras atividades educativas; • 24 a 32 meses: ampliação e institucionalização das ações.
Implantação e divulgação de ecopontos para descarte adequado de entulho, óleo de cozinha e resíduos eletrônicos e desenvolver campanhas educativas sobre o descarte inadequado e seus impactos ambientais.	Reduzir o descarte irregular de resíduos especiais e seus impactos ambientais, ampliando alternativas de destinação adequada no território.	**Espaço** Sedes municipais, comunidades rurais estratégicas, mercados públicos e equipamentos urbanos do território. **Metodologia** Implantação de pelo menos 1 ecoponto, 6 campanhas educativas territoriais, produção de materiais informativos e ações de orientação comunitária. **Prazos** • 6 meses: definição dos locais e articulação institucional; • 12 meses: implantação dos primeiros ecopontos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: ampliação da cobertura territorial.
Promover ações de capacitação em Saneamento Rural a moradores e produtores na Zona Rural.	Promover a capacitação para ações de saneamento básico no meio rural, com foco na redução de desigualdades e na promoção da saúde pública	**Espaço** Centros comunitários rurais, associações de moradores, escolas do campo, sindicatos rurais, unidades de saúde rural, prefeituras municipais, polos territoriais de capacitação e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido quando necessário). **Metodologia** Realização de 2 (duas) turmas por ano e por território com mínimo de 20 (vinte) participantes por turma, priorizando comunidades com maior déficit de saneamento básico. O curso será estruturado em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos do saneamento básico no meio rural; • Diretrizes, princípios e instrumentos do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR); • Abastecimento de água em comunidades rurais; • Esgotamento sanitário, soluções individuais e coletivas; • Manejo adequado de resíduos sólidos no meio rural; • Drenagem e manejo de águas pluviais; • Tecnologias sociais de saneamento rural;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Saúde pública, saneamento e qualidade de vida; • Participação comunitária e controle social; • Planejamento, implantação e monitoramento de ações de saneamento rural. **Prazos** • 1 a 6 meses: Planejamento pedagógico, articulação institucional e definição dos territórios prioritários a serem atendidos no ciclo; • 6 a 12 meses: Execução das turmas nos territórios selecionados; • 12 a 24 meses: Replicação do curso em novos territórios, mantendo o modelo metodológico e acompanhando os resultados das turmas anteriores.
Ações comunitárias de limpeza de corpos hídricos, matas ciliares e áreas degradadas.	Reduzir a poluição ambiental e fortalecer o engajamento comunitário na conservação dos recursos naturais.	**Espaço** Rios, açudes, áreas de nascentes, matas ciliares, espaços comunitários e zonas degradadas do território. **Metodologia** Realização periódica de mutirões de limpeza, ações educativas integradas e campanhas comunitárias de sensibilização. **Prazos** • 6 meses: organização logística e mobilização social;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: realização dos primeiros mutirões; • 24 a 32 meses: institucionalização das ações comunitárias.
Palestras comunitárias sobre o ciclo da água, tratamento do esgoto e impactos do descarte inadequado.	Fortalecer a compreensão da população sobre o funcionamento dos sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário e seus impactos ambientais.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas, associações comunitárias e espaços públicos do território. **Metodologia** Realização de 4 palestras educativas, rodas de conversa e produção de materiais informativos sobre uso racional da água, tratamento de esgoto e proteção de mananciais. **Prazos** • 6 meses: planejamento metodológico; • 12 meses: execução das primeiras ações educativas; • 24 meses: ampliação do alcance territorial.
Campanhas porta a porta com orientação sobre descarte correto de esgoto, ligações clandestinas e fossas irregulares.	Reduzir práticas irregulares de esgotamento sanitário e orientar a população sobre soluções adequadas e legalmente permitidas.	**Espaço** Bairros urbanos, comunidades rurais e áreas prioritárias com déficit de saneamento. **Metodologia** Realização de visitas educativas domiciliares, distribuição de materiais informativos, orientações técnicas simplificadas e encaminhamento de demandas aos órgãos competentes. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: planejamento e capacitação das equipes; • 12 meses: início das campanhas porta a porta; • 24 a 32 meses: expansão e consolidação das ações educativas.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental em Saneamento		
DIRETRIZ – Fortalecer a proteção dos recursos hídricos e a gestão adequada de resíduos sólidos nas comunidades ribeirinhas, promovendo saúde pública e conservação do Rio São Francisco.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Ações educativas voltadas à destinação adequada de resíduos sólidos e proteção dos corpos hídricos.	Reduzir a poluição dos corpos hídricos e melhorar as práticas comunitárias de manejo de resíduos sólidos, contribuindo para a conservação do Rio São Francisco e seus afluentes.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, escolas, associações comunitárias, feiras livres e espaços públicos do território. **Metodologia** Realização de 6 oficinas educativas, campanhas comunitárias, palestras informativas e produção de materiais didáticos sobre separação de resíduos, descarte correto e impactos ambientais da poluição hídrica. **Prazos** • 6 meses: planejamento das ações e mobilização social; • 12 meses: execução das primeiras atividades educativas; • 24 a 32 meses: ampliação territorial e consolidação das ações.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Ações periódicas de limpeza de rios, córregos e áreas ribeirinhas com participação comunitária.	Reduzir o acúmulo de resíduos nas margens dos corpos hídricos e fortalecer o engajamento comunitário na conservação ambiental.	**Espaço** Margens do Rio São Francisco, córregos urbanos, áreas ribeirinhas e espaços comunitários do território. **Metodologia** Realização periódica de mutirões de limpeza com participação de moradores, associações comunitárias, escolas, poder público e organizações parceiras. **Prazos** • 6 meses: organização logística e articulação institucional; • 12 meses: realização dos primeiros mutirões territoriais; • 24 a 32 meses: institucionalização das ações comunitárias regulares.
Palestras comunitárias sobre o ciclo da água, tratamento do esgoto e impactos diretos no Rio São Francisco.	Ampliar o entendimento da população sobre a relação entre saneamento, saúde pública e conservação do Rio São Francisco.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, escolas, centros comunitários, unidades de saúde e espaços públicos do território. **Metodologia** Realização de 4 palestras educativas, rodas de conversa e ações informativas sobre abastecimento de água, esgotamento sanitário, contaminação hídrica e proteção de mananciais. **Prazo** • 6 meses: planejamento metodológico;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das primeiras ações educativas; • 24 meses: ampliação do alcance territorial.
Campanhas porta a porta em áreas críticas próximas a rios e córregos poluídos por esgoto doméstico.	Orientar moradores sobre práticas adequadas de esgotamento sanitário e reduzir lançamentos irregulares de efluentes nos corpos hídricos.	**Espaço** Bairros urbanos e comunidades ribeirinhas localizadas próximas a rios, córregos e áreas com histórico de poluição por esgoto doméstico. **Metodologia** Serão realizadas campanhas porta a porta com periodicidade semestral em cada município prioritário, incluindo visitas educativas domiciliares, distribuição de materiais informativos, orientações técnicas simplificadas sobre saneamento e saúde ambiental, além do encaminhamento sistematizado de demandas aos órgãos competentes. **Prazo** • 6 meses: mapeamento das áreas prioritárias e capacitação das equipes; • 12 meses: início das campanhas porta a porta; • 24 a 32 meses: ampliação e consolidação das ações educativas.
Encontros com lideranças comunitárias para formação de multiplicadores de informação em saneamento ambiental.	Fortalecer lideranças locais como agentes multiplicadores de informação e mobilização em temas relacionados ao saneamento básico.	**Espaço** Associações comunitárias, escolas, centros comunitários e espaços institucionais do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Realização de 6 encontros formativos, capacitações técnicas básicas, oficinas participativas e acompanhamento contínuo das lideranças comunitárias. **Prazos** • 6 meses: identificação das lideranças e planejamento das formações; • 12 meses: realização dos primeiros ciclos formativos; • 24 a 32 meses: consolidação da rede de multiplicadores comunitários.
Promover ações de capacitação em Saneamento Rural a moradores e produtores na Zona Rural..	Promover a capacitação para ações de saneamento básico no meio rural, com foco na redução de desigualdades e na promoção da saúde pública.	**Espaço** Comunidades rurais prioritárias, associações comunitárias, escolas do campo, unidades básicas de saúde rural, sindicatos rurais, prefeituras municipais, polos territoriais de capacitação e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido quando necessário). **Metodologia** Realização de 1 (uma) turma de capacitação por território atendido no ciclo de execução, com mínimo de 20 (vinte) participantes por turma, priorizando agentes comunitários, lideranças rurais, técnicos municipais, professores do campo e representantes de associações locais. O curso será estruturado em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos do saneamento básico no meio rural;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Diretrizes, princípios e instrumentos do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR); • Abastecimento de água em comunidades rurais; • Esgotamento sanitário, soluções individuais e coletivas; • Manejo adequado de resíduos sólidos no meio rural; • Drenagem e manejo de águas pluviais; • Tecnologias sociais de saneamento rural; • Saúde pública, saneamento e qualidade de vida; • Participação comunitária e controle social; • Planejamento, implantação e monitoramento de ações de saneamento rural. **Prazos** • 1 a 4 meses: Planejamento pedagógico, adaptação metodológica ao território, mobilização comunitária e articulação institucional; • 4 a 10 meses: Execução das capacitações presenciais e híbridas; • 10 a 18 meses: Acompanhamento técnico das comunidades atendidas, monitoramento dos resultados e ajustes metodológicos.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
EIXO – Educação Ambiental em Saneamento		
DIRETRIZ – Promover práticas sustentáveis de saneamento urbano e industrial, integrando educação ambiental, escola e setor produtivo.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Ações educativas sobre destinação adequada de resíduos sólidos urbanos e resíduos da indústria e comércio têxtil.	Reduzir impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos urbanos e industriais, promovendo conformidade ambiental e responsabilidade socioambiental.	**Espaço** Zonas urbanas, áreas industriais, comércios têxteis, escolas, associações empresariais e espaços públicos do território. **Metodologia** Serão realizadas no mínimo 2 (duas) ações educativas anuais por município, entre oficinas educativas, palestras técnicas, campanhas informativas e visitas orientativas a estabelecimentos comerciais e industriais, voltadas à destinação adequada de resíduos sólidos urbanos e resíduos da indústria e comércio têxtil. **Prazos** • 6 meses: mapeamento dos setores prioritários e planejamento das ações; • 12 meses: início das atividades educativas junto aos empreendedores; • 24 meses: ampliação do alcance e consolidação das práticas sustentáveis.
Atividades escolares práticas voltadas à reutilização de materiais e compostagem.	Fortalecer práticas sustentáveis no ambiente escolar por meio da educação prática sobre reaproveitamento de resíduos e gestão de resíduos orgânicos.	**Espaço** Escolas públicas e privadas do território e espaços pedagógicos comunitários. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Será implantado ao menos 1 (um) projeto de compostagem por unidade escolar participante, acompanhado de oficinas práticas, campanhas internas de redução de resíduos orgânicos e atividades pedagógicas integradas, articuladas ao currículo escolar e às ações de educação ambiental. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico e capacitação inicial dos educadores; • 12 meses: implementação dos primeiros projetos escolares; • 24 meses: ampliação do número de escolas participantes.
Educação e Capacitação para a Regulação e Gestão das Águas e Saneamento.	Capacitar gestores públicos, técnicos, conselheiros, usuários e representantes da sociedade civil para a regulação e gestão integrada das águas e do saneamento, fortalecendo a governança hídrica, a eficiência dos serviços públicos e a universalização do acesso à água e ao saneamento básico.	**Espaço** Comunidades rurais e assentamentos, escolas do campo e escolas-polo rurais e sedes de associações comunitárias e cooperativas. **Metodologia** Realização de 2 (duas) turmas de capacitação por território a cada ciclo anual, com mínimo de 20 (vinte) participantes por turma, envolvendo gestores públicos, técnicos municipais, membros de comitês de bacia, conselheiros e lideranças comunitárias. A capacitação será organizada em módulos teórico-práticos, contemplando: • Fundamentos da gestão de recursos hídricos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Políticas públicas de águas e saneamento básico; • Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020); • Regulação, fiscalização e controle social dos serviços de saneamento; • Planejamento e gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas; • Outorga, cobrança e enquadramento dos corpos d'água; • Governança hídrica e comitês de bacia; • Mediação de conflitos pelo uso da água; • Indicadores de desempenho e qualidade dos serviços; • Sustentabilidade econômico-financeira dos sistemas de água e esgoto. **Prazos** 6 meses: • Planejamento da capacitação; • Articulação com prefeituras, conselhos municipais e lideranças rurais; • Levantamento das demandas locais de saneamento rural; • Produção de material didático; • Mobilização e inscrição dos participantes. 12 meses: • Realização das turmas do curso; • Oficinas práticas sobre tecnologias sociais de saneamento;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Acompanhamento inicial das soluções implantadas nas comunidades; • Avaliação participativa da capacitação. • 24 meses: • Consolidação do curso como programa permanente; • Expansão para novos territórios rurais; • Monitoramento dos impactos em saúde pública e qualidade ambiental; • Atualização periódica dos conteúdos conforme políticas públicas.
Inserção de conteúdos de saneamento ambiental e recursos hídricos nos Projetos Político-Pedagógicos das escolas.	Institucionalizar o tema saneamento ambiental no currículo escolar, fortalecendo a formação cidadã e ambiental dos estudantes.	**Espaço** Rede municipal e estadual de ensino do território Centro-Sul. **Metodologia** Revisão dos Projetos Político-Pedagógicos, elaboração de materiais didáticos de apoio, formação de educadores e acompanhamento da implementação dos conteúdos. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional e elaboração das propostas pedagógicas; • 12 meses: inserção dos conteúdos nos PPP; • 24 a 32 meses: acompanhamento e consolidação das práticas pedagógicas.
Palestras comunitárias sobre o ciclo da água e impactos do descarte inadequado de esgoto.	Ampliar o conhecimento da população sobre saneamento básico, saúde pública e proteção dos recursos hídricos.	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Comunidades urbanas e rurais, escolas, associações comunitárias e espaços públicos do território. **Metodologia** Serão realizadas no mínimo 3 (três) ações educativas comunitárias por município a cada ano, incluindo palestras públicas, rodas de conversa e campanhas informativas sobre uso racional da água, tratamento de esgoto e impactos ambientais associados. **Prazos** • 6 meses: planejamento metodológico; • 12 meses: execução das primeiras ações educativas; • 24 a 32 meses: ampliação territorial das atividades.
Promover ações de capacitação em Saneamento Rural a moradores e produtores na Zona Rural..	Promover a capacitação para ações de saneamento básico no meio rural, com foco na redução de desigualdades e na promoção da saúde pública.	**Espaço** Comunidades rurais prioritárias, associações comunitárias, escolas do campo, unidades básicas de saúde rural, sindicatos rurais, prefeituras municipais, polos territoriais de capacitação e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido quando necessário). **Metodologia** Realização de 1 (uma) turma de capacitação por território atendido no ciclo de execução, com mínimo de 20 (vinte) participantes por turma, priorizando lideranças comunitárias, agentes de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		saúde, técnicos municipais, professores do campo e representantes de associações locais. **Metodologia** O curso será estruturado em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos do saneamento básico no meio rural; • Diretrizes, princípios e instrumentos do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR); • Abastecimento de água em comunidades rurais; • Esgotamento sanitário, soluções individuais e coletivas; • Manejo adequado de resíduos sólidos no meio rural; • Drenagem e manejo de águas pluviais; • Tecnologias sociais de saneamento rural; • Saúde pública, saneamento e qualidade de vida; • Participação comunitária e controle social; • Planejamento, implantação e monitoramento de ações de saneamento rural. **Prazos** • 1 a 4 meses: Planejamento pedagógico, mobilização comunitária e articulação institucional.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 4 a 10 meses: Execução das capacitações presenciais e híbridas. • 10 a 18 meses: Acompanhamento técnico das comunidades atendidas e monitoramento dos resultados.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental em Saneamento		
DIRETRIZ – Fortalecer a gestão do saneamento urbano por meio da educação ambiental, da participação social e da valorização dos catadores, promovendo saúde pública e resiliência climática.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Promover campanhas massivas de conscientização sobre coleta seletiva, resíduos sólidos e prevenção de doenças endêmicas.	Ampliar o conhecimento da população urbana sobre o manejo adequado dos resíduos sólidos e sua relação direta com a saúde pública e a prevenção de doenças endêmicas.	**Espaço** Bairros urbanos, escolas, unidades de saúde, terminais de transporte, feiras livres e canais digitais institucionais da Grande Aracaju. **Metodologia** Realização de 2 campanhas massivas de comunicação ambiental, com produção de materiais educativos, 2 ações presenciais em espaços públicos anualmente, divulgação em mídias digitais e atividades educativas em escolas e comunidades. **Prazo** • 6 meses: planejamento das campanhas e produção dos materiais; • 12 meses: lançamento das primeiras campanhas territoriais; • 24 a 32 meses: campanhas contínuas, com avaliações periódicas de alcance.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Implantar e divulgar ecopontos para descarte de resíduos especiais em áreas urbanas.	Reduzir o descarte irregular de resíduos especiais e minimizar seus impactos ambientais e sanitários nas áreas urbanas.	**Espaço** Áreas urbanas estratégicas, mercados públicos, praças, equipamentos públicos e zonas de grande circulação da Grande Aracaju. **Metodologia** Implantação e sinalização de 4 a 8 ecopontos para descarte de resíduos especiais (eletrônicos, óleo de cozinha, pilhas, baterias e pequenos volumes de entulho), associadas a 4 a 6 campanhas educativas de divulgação e orientação à população. **Prazos** • 6 meses: definição dos locais e articulação institucional; • 12 meses: implantação dos primeiros ecopontos; • 24 a 32 meses: ampliação da rede e monitoramento do uso.
Fortalecimento da atuação de cooperativas de catadores como agentes ambientais da coleta seletiva.	Valorizar os catadores como protagonistas da política de resíduos sólidos, promovendo inclusão social, geração de renda e fortalecimento da coleta seletiva.	**Espaço** Cooperativas de catadores, áreas urbanas atendidas pela coleta seletiva e espaços institucionais do território. **Metodologia** Realização de 2 oficinas formativas, campanhas educativas voltadas à população urbana, apoio técnico à organização das cooperativas e ações de sensibilização sobre separação adequada de resíduos.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: diagnóstico participativo e planejamento das ações; • 12 meses: início das capacitações e campanhas educativas; • 24 a 32 meses: ampliação da atuação das cooperativas e consolidação das ações.
Ações educativas sobre saneamento ambiental no currículo escolar municipal.	Fortalecer a formação cidadã de crianças e adolescentes por meio da integração do saneamento ambiental ao processo educativo formal.	**Espaço** Rede municipal de ensino e espaços pedagógicos complementares da Grande Aracaju. **Metodologia** Elaboração de conteúdos pedagógicos, formação de educadores, desenvolvimento de projetos escolares e atividades práticas relacionadas a resíduos, água, esgoto e drenagem urbana. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional e elaboração dos conteúdos; • 12 meses: inserção nos projetos pedagógicos e início das atividades; • 24 a 32 meses: consolidação e ampliação das práticas educativas.
Educação Ambiental voltada à compreensão dos problemas de alagamento urbano, relacionando descarte inadequado de resíduos, ocupação de áreas de risco e funcionamento dos sistemas de drenagem urbana, por meio de palestras comunitárias, campanhas informativas e atividades educativas em escolas e comunidades.	Promover a compreensão dos problemas de alagamento urbano, relacionando descarte inadequado de resíduos, ocupação de áreas de risco e funcionamento dos sistemas de drenagem.	**Espaço** Bairros sujeitos a alagamentos, escolas, associações comunitárias e espaços públicos da Grande Aracaju. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Realização de 4 palestras comunitárias, campanhas informativas, atividades educativas em escolas e ações de sensibilização em comunidades vulneráveis. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das áreas prioritárias e planejamento; • 12 meses: execução das primeiras ações educativas; • 24 a 32 meses: continuidade e fortalecimento das ações preventivas.
Educação e Capacitação para a Regulação e Gestão das Águas e Saneamento	Capacitar gestores públicos, técnicos, conselheiros, usuários e representantes da sociedade civil para a regulação e gestão integrada das águas e do saneamento, fortalecendo a governança hídrica, a eficiência dos serviços públicos e a universalização do acesso à água e ao saneamento básico.	**Espaço** Comunidades rurais e assentamentos, escolas do campo e escolas-polo rurais e sedes de associações comunitárias e cooperativas. **Metodologia** Deverá instituído 1 programa permanente de capacitação em regulação e gestão das águas e saneamento no território, sendo que deverão ser realizadas 2 (duas) turmas de capacitação por ano. A capacitação será organizada em módulos teórico-práticos, contemplando: • Fundamentos da gestão de recursos hídricos; • Políticas públicas de águas e saneamento básico; • Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020);

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Regulação, fiscalização e controle social dos serviços de saneamento; • Planejamento e gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas; • Outorga, cobrança e enquadramento dos corpos d'água; • Governança hídrica e comitês de bacia; • Mediação de conflitos pelo uso da água; • Indicadores de desempenho e qualidade dos serviços; • Sustentabilidade econômico-financeira dos sistemas de água e esgoto. **Prazos** 6 meses: • Planejamento da capacitação; • Articulação com prefeituras, conselhos municipais e lideranças rurais; • Levantamento das demandas locais de saneamento rural; • Produção de material didático; • Mobilização e inscrição dos participantes. 12 meses: • Realização das turmas do curso; • Oficinas práticas sobre tecnologias sociais de saneamento; • Acompanhamento inicial das soluções implantadas nas comunidades; • Avaliação participativa da capacitação. • 24 meses:

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Consolidação do curso como programa permanente; • Expansão para novos territórios rurais; • Monitoramento dos impactos em saúde pública e qualidade ambiental; • Atualização periódica dos conteúdos conforme políticas públicas.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental em Saneamento		
DIRETRIZ – Promover práticas adequadas de saneamento em áreas urbanas e turísticas, protegendo recursos hídricos e fortalecendo a saúde pública.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Campanhas educativas sobre descarte correto de resíduos sólidos em áreas urbanas e turísticas.	Reduzir o descarte inadequado de resíduos sólidos e seus impactos ambientais em áreas urbanas e turísticas do território.	**Espaço** Cidades litorâneas, áreas urbanas, praias, espaços turísticos, escolas e comunidades do território. **Metodologia** 4 Campanhas educativas presenciais e digitais, distribuição de materiais informativos e ações de sensibilização junto a moradores, turistas e comerciantes por ano. **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas e produção dos materiais; • 12 meses: realização das primeiras campanhas; • 24 a 32 meses: ampliação e continuidade das ações.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Ações comunitárias de limpeza de corpos hídricos e áreas públicas.	Reduzir a poluição ambiental e fortalecer o engajamento comunitário na conservação dos espaços públicos e recursos hídricos.	**Espaço** Rios, córregos, praias, praças públicas e áreas urbanas do território. **Metodologia** Serão realizados 4 mutirões comunitários de limpeza, com participação de moradores, escolas, associações e poder público por ano. **Prazos** • 6 meses: mobilização social e organização logística; • 12 meses: realização dos primeiros mutirões; • 24 a 32 meses: institucionalização das ações comunitárias.
Palestras comunitárias sobre esgotamento sanitário, saúde pública e proteção dos recursos hídricos.	Ampliar o entendimento da população sobre a relação entre esgotamento sanitário, saúde coletiva e conservação ambiental.	**Espaço** Comunidades urbanas, escolas, associações comunitárias e unidades de saúde do território. **Metodologia** • Serão realizadas 1 a 2 de palestras educativas, sobre tratamento de esgoto, contaminação hídrica e prevenção de doenças; • 1 a 2 rodas de conversa e ações informativas. **Prazos** • 6 meses: planejamento metodológico; • 12 meses: execução das primeiras palestras;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 32 meses: ampliação do alcance territorial.
Campanhas informativas com materiais educativos sobre os impactos do esgoto não tratado.	Sensibilizar a população sobre os impactos ambientais, sanitários e econômicos do lançamento de esgoto sem tratamento.	**Espaço** Bairros urbanos, áreas próximas a corpos hídricos, escolas e espaços públicos do território. **Metodologia** • Serão produzidos e distribuição 1.000 de materiais educativos (panfletos e cartilhas); • 2 campanhas anuais em mídias digitais; • ações informativas em comunidades e articulação com lideranças locais. **Prazos** • 6 meses: elaboração dos materiais educativos; • 12 meses: lançamento das campanhas informativas; • 24 a 32 meses: continuidade e reforço das ações educativas.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental em Saneamento		
DIRETRIZ – Promover práticas sustentáveis de saneamento no semiárido, integrando saúde ambiental, gestão de resíduos e educação formal e comunitária.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Ações educativas sobre coleta seletiva, destinação adequada de resíduos e saúde ambiental.	Fortalecer a compreensão da população sobre a relação entre manejo adequado de resíduos sólidos, saúde pública e qualidade ambiental.	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, escolas, associações comunitárias, feiras livres e espaços públicos do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia Realização de 6 oficinas educativas, palestras comunitárias, campanhas informativas e ações de sensibilização sobre separação de resíduos, descarte correto e prevenção de doenças associadas ao saneamento inadequado. **Prazos** • 6 meses: planejamento das ações e mobilização comunitária; • 12 meses: execução das primeiras atividades educativas; • 24 a 32 meses: ampliação territorial e consolidação das ações.
Implantação e divulgação de ecopontos para resíduos especiais, como óleo de cozinha e lixo eletrônico.	Reduzir o descarte inadequado de resíduos especiais e seus impactos ambientais e sanitários no território.	**Espaço** Sedes municipais, áreas urbanas estratégicas, mercados públicos, escolas e equipamentos comunitários do Médio Sertão. **Metodologia** Implantação e sinalização de ecopontos (mínimo 1) para descarte de óleo de cozinha usado, resíduos eletrônicos, pilhas e baterias, associadas a campanhas educativas de divulgação e orientação à população. **Prazos** • 6 meses: definição dos locais e articulação institucional;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: implantação dos primeiros ecopontos; • 24 a 32 meses: ampliação da rede e monitoramento do uso.
Promover ações de capacitação em Saneamento Rural a moradores e produtores na Zona Rural..	Promover a capacitação para ações de saneamento básico no meio rural, com foco na redução de desigualdades e na promoção da saúde pública.	**Espaço** Comunidades rurais do território, priorizando localidades com maior vulnerabilidade socioambiental e déficit de saneamento básico, como: povoados rurais, assentamentos, comunidades tradicionais e escolas do campo e associações comunitárias. **Metodologia** Será implementado 1 programa anual de capacitação em saneamento rural. O curso será estruturado em módulos teórico-práticos, abordando: • Fundamentos do saneamento básico no meio rural; • Diretrizes, princípios e instrumentos do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR); • Abastecimento de água em comunidades rurais; • Esgotamento sanitário, soluções individuais e coletivas; • Manejo adequado de resíduos sólidos no meio rural; • Drenagem e manejo de águas pluviais; • Tecnologias sociais de saneamento rural;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Saúde pública, saneamento e qualidade de vida; • Participação comunitária e controle social; • Planejamento, implantação e monitoramento de ações de saneamento rural. **Prazos** • 6 meses: planejamento do programa, mobilização comunitária e definição das comunidades prioritárias. • 12 meses: realização da 1ª turma de capacitação e início da elaboração dos planos comunitários de saneamento. • 24 meses: implantação das soluções demonstrativas e monitoramento e avaliação dos resultados.
Atividades práticas em escolas, como hortas escolares com compostagem e oficinas de reutilização de materiais.	Promover práticas sustentáveis no ambiente escolar, fortalecendo a educação ambiental aplicada ao saneamento e à gestão de resíduos.	**Espaço** Escolas públicas municipais e espaços pedagógicos comunitários do território. **Metodologia** Implantação de hortas escolares com compostagem, realização de oficinas de reutilização de materiais, atividades pedagógicas integradas e campanhas internas de redução de resíduos em cada uma das escolas participantes. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico e capacitação inicial dos educadores;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: implementação das primeiras experiências práticas; • 24 meses: ampliação para outras unidades escolares.
Inserção de conteúdos de saneamento ambiental, resíduos sólidos e recursos hídricos nos Projetos Político-Pedagógicos das escolas municipais.	Institucionalizar o tema saneamento ambiental no currículo escolar municipal, fortalecendo a formação cidadã e ambiental dos estudantes.	**Espaço** Rede municipal de ensino do território Médio Sertão. **Metodologia** Revisão e atualização dos Projetos Político-Pedagógicos, elaboração de materiais didáticos de apoio, formação continuada de educadores e acompanhamento da implementação dos conteúdos. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional e elaboração das propostas pedagógicas; • 12 meses: inserção dos conteúdos nos PPP; • 24 meses: consolidação e avaliação das práticas pedagógicas.
Palestras comunitárias e mutirões de sensibilização sobre o impacto do esgoto não tratado nos corpos hídricos.	Sensibilizar a população sobre os impactos ambientais e sanitários do lançamento de esgoto sem tratamento nos corpos hídricos do território.	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, áreas próximas a rios, açudes e córregos, associações comunitárias e escolas. **Metodologia** Realização de 6 palestras educativas, rodas de conversa, mutirões de sensibilização e distribuição

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		de materiais informativos sobre esgotamento sanitário e proteção dos recursos hídricos. **Prazos** • 6 meses: planejamento e definição das áreas prioritárias; • 12 meses: execução das primeiras ações comunitárias; • 24 a 32 meses: continuidade e ampliação das ações educativas.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental em Saneamento		
DIRETRIZ – Proteger os recursos hídricos e ecossistemas costeiros por meio da educação ambiental, da participação comunitária e do enfrentamento das pressões antrópicas.		
AÇÕES	AÇÕES	METAS
Campanhas educativas sobre coleta seletiva e destinação adequada de resíduos sólidos.	Reduzir o descarte inadequado de resíduos sólidos e seus impactos sobre ambientes urbanos, costeiros e marinhos.	**Espaço** Cidades costeiras, bairros urbanos, praias, escolas, associações comunitárias e áreas turísticas do território. **Metodologia** Realização de 4 campanhas educativas presenciais e digitais, produção de materiais informativos e ações de sensibilização voltadas a moradores, turistas e comerciantes. **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas e produção dos materiais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das primeiras campanhas; • 24 a 32 meses: ampliação e continuidade das ações.
Ações comunitárias de limpeza de corpos hídricos e áreas costeiras.	Reduzir a poluição ambiental e fortalecer o engajamento comunitário na conservação de rios, estuários, praias e manguezais.	**Espaço** Rios, córregos, estuários, praias, manguezais e áreas públicas do território Sul Sergipano. **Metodologia** Realização periódica de 4 mutirões comunitários de limpeza, com participação de moradores, escolas, organizações locais e poder público em 1 ano. **Prazo** • 6 meses: mobilização social e organização logística; • 12 meses: realização dos primeiros mutirões; • 24 meses: institucionalização das ações comunitárias.
Palestras e campanhas informativas sobre tratamento de esgoto e proteção dos recursos hídricos.	Ampliar a compreensão da população sobre a relação entre esgotamento sanitário, saúde pública e conservação dos ecossistemas aquáticos e costeiros.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, escolas, associações comunitárias e espaços públicos do território. **Metodologia** Realização de no mínimo 2 palestras educativas, 2 campanhas informativas, 2 rodas de conversa e produção de materiais didáticos sobre tratamento de esgoto e impactos ambientais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo • 3 meses: planejamento metodológico; • 6 meses: execução das primeiras ações educativas; • 12 meses: ampliação do alcance territorial.
Mutirões de sensibilização em áreas próximas a rios, córregos e zonas costeiras afetadas por esgoto doméstico e por práticas irregulares de carcinicultura, abordando os impactos sobre a qualidade da água, a saúde pública e os ecossistemas associados.	Sensibilizar comunidades sobre os impactos do esgoto doméstico e de práticas irregulares de carcinicultura na qualidade da água, na saúde pública e nos ecossistemas associados.	**Espaço** Áreas próximas a rios, córregos, estuários, zonas costeiras e comunidades impactadas por efluentes domésticos e atividades de carcinicultura. **Metodologia** Realização de 2 mutirões educativos, visitas comunitárias, palestras informativas e distribuição de materiais educativos, articulando poder público, comunidades e instituições parceiras. **Prazo** • 6 meses: mapeamento das áreas críticas e planejamento das ações; • 12 meses: execução dos primeiros mutirões de sensibilização; • 24 meses: continuidade e fortalecimento das ações territoriais.

Fonte: Os autores.

1.11 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

As Unidades de Conservação (UCs) são áreas especialmente protegidas, criadas pelo Poder Público para garantir a preservação de ambientes naturais que possuem grande importância ecológica, social ou cultural. São territórios delimitados por lei e administrados sob regras específicas para assegurar sua integridade e permitir o uso sustentável de seus recursos (Brasil, 2000).

No Brasil, a organização e o funcionamento dessas áreas estão definidos pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Esse marco legal estabelece os critérios para criação, implementação e gestão das UCs nos três níveis de governo federal, estadual e municipal, formando uma política unificada de proteção ambiental.

Além disso, esse Sistema organiza as UCs em dois grupos: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. A Lei n° 9.985, de 2000, define os objetivos básicos desses grupos da seguinte forma:

> Art. 7° [...]
>
> § 1° O objetivo básico das Unidades de Proteção Integral é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei.
>
> § 2° O objetivo básico das Unidades de Uso Sustentável é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. (BRASIL, 2000).

Os quadros 8 e 9, inseridos abaixo, apresentam as categorias de Unidades de Conservação dos grupos de Proteção Integral e Uso Sustentável, respectivamente.

Quadro 8. Categoria de UCs de Proteção Integral

ESTAÇÃO ECOLÓGICA	A Estação Ecológica tem como objetivo a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas.
RESERVA BIOLÓGICA	A Reserva Biológica tem como objetivo a preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais.
PARQUE NACIONAL	O Parque Nacional tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.
MONUMENTO NATURAL	Monumento Natural tem como objetivo básico preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.

REFÚGIO DA VIDA SILVESTRE	O Refúgio de Vida Silvestre tem como objetivo proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.

Fonte: Lei nº 9.985/2000 (Lei do SNUC).

Quadro 9. Categoria de UCs de Uso Sustentável

ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.
ÁREA DE RELEVANTE INTERESSE ECONÔMICO	A Área de Relevante Interesse Ecológico é uma área em geral de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana, com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional, e tem como objetivo manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza.
FLORESTA NACIONAL	A Floresta Nacional é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas.
RESERVA EXTRATIVISTA	A Reserva Extrativista é uma área utilizada por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, e tem como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade.
REFÚGIO DA VIDA SILVESTRE	O Refúgio de Vida Silvestre tem como objetivo proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.
RESERVA DE FAUNA	A Reserva de Fauna é uma área natural com populações animais de espécies nativas, terrestres ou aquáticas, residentes ou migratórias, adequadas para estudos técnico-científicos sobre o manejo econômico sustentável de recursos faunísticos.
RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	A Reserva de Desenvolvimento Sustentável tem como objetivo básico preservar a natureza e, ao mesmo tempo, assegurar as condições e os meios necessários para a reprodução e a melhoria dos modos e da qualidade de vida e exploração dos recursos naturais das populações tradicionais, bem como valorizar, conservar e aperfeiçoar o conhecimento e as técnicas de manejo do ambiente, desenvolvido por estas populações.

RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL	A Reserva Particular do Patrimônio Natural é uma área privada, gravada com perpetuidade, com o objetivo de conservar a diversidade biológica.

Fonte: Lei nº 9.985/2000 (Lei do SNUC).

As Unidades de Conservação (UCs) constituem espaços fundamentais para a proteção da biodiversidade, para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e para a promoção da adaptação climática. O presidente Luiz Inácio Lula da Silva sancionou com um veto a Lei 15.180, que cria a Política Nacional de Incentivo à Visitação a Unidades de Conservação. Além de promover sensibilização, a atuação educativa nas UCs contribui para o fortalecimento da gestão participativa, estimulando o diálogo entre órgãos ambientais, conselhos gestores, entidades da sociedade civil e populações locais. Esse processo amplia a legitimidade das decisões, favorece o cumprimento das normas de proteção e potencializa ações de manejo sustentável, uso público e valorização sociocultural de cada área protegida. Nesse contexto, a Educação Ambiental desempenha papel estratégico ao aproximar a sociedade desses territórios, fortalecendo a compreensão sobre sua função ecológica e estimulando atitudes responsáveis diante da conservação ambiental.

Apesar desse cenário, é importante destacar que, em muitos contextos, as populações locais passam a enxergar a unidade de conservação como uma barreira ao progresso e ao desenvolvimento do lugar. Essa visão, contudo, precisa ser urgentemente sensibilizada. A educação ambiental surge como eixo central nesse processo, atuando não apenas como ferramenta informativa, mas como instrumento de formação crítica e sensibilização. A implementação de ações e projetos que incluam efetivamente a população local, considerando seus modos de vida, saberes tradicionais e necessidades reais, é fundamental para reconstruir o olhar sobre o território protegido.

Quando a comunidade é convidada a participar da gestão, compreender os objetivos da UC e reconhecer os benefícios ecológicos e sociais advindos da conservação, o espaço deixa de ser percebido como impeditivo e passa a ser entendido como um patrimônio comum. A população necessita acolher a UC como um espaço de cuidado coletivo e, para isso, deve sentir-se pertencente a ele. Somente com esse sentimento de pertencimento e corresponsabilidade será possível amenizar os conflitos e promover uma convivência mais harmoniosa entre conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico local.

No âmbito do PEACP/SE, a Educação Ambiental em Unidades de Conservação deve ser direcionada de forma territorializada, considerando os diferentes biomas e características socioambientais de Sergipe. Essa abordagem amplia a capacidade de

adaptação às mudanças climáticas, promove a valorização do patrimônio natural e fortalece a conexão entre a população sergipana e seus ambientes protegidos.

Assim, as Unidades de Conservação tornam-se espaços estratégicos para a formação socioambiental, para o desenvolvimento de práticas sustentáveis e para a consolidação de uma cidadania comprometida com a defesa da natureza e com a construção de um futuro mais equilibrado para as gerações presentes e futuras. Em Sergipe, temos 6 Unidades de Conservação estaduais: RVS Mata do Junco, MONA Grota do Angico, ARIE Mata do Cipó, APA Morro do Urubu, APA Litoral Sul e PE Marituba. Todas as UCs sergipanas possuem plano de manejo, um instrumento técnico que estabelece as normas de zoneamento para utilização da área e define como deve ser o manejo dos recursos naturais.

Quadro 10. Caracterização das Seis Unidades de Conservação Estaduais de Sergipe.

APA LITORAL SUL	Criada pelo Decreto nº 13.468/1993, abrange cerca de 55,5 km de costa entre a foz do Rio Vaza-Barris e o Rio Real, com largura de 10 a 12 km. Inclui partes de Itaporanga d'Ajuda, Estância, Santa Luzia do Itanhy e Indiaroba, abrangendo as praias Caueira, Abaís e Saco. Protege restingas, dunas, manguezais, lagoas e trechos de Mata Atlântica
APA MORRO DO URUBU	Criada pelos Decretos n° 13.713 de 16 de junho de 1993 e n° 15.405 de 14 de julho de 1995 e apresenta uma área de 213,87 há. Destaca-se a importância desta unidade de conservação, pois ela preserva um dos últimos testemunhos da Mata Atlântica no município de Aracaju.
MONUMENTO NATURAL GROTA DO ANGICO	Criado pelo Decreto nº 24.922/2007, localizado no Alto Sertão Sergipano, entre Poço Redondo e Canindé de São Francisco, com 2.248 ha. Protege área de Caatinga hiperxerófila, o sítio natural da Grota do Angico e seus elementos culturais. Voltado à preservação, pesquisa científica, educação ambiental, ecoturismo e visitação pública.
RVS MATA DO JUNCO	Localizado em Capela, criado pelo Decreto nº 24.944/2007, com 894,76 ha, é o segundo maior remanescente de Mata Atlântica de Sergipe. Protege nascentes do riacho Lagartixo e garante a sobrevivência do macaco guigó (*Callicebus coimbrai*), além de apoiar pesquisas, educação ambiental e ecoturismo.
ARIE MATA DO CIPÓ	Criada pelo Decreto nº 30.523/2017 em Siriri, com aproximadamente 60 ha de remanescentes de Mata Atlântica. Protege matas ciliares das nascentes e trechos iniciais do rio Siriri-Vivo. Embora seja unidade de uso sustentável, toda a área pertence ao Estado, o que impede ocupações humanas e avanço da cana-de-açúcar.
PARQUE ESTADUAL MARITUBA	Criado pelo Decreto nº 40.515/2020, localizado entre Barra dos Coqueiros e Santo Amaro das Brotas, com 1.754,44 ha. Protege ecossistemas costeiros como dunas, paleodunas, manguezais e lagoas, além do aquífero Marituba. Destinado a pesquisa científica, educação ambiental, ecoturismo e visitação.

Fonte: SEMAC.

Com o objetivo de fortalecer a relação entre educação ambiental e gestão das áreas protegidas, o Quadro 11 subsequente apresenta as diretrizes e ações

territorializadas, permitindo que cada região avance conforme suas Unidades de Conservação e seus contextos socioambientais.

Quadro 11. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental e Unidades de Conservação.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental e Unidades de Conservação		
DIRETRIZ – Fortalecer o uso educativo das Unidades de Conservação e áreas naturais do território como espaços de aprendizagem ambiental, integrando escolas, comunidades e instituições de pesquisa em ações de conservação, visitação orientada e extensão ambiental.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Capacitar os agricultores situados em Zonas de Amortecimento de Unidades de Conservação na perspectiva da agroecologia.	Capacitar agricultores para a adoção de práticas agroecológicas, promovendo sistemas produtivos sustentáveis, resilientes e socialmente justos, com redução do uso de insumos químicos e valorização dos saberes locais.	**Espaço** Propriedades rurais, comunidades, centros de formação, áreas demonstrativas e ambientes virtuais (quando necessário). **Metodologia** Realização de 01 a 02 capacitações anuais; A capacitação contemplará: • Princípios da agroecologia; • Manejo ecológico do solo; • Controle biológico de pragas; • Sistemas agroflorestais e consórcios de culturas; • Produção orgânica e certificação participativa; • Comercialização solidária e mercados locais; • As atividades incluirão oficinas práticas, dias de campo, palestras técnicas e implantação de unidades demonstrativas agroecológicas. **Prazos** • 6 meses: planejamento e articulação;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: realização da 1ª edição; • 24 meses: consolidação como programa permanente.
Semana da Biodiversidade na Escola, com exposições, concursos de desenhos, feiras ambientais e apresentação de trabalhos.	Sensibilizar a comunidade escolar sobre a importância da biodiversidade, da conservação dos ecossistemas locais e do papel das Unidades de Conservação na proteção do patrimônio natural	**Espaço** Unidades escolares do território e espaços comunitários parceiros. **Metodologia** Realização anual da Semana da Biodiversidade, contendo no mínimo: • 1 exposição temática; • 1 concurso de desenho; • 1 feira ambiental; • Apresentação de trabalhos desenvolvidos por todas as turmas participantes. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico e mobilização das escolas; • 12 meses: execução da primeira edição; • 24 meses: realização anual consolidada no calendário escolar.
Inclusão do tema Unidades de Conservação no planejamento anual escolar.	integrar o conhecimento sobre Unidades de Conservação aos conteúdos curriculares, promovendo a compreensão de sua função ecológica, social e legal.	**Espaço** Rede pública e privada de ensino do território. **Metodologia** Inserção do tema em pelo menos 2 componentes curriculares por escola, com produção de atividades pedagógicas específicas e registro no PPP.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 12 meses: adequação curricular e formação dos educadores; • 24 meses: implementação plena nas escolas; • 36 meses: avaliação e aprimoramento contínuo.
Trilhas ecológicas e pedagógicas guiadas dentro do Parque Nacional Serra de Itabaiana.	Proporcionar experiências práticas de aprendizagem, fortalecendo a percepção ambiental e o vínculo dos estudantes com as Unidades de Conservação.	**Espaço** Parque Nacional Serra de Itabaiana e instituições de ensino do território. **Metodologia** Realização de no mínimo 02 visitas pedagógicas por escola ao ano, com acompanhamento de educadores e monitores ambientais. **Prazos** • 6 meses: articulação com gestão do parque e capacitação de monitores; • 12 meses: início das visitas guiadas; • 24 meses: expansão gradual do número de escolas atendidas.
Capacitação para lideranças comunitárias e sociedade civil objetivando a formação de protetores ambientais dentro das Unidades de Conservação.	Capacitar lideranças comunitárias e representantes da sociedade civil para a formação de protetores ambientais, fortalecendo a conservação, o uso sustentável e a gestão participativa das Unidades de Conservação.	**Espaço** Comunidades do entorno das UCs, sedes de associações, escolas-polo, centros de formação e ambientes virtuais. **Metodologia** Realização de 01 a 02 capacitações anuais. A capacitação abordará os seguintes temas:

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC); • Legislação ambiental e direitos socioambientais; • Conservação da biodiversidade; • Técnicas de monitoramento e vigilância comunitária; • Educação ambiental e mobilização social; • Gestão participativa e conselhos gestores de UC. • As atividades incluirão palestras, oficinas práticas, trilhas interpretativas, estudos de caso, simulações de ações de proteção ambiental e elaboração de planos de ação comunitários. **Prazos** • 6 meses: planejamento e mobilização. • 12 meses: realização da 1ª edição; • 24 meses: consolidação e fortalecimento das redes de protetores.
Oficina de plantas medicinais e saberes tradicionais.	Valorizar os saberes tradicionais associados ao uso de plantas medicinais, promovendo a integração entre conhecimento popular e científico e incentivando o uso consciente da biodiversidade.	**Espaço** Escolas, comunidades tradicionais e espaços culturais. **Metodologia** Realização de no mínimo 2 oficinas por município ao ano, envolvendo estudantes, professores e representantes das comunidades locais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: implantação das oficinas; • 12 meses: manutenção e ampliação da participação comunitária.
Direcionamento de recursos provenientes da compensação ambiental para o desenvolvimento de ações de Educação Ambiental nas Unidades de Conservação.	Identificar fontes de recursos financeiros para a efetiva aplicação em desenvolvimento de ações de Educação Ambiental.	**Espaço** Unidades de Conservação e instituições educacionais do território. **Metodologia** Destinação anual de recursos para execução de projetos de Educação Ambiental em pelo menos 01 UC por município. **Prazos** • 12 meses: mapeamento de fontes e elaboração dos projetos; • 24 meses: início da execução dos recursos; • 36 meses: consolidação e ampliação.
Estimular parcerias entre Órgãos governamentais e não governamentais para o desenvolvimento de ações de proteção e conservação da biodiversidade.	Reconhecer o potencial das parcerias público privadas para manutenção/execução de ações de cunho preservacionista.	**Espaço** Órgãos públicos, ONGs, instituições de ensino e comunidades locais. **Metodologia** Formalização de pelo menos 2 parcerias institucionais por município para execução de ações ambientais. **Prazos** • 6 meses: identificação e formalização das parcerias; • 12 meses: execução conjunta das ações;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: avaliação e expansão das parcerias.
Fomentar a ampliação do quadro de profissionais especializados em Educação Ambiental nas UCs para viabilizar o envolvimento das instituições de ensino bem como da comunidade do entorno.	Promover processos seletivos para oferta de bolsas de estudo, extensão, estágio curricular para a formação de quadro de apoio para ações de proteção as UCs.	**Espaço** Unidades de Conservação e instituições de ensino superior e técnico. **Metodologia** Criação anual de vagas para bolsas, estágios e projetos de extensão, com formação de equipes de apoio às UCs. **Prazos** • 12 meses: definição dos programas e processos seletivos; • 24 meses: início das atividades formativas; • 36 meses: consolidação do programa.
Incentivar o desenvolvimento de um plano de ações voltado ao manejo da flora exótica no entorno das UCs.	Realizar diagnóstico situacional nas UCs para implementação de ações pertinentes ao manejo da flora exótica.	**Espaço** Zonas de amortecimento de Unidades de Conservação do território. **Metodologia** Elaboração de 01 diagnóstico situacional por UC e implantação de Plano de Ação voltado ao manejo da flora, assegurando a compatibilidade com o Plano de Manejo. **Prazos** • 12 meses: diagnóstico ambiental. • 24 meses: elaboração e início da implementação do plano.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 32 meses: monitoramento e ajustes.
Estimular a criação RPPNs no território.	Realizar inventário de áreas com potencial para se transformar em RPPN Seguida de abordagem/sensibilização dos proprietários das áreas elencadas.	**Espaço** Propriedades privadas com potencial ambiental no território. **Metodologia** Realização de inventário territorial e sensibilização de proprietários, com meta de criação de novas RPPNs de forma progressiva. **Prazos** • 12 meses: levantamento das áreas e mobilização dos proprietários; • 24 meses: formalização das primeiras RPPNs; • 36 meses: ampliação contínua.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental e Unidades de Conservação		
DIRETRIZ – Integrar as Unidades de Conservação e áreas protegidas da Caatinga às práticas educativas formais e não formais, promovendo conservação da biodiversidade, valorização do bioma e fortalecimento do ecoturismo sustentável.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Desenvolver trilhas ecológicas e pedagógicas guiadas dentro do MONA Grota do Angico.	Promover a Educação Ambiental por meio de vivências interpretativas no MONA Grota do Angico, integrando a conservação da Caatinga, a valorização do patrimônio histórico-cultural do cangaço e o fortalecimento do turismo sustentável como estratégia de uso público responsável da Unidade de Conservação.	**Espaço** MONA Grota do Angico, escolas do território, comunidades do entorno e pontos estratégicos de visitação da Unidade de Conservação. **Metodologia** • Implantação de 3 roteiros interpretativos temáticos (Caatinga, cangaço, conservação e turismo sustentável);

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Formação de 1 grupo permanente de monitores locais; • Produção de material educativo físico e digital para uso nas trilhas; • Realização contínua de trilhas educativas com grupos escolares, turísticos e comunitários. **Prazos** • 6 meses: estruturação dos roteiros, formação dos monitores e produção do material educativo; • 12 meses: início regular das trilhas educativas e integração ao calendário escolar e turístico; • 24 meses: consolidação do MONA como polo permanente de educação ambiental e turismo sustentável.
Incorporação de saberes e fazeres das comunidades locais, situadas no interior ou no entorno das UCs, nas atividades educativas.	Fortalecer a gestão participativa das Unidades de Conservação por meio da valorização dos saberes locais e do envolvimento das comunidades do entorno nos processos educativos e de conservação.	**Espaço** Comunidades do entorno das Unidades de Conservação, escolas do território e espaços culturais locais. **Metodologia** • Criação de 1 banco comunitário de saberes tradicionais; • Realização anual de no mínimo 3 rodas de conversa e oficinas; • Participação de representantes comunitários em atividades educativas das UCs e escolas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Produção de cadernos pedagógicos regionais. **Prazos** • 6 meses: mapeamento dos saberes e mobilização comunitária; • 12 meses: implementação das rodas de conversa, oficinas e produção dos primeiros materiais; • 24 meses: ampliação e integração definitiva dos saberes locais às ações educativas.
Desenvolver atividades de conscientização sobre a importância do bioma Caatinga nas escolas públicas do território, incluindo informações sobre as Unidades de Conservação.	Ampliar o conhecimento sobre o bioma Caatinga e sua importância ecológica e cultural.	**Espaço** Unidades escolares do território e espaços comunitários. **Metodologia** • Desenvolvimento de projetos interdisciplinares da Caatinga em todas as escolas participantes; • Realização anual de 1 mostra regional da Caatinga; • Produção de material didático regionalizado; • Criação de semanas temáticas da Caatinga no calendário escolar. **Prazo** • 6 meses: formação de educadores e elaboração dos projetos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução dos projetos e primeira mostra regional; • 24 meses: consolidação da temática como eixo permanente do currículo escolar.
Incentivo na promoção de campanhas informativas no combate às queimadas e ao desmatamento, principalmente na zona rural.	Promover campanhas informativas no combate as queimadas e ao desmatamento, principalmente na zona rural.	**Espaço** Zonas rurais, comunidades, escolas e meios de comunicação locais. **Metodologia** • Criação de 1 rede escolar comunitária de prevenção às queimadas; • Produção de campanhas multimídia locais; • Realização periódica de ações educativas nas comunidades rurais; • Articulação com programas como Prevfogo, Defesa Civil e órgãos ambientais. **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas e articulação institucional; • 12 meses: execução das primeiras campanhas territoriais; • 24 meses: manutenção permanente das ações de prevenção e educação ambiental.
Incentivo para implantação de hortas comunitárias em áreas rurais e urbanas envolvendo uso de plantas medicinais e plantas alimentícias não convencionais (PANCs).	Incentivar a implantação de hortas comunitárias em áreas rurais e urbanas.	**Espaço** Áreas rurais, escolas, comunidades urbanas e espaços públicos. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Implantação de hortas-modelo demonstrativas; • Criação de catálogo regional de PANCs e plantas medicinais; • Realização de oficinas práticas de alimentação saudável e fitoterapia; • Integração das hortas aos projetos pedagógicos e à merenda escolar. **Prazos** • 6 meses: seleção dos locais e mobilização das comunidades; • 12 meses: implantação das primeiras hortas e oficinas; • 24 meses: ampliação das hortas e consolidação como política local de segurança alimentar.
Apoio na ampliação dos centros de reabilitação e reintrodução de animais silvestres para manejo adequado da fauna.	Promover a ampliação dos centros de reabilitação e reintrodução de animais silvestres.	**Espaço** Unidades de Conservação, instituições parceiras, centros de pesquisa e comunidades do entorno. **Metodologia** • Elaboração de 1 plano territorial de manejo da fauna; • Fortalecimento e ampliação da infraestrutura dos centros existentes; • Implantação de programas educativos sobre proteção da fauna; • Criação de protocolos regionais de resgate e reintrodução.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 12 meses: elaboração do plano e articulação institucional; • 24 meses: fortalecimento da estrutura e início dos programas educativos; • 36 meses: consolidação da rede territorial de proteção da fauna.
Apoio para o fortalecimento de projetos de monitoramento de animais silvestres e combate a caça ilegal para maior controle e proteção da fauna.	Promover o fortalecimento de projetos de monitoramento de animais silvestres e combate a caça ilegal.	**Espaço** Unidades de Conservação, comunidades do entorno, escolas e áreas de ocorrência da fauna. **Metodologia** • Implantação de sistema participativo de monitoramento da fauna; • Programas educativos contínuos sobre fauna e crimes ambientais; • Produção de material informativo sobre a Lei 9.605/98; • Ações integradas com órgãos de fiscalização. **Prazos** • 12 meses: estruturação do sistema de monitoramento e programas educativos; • 24 meses: ampliação das ações de fiscalização educativa; • 36 meses: consolidação do programa territorial de proteção da fauna.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Capacitação nas comunidades sobre adubo orgânico com matéria prima local para o preparo de hortas.	Capacitar comunidades para a produção e uso de adubo orgânico a partir de matéria-prima local, promovendo práticas sustentáveis de manejo do solo e fortalecendo a implantação de hortas comunitárias e escolares.	**Espaço** Moradores das comunidades, agricultores familiares, estudantes, agentes comunitários e demais interessados. **A capacitação abordará:** • Ensinar técnicas de compostagem e produção de adubo orgânico; • Incentivar o reaproveitamento de resíduos orgânicos locais; • Promover a melhoria da fertilidade do solo de forma natural; • Reduzir o uso de insumos químicos na agricultura e nas hortas; • Estimular a segurança alimentar e nutricional; • Fortalecer a economia local e a autonomia comunitária; • As atividades incluirão oficinas práticas, demonstrações em campo, palestras educativas e produção orientada de adubo orgânico com insumos disponíveis na própria comunidade. **Prazos** • Realização de 01 a 02 capacitações anuais por território; • 6 meses: planejamento e mobilização; • 12 meses: realização da 1ª edição.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental e Unidades de Conservação		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
DIRETRIZ – Articular ações educativas nas Unidades de Conservação e áreas protegidas associadas ao Rio São Francisco, promovendo conservação dos ecossistemas aquáticos, formação comunitária e fortalecimento da gestão participativa.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Criação de campanha de sensibilização denominada “Baixo São Francisco Vivo”.	Sensibilizar a população ribeirinha e urbana sobre a importância ecológica, social e cultural do Rio São Francisco e das Unidades de Conservação associadas	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, zonas urbanas do território, escolas, praças públicas, associações comunitárias e Unidades de Conservação associadas ao Rio São Francisco. **Metodologia** • Ciclos anuais de palestras educativas; • Exposições temáticas itinerantes; • Atividades escolares integradas ao currículo; • Ações comunitárias de mobilização social. **Prazos** • 6 meses: estruturação da campanha, criação da identidade visual e articulação com instituições locais; • 12 meses: execução do primeiro ciclo anual de atividades; • 24 meses: consolidação da campanha como política permanente de Educação Ambiental do território.
Incentivar a prática de reflorestamento educativo, através de programa contínuo de execução e acompanhamento.	Promover a Educação Ambiental por meio de ações de reflorestamento com espécies nativas, estimulando a prevenção da perda de cobertura vegetal, o aumento da consciência ambiental e o	**Espaço** Margens do Rio São Francisco, áreas de entorno das Unidades de Conservação, escolas e comunidades do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	fortalecimento do vínculo das comunidades com as Unidades de Conservação.	**Metodologia** Implantação de projetos contínuos de reflorestamento educativo, envolvendo escolas e comunidades, com ações periódicas de plantio, acompanhamento e monitoramento das áreas restauradas. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico de áreas prioritárias e articulação com parceiros; • 12 meses: implantação das primeiras áreas demonstrativas; • 24 meses: ampliação progressiva das áreas restauradas e consolidação da ação como prática permanente.
Valorização e incorporação dos saberes tradicionais ribeirinhos nas ações educativas em Unidades de Conservação e seu entorno.	Reconhecer os saberes locais como parte da conservação ambiental.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, escolas e Unidades de Conservação do território. **Metodologia** • Criação de 1 programa participativo de registro e valorização cultural; • Rodas de conversa temáticas; • Produção de registros escritos, audiovisuais e pedagógicos; • Inserção dos saberes locais nas ações educativas das UCs e escolas. **Prazos** • 6 meses: mapeamento dos atores comunitários e início dos registros;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: produção dos primeiros materiais educativos; • 24 meses: integração definitiva dos saberes tradicionais às políticas de Educação Ambiental do território.
Estimular a realização de ações de reflorestamento em áreas degradadas.	Contribuir com a recuperação de áreas degradadas em Unidades de Conservação.	**Espaço** Unidades de Conservação e áreas degradadas do território. **Metodologia** • Serão estruturados e implantados 2 a 3 projetos de restauração ecológica em áreas degradadas localizadas em Unidades de Conservação e em seu entorno; • Apoio das universidades, escolas e instituições de fomento, articulando ações de Educação Ambiental às práticas de recuperação ambiental. **Prazos** • 12 meses: elaboração dos projetos e formalização das parcerias; • 24 meses: início da implantação dos projetos-piloto; • 36 meses: ampliação das áreas restauradas e fortalecimento institucional dos programas.
Fomentar os processos educativos nas comunidades do entorno das UCs.	Oportunizar a aprendizagem coletiva das comunidades para facilitar a compreensão da complexidade socioambiental e estimular a responsabilidade com a proteção do meio ambiente	**Espaço** Comunidades do entorno das Unidades de Conservação e escolas do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	e reconhecimento da importância das Unidades de Conservação.	**Metodologia** • Serão realizados diagnósticos participativos em, no mínimo, 3 comunidades do entorno das Unidades de Conservação, no prazo de até 6 meses; • Elaboração e implementação de 3 programas comunitários de Educação Ambiental, um em cada comunidade priorizada baseados em diagnósticos participativos, promovendo intercâmbios de saberes, oficinas, projetos locais e ações educativas continuadas. **Prazos** • 6 meses: realização dos diagnósticos comunitários; • 12 meses: implantação dos primeiros programas; • Ano 2 em diante: consolidação e ampliação dos processos educativos comunitários.
Fomentar a Instalação de placas informativas de identificação nas UCs.	Contribuir com o controle dos acessos e limites da UC e informar a população e visitantes sobre a existência de uma área ambientalmente protegida.	**Espaço** Unidades de Conservação e áreas estratégicas de acesso. **Metodologia** Desenvolvimento e instalação de sistema padronizado de comunicação visual, com placas informativas, educativas e de orientação ao visitante, adaptadas à realidade de cada UC.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: levantamento das necessidades e elaboração do projeto visual; • 12 meses: instalação das placas nas principais áreas de acesso; • 24 meses: ampliação e manutenção periódica do sistema de sinalização.
Estimular a realização de forma efetiva ao longo de todo ano, ações educativas e de fiscalização na UC e seu entorno.	Fortalecer as ações estratégicas de vigilância e proteção da UC.	**Espaço** Unidades de Conservação e seu entorno. **Metodologia** Implantação de 1 (um) programa integrado de educação, vigilância e fiscalização, envolvendo órgãos ambientais, comunidades, escolas e instituições públicas. **Prazos** • 12 meses: fortalecimento dos instrumentos jurídicos e organização institucional; • 24 meses: execução contínua das ações educativas e de fiscalização; • 36 meses: consolidação do sistema territorial de proteção das UCs.
Capacitação nas comunidades sobre adubo orgânico com matéria prima local para o preparo de hortas.	Capacitar comunidades para a produção e uso de adubo orgânico a partir de matéria-prima local, promovendo práticas sustentáveis de manejo do solo e fortalecendo a implantação de hortas comunitárias e escolares.	**Espaço** Moradores das comunidades, agricultores familiares, estudantes, agentes comunitários e demais interessados. **Metodologia** Serão realizadas 1 a 2 capacitações por ano no território;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Cada capacitação atenderá, em média, 25 a 40 participantes, contemplando: moradores das comunidades, agricultores familiares, estudantes, agentes comunitários e demais interessados. A capacitação abordará: • Ensinar técnicas de compostagem e produção de adubo orgânico; • Incentivar o reaproveitamento de resíduos orgânicos locais; • Promover a melhoria da fertilidade do solo de forma natural; • Reduzir o uso de insumos químicos na agricultura e nas hortas; • Estimular a segurança alimentar e nutricional; • Fortalecer a economia local e a autonomia comunitária; • As atividades incluirão oficinas práticas, demonstrações em campo, palestras educativas e produção orientada de adubo orgânico com insumos disponíveis na própria comunidade. **Prazos** • 6 meses: planejamento e mobilização; • 12 meses: realização da 1ª edição. • 24 meses: consolidação como programa permanente.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental e Unidades de Conservação		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
DIRETRIZ – Consolidar o Parque Nacional Serra de Itabaiana e demais áreas protegidas como polos de Educação Ambiental, pesquisa aplicada e ecoturismo educativo, integrando conservação ambiental e desenvolvimento local sustentável.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Capacitar os agricultores situados em Zonas de Amortecimento de Unidades de Conservação na perspectiva da agroecologia.	Capacitar agricultores para a adoção de práticas agroecológicas, promovendo sistemas produtivos sustentáveis, resilientes e socialmente justos, com redução do uso de insumos químicos e valorização dos saberes locais.	**Espaço** Propriedades rurais, comunidades, centros de formação, áreas demonstrativas e ambientes virtuais (quando necessário). **Metodologia** A capacitação contemplará: • Princípios da agroecologia; • Manejo ecológico do solo; • Controle biológico de pragas; • Sistemas agroflorestais e consórcios de culturas; • Produção orgânica e certificação participativa; • Comercialização solidária e mercados locais; • As atividades incluirão oficinas práticas, dias de campo, palestras técnicas e implantação de unidades demonstrativas agroecológicas. **Prazo** • Realização de 01 a 02 capacitações anuais. • 6 meses: planejamento e articulação. • 12 meses: realização da 1ª edição; • 24 meses: consolidação como programa permanente.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Ampliação do Projeto Reflorestar-SE para o Território Centro Sul.	Expandir o Projeto Reflorestar-SE para outros municípios, fortalecendo ações de reflorestamento educativo, preventivo e de sensibilização ambiental.	**Espaço** Municípios do Território Centro Sul, áreas de entorno das Unidades de Conservação, escolas e comunidades locais. **Metodologia** • Implantação do Projeto Reflorestar-SE em novos municípios do território, com ações contínuas de reflorestamento educativo, preventivo e de sensibilização ambiental, envolvendo escolas, comunidades e gestores locais, e criação de núcleos municipais do projeto; • Implantar o projeto em no mínimo 5 municípios, envolvendo escolas, comunidades e o plantio de 5.000 mudas nativas em 3 anos. **Prazos** • 6 meses: identificação de municípios e áreas prioritárias, mobilização institucional e comunitária; • 12 meses: implantação das primeiras ações nos municípios selecionados; • 36 meses: consolidação do Reflorestar-SE como programa permanente do território.
Trilhas ecológicas e pedagógicas no Recanto da Serra.	Promover vivências de Educação Ambiental por meio do uso público orientado do Recanto da Serra, estimulando a valorização dos ecossistemas locais e das Unidades de Conservação.	**Espaço** As trilhas serão desenvolvidas no Recanto da Serra e em seu entorno, envolvendo escolas do território, comunidades locais, instituições de ensino e gestores ambientais responsáveis pela área.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia • Serão implantados 2 roteiros interpretativos permanentes, com infraestrutura básica de apoio; • Serão realizadas no mínimo 12 trilhas guiadas por ano, atendendo aproximadamente 600 participantes por ano, entre estudantes, professores e membros da comunidade; • Serão capacitados monitores e guias locais para condução das atividades. **Prazos** • 6 meses: elaboração dos roteiros, capacitação inicial e formalização de parcerias; • 12 meses: início das trilhas regulares; • 36 meses: manutenção e consolidação do Recanto da Serra como polo permanente de Educação Ambiental.
Realizar ações educativas voltadas à preservação do solo, através de técnicas de manejo e do plantio de mudas nativas em Áreas de Preservação Permanente – APPs e no entorno de Unidades de Conservação.	Garantir a conservação da diversidade da flora das APPs, garantia da sustentabilidade dos recursos naturais renováveis e promoção da preservação da água, do solo e da vegetação.	**Espaço** As ações ocorrerão em Áreas de Preservação Permanente, como nascentes, faixas marginais de cursos d'água e áreas de entorno das Unidades de Conservação do território. **Metodologia** • Serão realizadas 5 ações educativas comunitárias sobre conservação do solo, água e vegetação;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Plantação de aproximadamente 3.000 mudas nativas em áreas de APPs. **Prazo** • 12 meses: diagnóstico das áreas prioritárias e início da recuperação; • 24 meses: ampliação das áreas recuperadas e fortalecimento do monitoramento; • 36 meses em diante: manutenção permanente e acompanhamento técnico.
Realizar a proteção das nascentes e mananciais garantindo a preservação e a qualidade da água.	Promover ações a sustentabilidade das nascentes e mananciais como formar de atender as necessidades das gerações atuais, sem comprometimento das gerações futuras.	**Espaço** Nascentes, microbacias e áreas de influência hídrica do território. **Metodologia** Implantar projetos de proteção de nascentes e mananciais em áreas estratégicas do território, envolvendo comunidades locais, escolas e instituições públicas, com ações educativas regulares sobre gestão sustentável da água. **Prazos** • 12 meses: mapeamento e elaboração dos projetos; • 24 meses: execução das ações de recuperação; • 36 meses: acompanhamento e consolidação das práticas.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental e Unidades de Conservação		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
DIRETRIZ – Fortalecer a articulação entre Unidades de Conservação urbanas e periurbanas, instituições de ensino e comunidades, promovendo educação ambiental voltada à biodiversidade urbana, lazer sustentável e participação social.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Conhecendo os remanescentes naturais de Aracaju (APA Morro do Urubu).	Promover a valorização, o conhecimento e a conservação da APA Morro do Urubu, fortalecendo a educação ambiental e o vínculo da população aracajuana com esse espaço natural.	**Espaço** APA Morro do Urubu, escolas públicas e privadas de Aracaju, comunidades do entorno e instituições parceiras. **Metodologia** • Realização de no mínimo 10 visitas orientadas por ano, atendendo grupos escolares e comunitários; • Execução de oficinas e atividades educativas associadas às visitas. **Prazos** • 6 meses: planejamento e articulação com as escolas; • 12 meses: início das visitas regulares; • 24 meses: consolidação do Morro do Urubu como referência permanente em educação ambiental urbana.
Criação de campanha de sensibilização periódica intitulada “Aprendendo no Santuário da Mata”.	Promover a Educação Ambiental por meio de vivências educativas no Santuário da Mata, remanescente de Mata Atlântica, incentivando a conservação da biodiversidade, a sensibilização para a proteção dos ecossistemas florestais e o respeito aos habitats naturais, a partir de experiências de contemplação, escuta e observação da natureza, destacando a importância da preservação de espécies ameaçadas de extinção,	**Espaço** Santuário da Mata, escolas de Itaporanga D’ajuda e entorno, comunidades locais e instituições de ensino. **Metodologia** • Realização de ao menos 10 visitas educativas guiadas por ano;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	como o macaco-guigó-de-Coimbra-Filho, o macaco-prego-do-peito-amarelo e a preguiça-de-coleira.	• Integração das vivências aos projetos pedagógicos de pelo menos parte das escolas participantes; • Desenvolvimento contínuo de atividades de sensibilização sobre a conservação da Mata Atlântica e proteção de espécies ameaçadas. **Prazos** • 6 meses: organização dos roteiros e parcerias; • 12 meses: início das visitas regulares; • 32 meses: consolidação do Santuário da Mata como espaço permanente de Educação Ambiental.
Criação de campanha de sensibilização intitulada “Conhecendo os Manguezais de Aracaju”.	Sensibilizar a população sobre a importância ecológica dos manguezais de Aracaju, fortalecendo a educação ambiental e o sentimento de pertencimento.	**Espaço** Áreas de manguezal de Aracaju, escolas e comunidades do entorno. **Metodologia** • Realização de ações educativas trimestrais em escolas e comunidades; • Promoção de visitas orientadas e trilhas interpretativas periódicas, com apoio de técnicos e educadores ambientais; • Produção de material educativo de apoio. **Prazos** • 6 meses: planejamento das ações; • 12 meses: execução inicial;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: consolidação dos manguezais como espaços permanentes de educação ambiental e conservação.
Campanha de valorização do manguezal como berçário da vida.	Difundir o papel dos manguezais na manutenção da pesca, da fauna e da qualidade ambiental.	**Espaço** Escolas, comunidades costeiras, áreas de manguezal e espaços públicos. **Premissa** Incorporar os saberes locais nas campanhas de valorização, através de consultas prévias a comunidades tradicionais que utilizam os recursos ecossistêmicos de manguezais. **Metodologia** • Produção de ao menos 3 tipos de materiais educativos (cartilha, vídeo e exposição itinerante); • Realização de campanhas anuais de sensibilização com atividades públicas e educativas. **Prazos** • 6 meses: desenvolvimento do material e planejamento da campanha; • 12 meses: execução da primeira campanha; • 24 meses: manutenção da campanha de forma permanente.
Incentivar parcerias com universidades públicas e privadas na produção de material didático para	Estabelecer uma cooperação entre a comunidade científica e os conselhos gestores das unidades de conservação na elaboração de material didático e	**Espaço** Universidades, escolas e centros de pesquisa.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
redes de ensino, e incentivo a pesquisas e publicações sobre a flora e a fauna.	produção de conhecimento científico acerca da fauna e da flora.	**Metodologia** • Formalização de parcerias institucionais para produção de material didático; incentivo à realização de projetos de pesquisa aplicada sobre fauna e flora das UCs; • Produção periódica de conteúdos educativos para as redes de ensino. **Prazos** • 12 meses: formalização das parcerias e início da produção de conteúdos; • 24 meses: ampliação das pesquisas e materiais produzidos; • 32 meses: consolidação da cooperação técnico-científica.
Fomentar programas de capacitação das comunidades no entorno nas Unidades de Conservação sobre a biodiversidade local para atuarem como multiplicadores de conhecimento ambiental.	Difundir as informações sobre biodiversidade por meio da capacitação das comunidades do entorno das UCs a fim de torná-los multiplicadores do conhecimento.	**Espaço** Comunidades do entorno das Unidades de Conservação. **Metodologia** Implementação de programas anuais de capacitação, formando grupos comunitários aptos a atuar como condutores ambientais e multiplicadores de conhecimento, com realização de ciclos formativos regulares. **Prazos** • 12 meses: estruturação dos programas de formação;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: execução das primeiras capacitações; • 36 meses: consolidação do programa de formação comunitária.
Estimular a criação de museu e catálogos digitais das espécies presentes nas Unidades de Conservação, com acesso facilitado via QRCode.	Desenvolver mecanismos de catalogação e divulgação das espécies da fauna e da flora características das UCs por meio de ferramentas tecnológicas.	**Espaço** Universidades, escolas e plataformas digitais. **Metodologia** Desenvolvimento de plataforma digital de catalogação, criação de acervo virtual acessível ao público e implantação de sistema de acesso via QR Code nas UCs, com atualização periódica do conteúdo. **Prazos** • 12 meses: levantamento das espécies e desenvolvimento da plataforma; • 24 meses: lançamento do museu digital; • 36 meses: atualização contínua e ampliação do acervo.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental e Unidades de Conservação		
DIRETRIZ – Integrar Unidades de Conservação costeiras e áreas de Mata Atlântica às ações educativas do território, fortalecendo a proteção dos ecossistemas, o turismo sustentável e a valorização ambiental local.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Capacitação para povos e comunidades tradicionais para que utilizem de forma sustentável os recursos ambientais das Unidades de Conservação nas quais estão inseridas.	Capacitar povos e comunidades tradicionais para o uso sustentável dos recursos ambientais das Unidades de Conservação em que estão inseridos, respeitando seus modos de vida, saberes	**Espaço** Territórios tradicionais, comunidades, centros de formação intercultural e ambientes virtuais. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	tradicionais e promovendo a conservação da biodiversidade e a melhoria da qualidade de vida.	Realização de 01 a 02 capacitações anuais. A capacitação contemplará: • Saberes tradicionais e conservação ambiental; • Manejo sustentável de recursos florestais, pesqueiros e extrativistas; • Agroecologia e sistemas tradicionais de produção; • Turismo de base comunitária; • Legislação ambiental e direitos socioambientais; • Participação social e conselhos gestores de UC. • As atividades incluirão oficinas participativas, intercâmbio de saberes, rodas de diálogo, visitas técnicas, práticas em campo e elaboração de planos de uso sustentável comunitários. **Prazos** • 6 meses: planejamento e articulação intercultural. • 12 meses: realização da 1ª edição. • 24 meses: consolidação como programa permanente.
Vivenciando o segundo maior remanescente de Mata Atlântica do estado de Sergipe.	Consolidar e fortalecer as ações já desenvolvidas de Educação Ambiental no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, ampliando o sentimento de pertencimento, a valorização do remanescente de Mata Atlântica e a participação de estudantes e	E**spaço** Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco. **Metodologia** • Manutenção das atividades educativas já existentes (trilhas interpretativas, plantio

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	da comunidade na conservação da Unidade de Conservação.	simbólico e dinâmicas pedagógicas) com atendimento contínuo a grupos escolares e comunitários ao longo do ano; • Participação periódica de escolas das redes pública e privada; • Envolvimento progressivo da comunidade local nas ações de conservação da UC. **Prazos** • 6 meses: planejamento integrado, ajustes pedagógicos e organização do calendário anual. • 12 meses: execução ampliada das ações educativas e fortalecimento da participação social. • 36 meses: consolidação do RVS Mata do Junco como referência estadual em Educação Ambiental e conservação da Mata Atlântica.
Fomentar, estimular, resgatar e promover programas de Educação Ambiental nos municípios e escolas, integrando o tema "unidades de conservação", com planejamento anual no plano político pedagógico das escolas, com aulas teóricas e visitas às UCs.	Aproximar comunidades, escolas e instituições públicas e privadas das Unidades de Conservação, visando seu conhecimento e seu potencial na realização da Educação Ambiental.	**Espaço** Escolas, secretarias municipais, Unidades de Conservação, instituições públicas e privadas, comunidades do entorno. **Metodologia** • Inserção do tema Unidades de Conservação nos planos políticos pedagógicos de parte das escolas do território; • Realização sistemática de aulas teóricas articuladas a visitas às UC's;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Ampliação gradual das parcerias público-privadas para execução das ações educativas conforme diretrizes do SNUC. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional; • 12 meses: implementação nas escolas e início das visitas educativas; • 24 meses: expansão territorial e fortalecimento das parcerias.
Integrar os programas de Educação Ambiental de empresas (condicionantes ambientais), com as UCs, escolas e instituições locais que realizam atividades com série histórica nas comunidades de entorno das Unidades, trazendo o contexto das principais atividades econômicas da região.	Difusão da Educação Ambiental de forma a envolver toda a comunidade da região.	**Espaço** Empresas, escolas, Unidades de Conservação, comunidades do entorno. **Metodologia** • Articulação entre programas ambientais empresariais e ações educativas das UCs; • Envolvimento contínuo das comunidades com histórico de atuação ambiental; • fortalecimento da Educação Ambiental integrada e participativa. **Prazos** • 12 meses: mapeamento de programas existentes e formalização de parcerias. • 24 meses: execução contínua e expansão territorial.
Fomentar/estimular a realização de fóruns, encontros e seminários com tema Educação Ambiental continuamente, em parceria com escolas, UCs e instituições de meio ambiente, trazendo questões relacionadas aos recursos	Disseminar e instituir a Educação Ambiental em todos os níveis sociais com diversos atores sociais por meio de Fóruns, encontros e seminários.	**Espaço** Escolas, UCs, secretarias municipais e estaduais, comunidades, instituições ambientais. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
hídricos (captação e liberação, assoreamentos, barramentos e dinâmica costeira); desmatamentos, uso do solo e ocupação desordenada.		Realização periódica anual de fóruns, encontros e seminários abordando recursos hídricos, desmatamento, uso do solo, ocupação territorial e dinâmica costeira, envolvendo diferentes atores sociais. **Prazos** • 6 meses: planejamento e definição do calendário; • 12 meses: realização do primeiro ciclo anual de eventos; • 24 meses: institucionalização das ações como política pública permanente.
Integrar as pesquisas científicas realizadas nas UCs aos programas de Educação Ambiental das escolas e, realizar apresentações/devolutivas dos dados às comunidades locais.	Divulgar o conhecimento científica por meio de pesquisas realizadas nas Unidades de Conservação para as comunidades da região.	**Espaço** Unidades de Conservação, escolas, universidades, comunidades do entorno. **Metodologia** • Incorporação gradual das pesquisas científicas realizadas nas UC's aos programas educativos das escolas; • Realização de encontros e apresentações e devolutivas sistemáticas às comunidades locais. **Prazo** • 12 meses: levantamento das pesquisas existentes e organização das primeiras devolutivas; • 36 meses: consolidação da integração ciência–educação–comunidade.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Implantação e implementação de projetos destinados à Educação Ambiental que já existem, a exemplo dos projetos salas mais verdes e ações da A3P, em consonância às UCs.	Integrar projetos de Educação Ambiental existentes, com as Unidades de Conservação.	**Espaço** Escolas, Unidades de Conservação, órgãos públicos e instituições parceiras. **Metodologia** • Implantação e fortalecimento contínuo dos projetos de Educação Ambiental existentes; • Integrando suas ações às UCs e ampliando o alcance institucional das políticas ambientais. **Prazo** • 12 meses: diagnóstico, adequação institucional e início da implementação; • 24 meses: consolidação como programas permanentes de Educação Ambiental.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental e Unidades de Conservação		
DIRETRIZ – Utilizar as Unidades de Conservação e áreas naturais do território como espaços estratégicos de educação ambiental, pesquisa comunitária e sensibilização para conservação da biodiversidade e uso sustentável dos recursos naturais.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Promover a identificação da “espécie bandeira” da fauna e da flora para representar as unidades de conservação do estado e, consequentemente, estimular o conhecimento e a conservação/preservação da espécie.	Acolher espécies em extinção dentro das unidades de conservação, orientando os visitantes sobre sua importância para a UC.	**Espaço** Unidades de Conservação estaduais; escolas da rede pública e privada; centros de visitantes; comunidades do entorno. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Seleção de pelo menos uma espécie da fauna e uma da flora por Unidade de Conservação para fins educativos; • Produção inicial de materiais informativos (painéis, folders e conteúdos digitais) para uso nas atividades de Educação Ambiental; • Realização de ações educativas envolvendo grupos escolares e visitantes. **Prazo** • 6 meses: definição participativa das espécies bandeira e produção dos primeiros materiais educativos; • 12 meses: início das ações educativas nas UCs e escolas; • 24 meses: consolidação da política como referência permanente de sensibilização ambiental.
Incentivar a elaboração e o uso de material paradidático (jogos de tabuleiro, livretos, vídeos etc.) multidisciplinar sobre a UC para Educação Ambiental nas escolas.	O objetivo é trazer a escola para dentro das unidades de conservação, formando uma percepção crítica entre os educadores e alunos, incentivando a desenvolver atividades em prol da conservação e preservação das unidades de conservação.	**Espaço** Escolas, Unidades de Conservação, secretarias de educação, instituições parceiras. **Metodologia** • Elaboração de um conjunto básico de materiais (jogos educativos, livretos, vídeos e conteúdos digitais); • Distribuição piloto em parte das escolas vinculadas às UCs; • Utilização dos materiais em atividades interdisciplinares ao longo do ano letivo.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: planejamento pedagógico e produção inicial do material. • 12 meses: aplicação piloto nas escolas e ajustes metodológicos. • 24 meses: ampliação do uso e integração definitiva ao currículo escolar.
Incentivar a prática de reflorestamento educativo, através de programa contínuo de execução e acompanhamento.	Promover a Educação Ambiental por meio de ações de reflorestamento com espécies nativas, estimulando a prevenção da perda de cobertura vegetal, o aumento da consciência ambiental e o fortalecimento do vínculo das comunidades com as Unidades de Conservação.	**Espaço** Unidades de Conservação, áreas do entorno, escolas, comunidades locais. **Metodologia** • Realização periódica de ações de plantio simbólico com participação de estudantes e moradores; • Produção e distribuição de mudas nativas adequadas ao bioma local; • Integração das ações aos projetos pedagógicos das escolas. **Prazo** • 6 meses: planejamento das áreas prioritárias e articulação com escolas e comunidades; • 12 meses: execução das primeiras ações de plantio educativo; • 24 meses: continuidade das ações e monitoramento participativo das áreas reflorestadas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Inclusão do tema Unidades de Conservação no planejamento anual escolar.	Integrar o conhecimento sobre Unidades de Conservação aos conteúdos curriculares, promovendo a compreensão de sua função ecológica, social e legal.	**Espaço** Escolas da educação básica, secretarias de educação, Unidades de Conservação. **Metodologia** • Inserção do tema UC nos planos pedagógicos de parte das escolas por território; • Realização de aulas teóricas integradas a visitas educativas às UCs; • Desenvolvimento de projetos interdisciplinares ao longo do ano letivo. **Prazo** • 6 meses: revisão dos PPPs e alinhamento pedagógico. • 12 meses: implementação nas escolas e início das atividades práticas. • 24 meses: consolidação da Educação Ambiental como eixo transversal permanente.
Oficina de plantas medicinais e saberes tradicionais.	Valorizar os saberes tradicionais associados ao uso de plantas medicinais, promovendo a integração entre conhecimento popular e científico e incentivando o uso consciente da biodiversidade.	**Espaço** Escolas, comunidades do entorno das UCs, Unidades de Conservação, espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de ciclos de oficinas educativas com participação de estudantes, professores e representantes comunitários;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Registro dos conhecimentos locais sobre identificação, uso e manejo de plantas medicinais; • Fortalecimento da transmissão intergeracional dos saberes. **Prazo** • 6 meses: mobilização das comunidades e planejamento das oficinas; • 12 meses: realização das primeiras oficinas e produção dos registros; • 24 meses: continuidade das ações e integração permanente aos programas de Educação Ambiental.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental e Unidades de Conservação		
DIRETRIZ – Articular ações educativas nas Unidades de Conservação costeiras e marinhas, integrando conservação da biodiversidade, turismo sustentável e fortalecimento da identidade ambiental do território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Palestras educativas sobre a Área de Proteção Ambiental (APA) Litoral Sul, ampliando o conhecimento sobre seus ecossistemas costeiros, sua importância socioambiental e as normas de uso sustentável, fortalecendo a conscientização de estudantes, comunidades locais e visitantes quanto à conservação da Unidade de Conservação.	Promover a Educação Ambiental por meio de palestras sobre a APA Litoral Sul, ampliando o conhecimento sobre seus ecossistemas costeiros, sua importância socioambiental e as normas de uso sustentável.	**Espaço** Escolas públicas e privadas do território, comunidades do entorno da APA, centros comunitários, unidades de conservação e espaços institucionais parceiros. **Metodologia** • Realização de ciclos periódicos de palestras educativas ao longo do ano, contemplando diferentes públicos

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		(estudantes, professores, lideranças comunitárias, visitantes); • Produção e distribuição de material informativo básico sobre ecossistemas costeiros, normas de uso sustentável e importância socioambiental da APA. **Prazos** • 6 meses: planejamento temático, elaboração de material educativo e articulação com escolas e comunidades; • 12 meses: execução do primeiro ciclo anual de palestras; • Ano 2 em diante: continuidade e ampliação das ações como programa permanente de Educação Ambiental da APA.
Ação educativa de plantio de espécies nativas.	Promover a Educação Ambiental por meio de ações de plantio simbólico de espécies nativas, sensibilizando estudantes e comunidades para a importância da vegetação nativa e da conservação das Unidades de Conservação.	**Espaço** Unidades de Conservação, áreas do entorno, escolas, comunidades locais e áreas previamente definidas como prioritárias para recuperação ambiental. **Metodologia** • Realização regular de ações educativas de plantio envolvendo turmas escolares, moradores e instituições parceiras; • Produção e distribuição de mudas nativas adequadas aos ecossistemas locais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Integração das atividades de plantio aos projetos pedagógicos e às ações de sensibilização ambiental. **Prazos** • 6 meses: identificação das áreas prioritárias e organização logística; • 12 meses: realização das primeiras ações de plantio educativo; • 36 meses: manutenção e monitoramento participativo das áreas plantadas.
Desenvolver uma política pública de arrecadação de recursos por meio da riqueza natural, para incentivar e fortalecer as ações de preservação, conservação e promoção das atividades ambientais, a limpeza dos estuários, rios, manguezais, matas municipais, reflorestamento com mudas de arvores nativas e frutíferas em áreas desmatadas e revitalização das nascentes com ações de plantios, manutenção e proteção.	Apoio aos Órgãos gestores de Unidades de Conservação da Natureza e outras áreas especialmente protegidas, promoverem a Educação Ambiental, utilizando-a como instrumento para a proteção de recursos naturais e culturais associados, garantindo a oferta de bens e serviços ambientais para as presentes e futuras gerações (Lei 6.882 de 08 de abril de 2010). Assegurar a participação efetiva das populações locais na criação, implantação e gestão das unidades de conservação.	**Espaço** Órgãos gestores de Unidades de Conservação, secretarias municipais e estaduais, áreas naturais do território, comunidades do entorno. **Metodologia** • Criação de instrumentos de captação de recursos ambientais; • Financiamento contínuo de ações de limpeza de estuários, rios e manguezais, reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e proteção de nascentes; • Participação organizada das comunidades nos processos de planejamento e execução. **Prazos** • 12 meses: elaboração e institucionalização da política pública;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: início da execução dos programas financiados; • 36 meses: consolidação do modelo de gestão financeira ambiental.
Incentivar a criação de Ecoparques no entorno das áreas de unidades de conservação para a conservação e proteção da fauna e flora silvestre.	Contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais. Proteger as espécies ameaçadas de extinção no, âmbito regional e nacional. Promover o Desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais. Promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento (Lei 9.985, 2000, cap. II).	**Espaço** Áreas públicas e livres municipais. **Metodologia** • Implantação progressiva de áreas destinadas à conservação, educação ambiental, lazer sustentável e proteção da biodiversidade; • Formação de parcerias entre poder público, setor privado e comunidades locais para gestão compartilhada dos ecoparques. **Prazos** • 12 meses: mapeamento de áreas e definição de modelos de gestão; • 24 meses: implantação inicial dos primeiros ecoparques; • 36 meses: ampliação e consolidação do sistema de ecoparques.
Promover ações de sensibilização sobre a importância da Educação Ambiental nas escolas e comunidades, postos de saúde, unidades de conservação e entorno, demais instituições públicas e privadas, disponibilizando coletores de material recicláveis em parcerias com as secretarias municipais e estaduais.	Presar pela Educação Ambiental, utilizando-a como instrumento para a proteção de recursos naturais e culturais associados, garantindo a oferta de bens e serviços ambientais para as presentes e futuras gerações. Incentivar a colaboração dos meios de comunicação, colaborarem de maneira ativa e permanente na disseminação de	**Espaço** Escolas, comunidades, postos de saúde, Unidades de Conservação, órgãos públicos e instituições privadas. **Metodologia** • Campanhas educativas permanentes;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	informações e práticas educativas incorporando a dimensão ambiental em sua programação, inclusive em horário nobre (Lei No 9.985, de 18 de julho de 2000.)	• Implantação gradual de coletores de materiais recicláveis; • Ações conjuntas entre secretarias municipais e estaduais; • Desenvolvimento de meios de comunicação locais na difusão de práticas sustentáveis. **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas e articulação institucional; • 12 meses: implantação inicial dos coletores e execução das campanhas; • 24 meses: ampliação e fortalecimento da política de resíduos e educação ambiental.
Fomentar a proibição e punição quanto ao uso inadequado dos agrotóxicos e pesticidas no entorno das unidades de conservação, bem como a queima do lixo e desmatamento.	Garantir a preservação das Unidades de Conservação e a não contaminação do solo, fauna e flora local	**Espaço** Entorno das Unidades de Conservação, escolas, comunidades rurais, áreas produtivas do território. **Metodologia** • Ações educativas contínuas sobre impactos dos agrotóxicos e queimadas; • Campanhas informativas; • Integração das escolas na sensibilização comunitária; • Apoio à fiscalização e fortalecimento institucional. **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas e materiais educativos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: início das ações educativas e integração com fiscalização; • 24 meses: consolidação do processo de prevenção e controle.
Promover capacitação para condutores ambientais nas unidades conservação, criando equipes de Educação Ambiental nas comunidades locais.	Atentar permanente a formação de valores, atitudes, habilidades e competências que propiciem a atuação individual e coletiva voltada para a prevenção, a identificação e a solução de problemas ambientais.	**Espaço** Unidades de Conservação, comunidades do entorno, instituições de ensino, espaços formativos. **Metodologia** • Realização periódica de cursos de capacitação para condutores ambientais; formação de equipes comunitárias de Educação Ambiental; • Envolvimento de empresas, instituições públicas e privadas na oferta de programas de formação continuada. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico e definição de parceiros; • 12 meses: execução dos primeiros cursos de capacitação; • 24 meses: manutenção e ampliação do programa de formação permanente.

Fonte: Os autores.

1.12 EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO COMBATE À DESERTIFICAÇÃO

A desertificação, segundo a Convenção das Nações Unidas, é a degradação de terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas do planeta, resultando da destruição da base de recursos naturais em função da ação humana sobre o meio ambiente, podendo ou não estar associada à variabilidade climática (Brasil, 2004). Nesse mesmo sentido, entende-se por desertificação a degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e da biodiversidade dessas terras secas, bem como a consequente redução da qualidade de vida da população afetada (Travassos et al., 2009; Matallo-Júnior, 1999).

O processo de desertificação constitui uma das mais graves formas de degradação ambiental, especialmente nas regiões semiáridas, onde a combinação entre fragilidade ecológica, uso inadequado do solo e eventos climáticos extremos intensificados pelas mudanças climáticas agrava a perda de biodiversidade, a redução da fertilidade do solo e a escassez hídrica. Nesse contexto, a Educação Ambiental assume papel central para promover práticas sustentáveis, fortalecer a consciência socioambiental e engajar comunidades, produtores rurais e gestores públicos na prevenção e no enfrentamento desse fenômeno.

O eixo da Educação Ambiental no combate à desertificação está respaldado pela Política Nacional de Combate à Desertificação (Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015), que institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e seus instrumentos, estabelecendo, em seu inciso VIII, a promoção da educação socioambiental dos atores sociais envolvidos no tema (BRASIL, 2015). Complementarmente, a Lei Estadual de Combate à Desertificação de Sergipe (Lei nº 8.785, de 6 de novembro de 2020) reforça a necessidade de ações voltadas à mitigação desse fenômeno no âmbito local.

Em Sergipe, a desertificação tem se intensificado devido a fatores como o pastoreio inadequado e o uso indiscriminado dos recursos naturais da Caatinga. Nesse contexto, a atuação da Educação Ambiental se apresenta como estratégica, integrando a Política Estadual de Combate à Desertificação, o Plano Estadual de Combate à Desertificação e o Plano Estadual de Educação Ambiental (PlanEA). Este último é concebido como uma política pública exequível, elaborada de forma compartilhada, articulada e acompanhada por instâncias representativas, garantindo maior participação social e controle na implementação das ações de combate à desertificação.

Esse eixo considera as especificidades dos territórios mais suscetíveis à degradação, garantindo ações voltadas à realidade socioeconômica e ambiental de cada região. Assim,

a Educação Ambiental torna-se ferramenta essencial para conter o avanço da desertificação, recuperar paisagens degradadas e construir um modelo de desenvolvimento mais equilibrado, resiliente e compatível com as condições ecológicas de Sergipe.

Considerando as diferenças climáticas, ecológicas e socioeconômicas do estado, o Quadro 12, inserido a seguir, organiza as diretrizes e ações por território, definindo caminhos específicos para ampliar a resiliência ambiental e social nas áreas mais vulneráveis ao processo de desertificação.

Quadro 12. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental no Combate à Desertificação

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental no Combate à Desertificação		
DIRETRIZ – Fortalecer práticas educativas voltadas à conservação do solo, uso sustentável da água e recuperação de áreas degradadas, integrando comunidades rurais, agricultores familiares e instituições de ensino na prevenção dos processos de degradação ambiental.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Promover projetos de distribuição de mudas com ações de Educação Ambiental.	Distribuição de mudas associada à conscientização da população sobre plantio e cuidados.	**Espaço** Escolas, comunidades do entorno e áreas prioritárias para recuperação ambiental. **Metodologia** Identificação de áreas e municípios prioritários, mobilização social e institucional, realização de ações educativas de reflorestamento, produção e distribuição de mudas e fortalecimento do vínculo das comunidades com a vegetação nativa. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico territorial e articulação com municípios e parceiros; • 12 meses: execução das primeiras ações de expansão do projeto; • 24 meses: consolidação do Reflorestar-SE como programa permanente de educação ambiental e recuperação da vegetação.
Incentivo às agroflorestas, capacitação de produtores rurais juntamente com campanhas educativas.	Promoção de sistemas sustentáveis que integram agricultura e floresta, garantindo produção de alimentos com conservação ambiental.	**Espaço** Comunidades rurais, associações de produtores, áreas produtivas, escolas do campo e instituições de apoio à agricultura familiar.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia Realização periódica de ações formativas para produtores rurais, oficinas práticas sobre sistemas agroflorestais, dias de campo, campanhas educativas sobre manejo sustentável do solo e uso racional da água, com produção e distribuição de material técnico e educativo. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico participativo das comunidades e planejamento das capacitações; • 12 meses: execução das primeiras capacitações e implantação das experiências agroflorestais; • 24 meses: ampliação e consolidação das práticas agroflorestais no território.
Ampliação do Projeto Reflorestar-SE para o Território Agreste Central.	Expandir o Projeto Reflorestar-SE para outros municípios, fortalecendo ações de reflorestamento educativo, preventivo e de sensibilização ambiental.	**Espaço** Municípios do território, áreas degradadas, escolas, comunidades do entorno e áreas prioritárias para recuperação ambiental. **Metodologia** • Identificação de áreas e municípios prioritários; mobilização de escolas, comunidades e gestores; • Produção e distribuição de mudas; • Realização de ações educativas de plantio e acompanhamento da recuperação ambiental. **Prazo**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: diagnóstico territorial e articulação institucional; • 24 meses: execução inicial da ampliação do projeto; • 36 meses: consolidação do Reflorestar-SE como programa permanente no território
Criação de planos municipais de combate à desertificação, a partir da identificação de áreas suscetíveis.	Realizar diagnóstico de áreas com potencial para desertificação bem como áreas com nível avançado de degradação para subsidiar ações de mitigação, combate, recuperação de tais áreas.	**Espaço** Territórios municipais, áreas suscetíveis à desertificação e regiões com degradação ambiental avançada. **Metodologia** Elaboração de 1 (um) diagnóstico técnico participativo por Município do território, com o mapeamento de áreas críticas, construção dos planos municipais de combate à desertificação e definição de ações de mitigação, recuperação e uso sustentável do solo, em consonância com a Lei nº 13.153/2015. **Prazos** • 12 meses: elaboração dos diagnósticos e dos planos municipais; • 24 meses: início da execução das ações prioritárias; • 32 meses: monitoramento, avaliação e revisão periódica dos planos.
Diagnóstico para identificação de áreas com potencial para desertificação para a criação de unidades de conservação.	Estabelecer metodologia de mensuração para avaliação das áreas degradadas com vistas a delimitar a criação de novas UCs.	**Espaço** Áreas degradadas e territórios com potencial para desertificação no âmbito municipal e regional. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Aplicação de metodologia técnica de mensuração ambiental, levantamento de dados de degradação e desertificação, delimitação de áreas prioritárias para criação de novas Unidades de Conservação, em atendimento à PNCD – Art. 5º. **Prazos** • 12 meses: realização do diagnóstico e definição das áreas prioritárias; • 24 meses: encaminhamento técnico-institucional para criação das novas UCs.
Desenvolver ações de preservação ambiental junto as comunidades com ações de reflorestamento, matas ciliares capacitação para uso sustentável do solo.	Reconhecer o papel de cada cidadão no processo de manutenção/conservação das áreas a partir da inserção do manejo e uso sustentável dos recursos naturais.	**Espaço** Comunidades do território, áreas produtivas, matas ciliares, nascentes, escolas e associações locais. **Metodologia** Ações educativas contínuas sobre preservação ambiental, campanhas de reflorestamento, recuperação de matas ciliares, capacitações em manejo sustentável do solo e valorização dos conhecimentos tradicionais, conforme diretrizes da PNCD. **Prazos** • 6 meses: planejamento e mobilização comunitária; • 12 meses: execução das ações de campo; • 24 meses: ampliação e consolidação das práticas de conservação.
Programa de fortalecimento da agricultura orgânica em detrimento ao uso de defensivos agrícolas com desdobramentos com fomento	Apontar estratégias de convergência entre a preservação ambiental e a manutenção da segurança	**Espaço** Escolas, comunidades rurais, associações, áreas produtivas e viveiros comunitários.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
a criação de hortas nas escolas e viveiros para produção de mudas de espécies nativas da caatinga e mata atlântica.	alimentar através do estímulo a implementação da agricultura familiar.	**Metodologia** Implantação progressiva de hortas escolares, viveiros de mudas nativas da Caatinga e Mata Atlântica, capacitações em agricultura orgânica e estímulo à agricultura familiar sustentável, conforme a PNCD. **Prazos** • 12 meses: capacitações iniciais e implantação das primeiras estruturas; • 24 meses: expansão e fortalecimento do programa no território; • 36 meses: consolidação como política permanente de segurança alimentar e conservação ambiental.
Capacitação de recursos para projetos de Educação Ambiental com foco no uso sustentável do solo.	Discriminar fontes de recursos humanos, financeiros e materiais com potencial para serem utilizados em projetos de Educação Ambiental com foco na desertificação.	**Espaço** Órgãos públicos, instituições de ensino, ONGs, universidades e comunidades locais. **Metodologia** Estruturação de equipe técnica, identificação de fontes de financiamento, elaboração e submissão de projetos e fortalecimento da cooperação científica e tecnológica, em consonância com a PNCD – XVII. **Prazos** • 6 meses: organização institucional e planejamento estratégico; • 12 meses: submissão e execução dos primeiros projetos financiados;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: manutenção contínua da política de financiamento ambiental.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental no Combate à Desertificação		
DIRETRIZ – Promover a Educação Ambiental orientada à convivência com o semiárido, à proteção da Caatinga e ao manejo sustentável dos recursos naturais, fortalecendo a resiliência socioambiental das comunidades sertanejas.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Ciclo de palestras educativas em escolas e comunidades rurais a fim de sensibilizar sobre o processo desertificação.	Ampliar o conhecimento da população sobre o processo de desertificação, suas causas e consequências socioambientais no território do Alto Sertão.	**Espaço** Escolas e comunidades rurais prioritárias. **Metodologia** • Realização de palestras anualmente, distribuídas entre escolas e comunidades rurais prioritárias, alcançando estudantes, professores, agricultores e lideranças locais; • Produção de material de apoio impresso e digital para uso durante as atividades. • Consolidar o ciclo de palestras como ação permanente de educação ambiental, ampliando o número de instituições e comunidades atendidas. **Prazos** • 6 meses: planejamento e articulação institucional; • 12 meses: execução do primeiro ciclo anual de palestras; • 24 meses: manutenção anual e ampliação gradual do número de instituições atendidas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Oficinas práticas sobre conservação do solo e combate à erosão.	Capacitar agricultores, estudantes e comunidades rurais em práticas sustentáveis de manejo e conservação do solo.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas do campo, propriedades agrícolas e centros comunitários. **Metodologia** Realização de oficinas práticas por ano, com demonstrações de técnicas de conservação do solo, manejo de água e controle de erosão, envolvendo agricultores, estudantes e técnicos locais. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico das demandas e planejamento; • 12 meses: execução das oficinas e acompanhamento das áreas demonstrativas; • 24 meses: consolidação e replicação das práticas em novas comunidades.
Mutirões educativos de plantio e manejo de espécies nativas da Caatinga em áreas suscetíveis à desertificação.	Promover a recuperação de áreas degradadas e fortalecer a vegetação nativa como estratégia de combate à desertificação.	**Espaço** Áreas suscetíveis à desertificação, comunidades rurais, margens de cursos d'água e áreas degradadas. **Metodologia** Realização de 6 a 10 mutirões por ano, com plantio de espécies nativas da Caatinga, envolvendo escolas, agricultores e moradores locais, além de acompanhamento periódico das áreas recuperadas. **Prazos** • 6 meses: seleção das áreas e mobilização comunitária;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução dos mutirões e monitoramento inicial; • 24 meses: continuidade anual e ampliação das áreas atendidas.
Campanhas educativas sobre os impactos das queimadas no solo, na biodiversidade e no avanço da desertificação.	Sensibilizar a população sobre os impactos das queimadas no solo, na biodiversidade e no avanço da desertificação.	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, escolas, feiras livres, rádios comunitárias e espaços públicos. **Metodologia** Realização de 2 grandes campanhas anuais (período seco e início das chuvas), com produção de cartazes, palestras em rádios, feiras livres, ações comunitárias e atividades escolares, além de reforços educativos ao longo do ano. **Prazos** • 3 meses: produção dos materiais; • 12 meses: execução das campanhas.
Oficinas educativas valorizando práticas tradicionais	Valorizar saberes tradicionais e práticas locais que contribuem para a conservação da biodiversidade e a resiliência do semiárido.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas, associações e espaços culturais. **Metodologia** Realização de 2 a 3 oficinas por ano abordando sementes crioulas, práticas tradicionais do semiárido e segurança alimentar, com registro das experiências e produção de materiais educativos. **Prazos** • 6 meses: mapeamento dos saberes e planejamento;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das oficinas; • 24 meses: consolidação como ação permanente.
Programas em rádios comunitárias com linguagem acessível sobre desertificação, entrevistas com agricultores, técnicos e lideranças locais.	Difundir práticas sustentáveis voltadas ao combate à desertificação, a exemplo de práticas sustentáveis de manejo do solo.	**Espaço** Rádios comunitárias do território. **Metodologia** Produção e veiculação de 1 a 2 programas mensais, com entrevistas de agricultores, técnicos e lideranças. **Prazos** • 3 meses: estruturação do programa; • 12 meses: execução contínua; • 24 meses: consolidação como política permanente de comunicação ambiental.
Apoio na ativação, ou reativação, dos Fundos Municipais de Meio Ambiente nos Municípios com fundos inativos.	Assegurar a disponibilização de recursos financeiros para ações de preservação e educação ambiental no âmbito do combate à desertificação.	**Espaço** Municípios do território e instâncias dos conselhos municipais de meio ambiente. **Metodologia** Fundos Municipais de Meio Ambiente ativos em todos os Municípios do Território. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico jurídico e financeiro da situação dos fundos; • 12 meses: reativação formal e início da captação de recursos; • 24 meses: consolidação do fundo como instrumento permanente de financiamento ambiental.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Incentivo à criação de bancos de semente de plantas nativas da caatinga em todos os municípios com incentivo do governo do estado.	Inserir bancos de semente de plantas nativas da caatinga em todos os municípios inseridos no Bioma em Sergipe.	**Espaço** Municípios inseridos no Bioma Caatinga em Sergipe, com participação de escolas, associações rurais e comunidades tradicionais. **Metodologia** Implantação inicial de 1 banco de sementes em cada município prioritário, acompanhado de ações educativas, coleta comunitária de sementes e formação de redes locais de conservação da biodiversidade. **Prazos** • 12 meses: planejamento técnico e seleção dos municípios; • 24 meses: implantação dos bancos de sementes e formação das equipes locais; • 36 meses: ampliação gradual da rede de bancos de sementes.
Apoio na inserção do ecoturismo no planejamento educacional de cada município afim de promover Educação Ambiental.	Promover a Educação Ambiental por meio da inserção do ecoturismo no planejamento educacional de cada município.	**Espaço** Secretarias municipais de educação, escolas, unidades de conservação e comunidades locais. **Metodologia** Inclusão do tema ecoturismo nos planos pedagógicos, com realização de atividades educativas, visitas orientadas e projetos interdisciplinares ao longo do ano letivo. **Prazos** • 6 meses: articulação entre secretarias de educação e meio ambiente;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: inserção nos planejamentos pedagógicos e início das atividades educativas; • 24 meses: consolidação do ecoturismo como eixo permanente da Educação Ambiental municipal.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental no Combate à Desertificação		
DIRETRIZ – Integrar ações educativas voltadas à conservação do solo, proteção das matas ciliares e uso sustentável da água, reduzindo processos de degradação ambiental nas áreas de transição entre ambientes ribeirinhos e semiáridos.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Promover projetos de distribuição de mudas com ações de Educação Ambiental.	Promover a reflexão sobre as práticas sociais, que de certo modo tem causado a degradação permanente do meio ambiente e do seu ecossistema, bem como contribuir para o processo de revegetação de áreas degradadas através do fornecimento de mudas de espécies nativas regionais.	**Espaço** Escolas, comunidades urbanas e rurais, áreas degradadas do território, unidades de conservação e espaços comunitários. **Metodologia** Estruturação de uma rede territorial de projetos produtores e doadores de mudas nativas, com realização de 1 encontro anual de integração entre os projetos, além de ações contínuas de distribuição de mudas associadas a atividades de Educação Ambiental em escolas, comunidades e eventos públicos. **Prazos** • 6 meses: mapeamento dos projetos existentes e articulação da rede; • 12 meses: realização do primeiro encontro anual e início das ações de distribuição educativa;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: consolidação da rede e ampliação gradual das ações de revegetação.
Incentivar nas comunidades a construção de viveiros de mudas nativas para geração de renda e recuperação de áreas degradadas.	Contribuir para recuperação e restauração de áreas degradadas, e o processo de Educação Ambiental das comunidades sobre os efeitos do desmatamento.	**Espaço** Comunidades rurais, associações locais, escolas agrícolas, propriedades familiares e instituições parceiras. **Metodologia** Implantação inicial de viveiros comunitários em localidades prioritárias, com desenvolvimento de projetos de geração de renda e recuperação de áreas degradadas, acompanhados por parcerias com universidades e instituições de fomento à pesquisa para apoio técnico. **Prazos** • 12 meses: seleção das comunidades, parcerias institucionais e capacitação inicial; • 24 meses: implantação e funcionamento dos primeiros viveiros; • 36 meses: ampliação gradual da rede de viveiros e fortalecimento da cadeia produtiva de mudas nativas.
Promover ações de incentivo para execução de esgotamento sanitário em todos as cidades juntamente com ações ambientais para sensibilizar e conscientizar como este eixo está diretamente ligado a saúde ambiental e a desertificação.	Incentivar a implementação de programas de saúde e meio ambiente.	**Espaço** Comunidades rurais, centros comunitários, escolas técnicas, universidades e áreas de viveiros. **Metodologia** Realização de cursos periódicos de capacitação sobre produção de mudas nativas, manejo de sementes e gestão de viveiros, associados à criação de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		mecanismos de apoio para aquisição de equipamentos e insumos básicos para os participantes. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico dos cursos e articulação de parcerias; • 12 meses: execução dos primeiros ciclos de capacitação; • 24 meses: oferta continuada dos cursos e fortalecimento da autonomia produtiva das comunidades.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental no Combate à Desertificação		
DIRETRIZ – Desenvolver ações educativas voltadas à recuperação de áreas degradadas, manejo sustentável do solo e fortalecimento de práticas produtivas ambientalmente responsáveis, articulando comunidades, setor produtivo e instituições públicas.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Criar Programa de Restauração de ecossistemas degradados da Caatinga.	Promover a recuperação de áreas afetadas pela degradação ambiental e desertificação, fortalecendo a vegetação nativa, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos da Caatinga.	**Espaço** Áreas rurais degradadas e suscetíveis à desertificação no território centro sul, propriedades agrícolas familiares, áreas de entorno de comunidades rurais. **Metodologia** • Mutirões de restauração ecológica, envolvendo atividades de preparo do solo, plantio de espécies nativas, cercamento de áreas sensíveis e ações educativas; • Com participação direta entre estudantes, agricultores, lideranças comunitárias e técnicos ambientais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 12 meses: mapeamento e início das ações; • 24 meses: ampliação e consolidação.
Incentivar nas comunidades a construção de viveiros de mudas nativas para gearão de renda e recuperação de áreas degradadas.	Contribuir para recuperação e restauração de áreas degradadas, e o processo de Educação Ambiental das comunidades sobre os efeitos do desmatamento.	**Espaço** Comunidades rurais, associações locais, escolas agrícolas, propriedades familiares e instituições parceiras. **Metodologia** Implantação inicial de viveiros comunitários em localidades prioritárias, com desenvolvimento de projetos de geração de renda e recuperação de áreas degradadas, acompanhados por parcerias com universidades e instituições de fomento à pesquisa para apoio técnico. **Prazos** • 12 meses: seleção das comunidades, parcerias institucionais e capacitação inicial; • 24 meses: implantação e funcionamento dos primeiros viveiros; • 36 meses: ampliação gradual da rede de viveiros e fortalecimento da cadeia produtiva de mudas nativas.
Implantação de Sistemas Demonstrativos de Produção Sustentável, contemplando oficinas técnicas de aprendizagem.	Incentivar práticas produtivas adaptadas ao semiárido que reduzam a degradação do solo, aumentem a resiliência climática e promovam segurança alimentar.	**Espaço** Propriedades rurais familiares, associações de produtores, comunidades agrícolas e áreas produtivas do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Implantação de unidades demonstrativas de produção sustentável (agroflorestas, sistemas agroecológicos e manejo conservacionista do solo); • Realização de oficinas técnicas por ano e capacitação progressiva de agricultores e estudantes do campo. **Prazos** • 12 meses: implantação das primeiras unidades e capacitações iniciais; • 24 meses: ampliação do número de produtores atendidos, intercâmbio entre comunidades e consolidação das práticas sustentáveis.
Criar campanhas de sensibilização sobre práticas sustentáveis de conservação do solo.	Conscientizar comunidades escolares e rurais sobre a importância do solo saudável como base para o combate à desertificação e para a produção de alimentos.	**Espaço** Escolas da rede pública, associações comunitárias, comunidades rurais e espaços de convivência comunitária. **Metodologia** • Realização anual de ações educativas (palestras, rodas de conversa, atividades lúdicas e oficinas práticas); • oficinas de manejo e conservação do solo. **Prazos** • 6 meses: elaboração dos materiais educativos e formação de multiplicadores; • 24 meses: execução contínua e progressiva.
Campanha “17 de junho, Dia Mundial de Combate à Desertificação e à Seca”.	Mobilizar escolas, comunidades e instituições para reflexão, informação e ação coletiva sobre	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	desertificação, mudanças climáticas e convivência com o semiárido.	Escolas, praças públicas, comunidades rurais, instituições públicas e espaços comunitários dos municípios do território **Metodologia** Realização anual de atividades como palestras, exposições, apresentações culturais, oficinas educativas e ações de campo, alcançando. **Prazos** • 3 meses: preparação para o evento; • 12 meses: realização do primeiro evento; • Ciclo contínuo ao longo dos anos como ação estruturante da política territorial de combate à desertificação.
Criação e implementação de programa intitulado “Conserva: A Escola da Caatinga”.	Integrar educação ambiental, ciência e cultura regional no cotidiano escolar, fortalecendo o vínculo dos estudantes com o bioma Caatinga e sua conservação.	**Espaço** Unidades escolares da rede pública municipal e estadual e seus respectivos territórios de entorno. **Metodologia** Implantação progressiva do programa em escolas do território, com desenvolvimento anual de atividades pedagógicas por escola (oficinas, aulas de campo, feiras científicas, projetos de pesquisa e ações comunitárias). **Prazos** • 12 meses: implantação piloto em escolas estratégicas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: ampliação do número de escolas participantes e consolidação do programa como política educacional permanente.
Diagnósticos e ações nas cadeias produtivas da Caatinga (Carnaúba, Licuri etc.).	Analisar e fortalecer cadeias produtivas sustentáveis da Caatinga como estratégia econômica e ambiental contra a desertificação.	**Espaço** Comunidades produtoras, associações rurais, cooperativas e territórios de produção da Caatinga. **Metodologia** Realização de diagnósticos produtivos participativos por ano, implantação de ações de fortalecimento produtivo (capacitações, assistência técnica, feiras, oficinas de agregação de valor) e atendimento direto a produtores e produtoras da região. **Prazos** • 6 meses: realização dos diagnósticos e planejamento das ações; • 12 meses: implementação, acompanhamento e fortalecimento das cadeias produtivas sustentáveis.
Criação de campanha de sensibilização denominada “Fogo zero na Caatinga”.	Campanha permanente de educação ambiental voltada à prevenção de queimadas e incêndios florestais no bioma Caatinga, por meio de estratégias educativas, comunicacionais e participativas junto às comunidades rurais, escolas e produtores locais.	**Espaço** Comunidades rurais, áreas agrícolas, escolas do campo. **Metodologia** • Teatro educativo itinerante em escolas e comunidades, abordando causas e consequências das queimadas; • Instalação de placas informativas em áreas estratégicas das comunidades rurais e estradas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Execução de oficinas comunitárias sobre prevenção de queimadas. **Prazos** • 6 meses: planejamento, capacitação e início das ações; • 12 meses: execução contínua e fortalecimento permanente da campanha.
Criação de Feira Anual da Caatinga Sustentável.	Estimular práticas produtivas sustentáveis que contribuam para a geração de renda, a conservação do bioma Caatinga e a redução da pressão sobre os recursos naturais.	**Espaço** Praças públicas, centros comunitários, escolas e espaços de eventos dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de edições anuais da feira, com exposição e comercialização de mel, licuri, artesanato, plantas medicinais, sementes crioulas e produtos agroecológicos; • Rodas de conversa com produtores locais sobre convivência com o semiárido; • Oficinas sobre uso sustentável da Caatinga e empreendedorismo verde; **Prazos** • 12 meses: implantação da feira no calendário territorial; • 24 meses: consolidação como evento permanente de educação ambiental e economia sustentável.
Desenvolvimento de Banco de sementes crioulas.	Garantir o acesso contínuo a sementes tradicionais e adaptadas às condições do semiárido, reduzindo a	**Espaço** Comunidades rurais, associações de agricultores, escolas do campo e territórios tradicionais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	vulnerabilidade das comunidades rurais e fortalecendo sistemas produtivos sustentáveis.	**Metodologia** • Implantação de casas de sementes comunitárias; • Realização anual eventos de troca e circulação de sementes; • Capacitação de agricultores e guardiões de sementes. **Prazos** • 12 meses: implantação das primeiras casas de sementes e formação inicial; • 24 meses: ampliação da rede, fortalecimento da autonomia produtiva e integração entre comunidades.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental no Combate à Desertificação		
DIRETRIZ – Promover ações educativas voltadas à prevenção da degradação ambiental em áreas periurbanas e rurais do território, integrando conservação do solo, uso racional da água e adaptação às condições climáticas locais.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Realização de ações integradas, a exemplo de mutirões e atividades educativas voltadas à proteção de Áreas de Preservação Permanente – APP.	Fortalecer a proteção das áreas naturais e legais de preservação, reduzindo desmatamentos, queimadas e usos inadequados do território.	**Espaço** Áreas de Preservação Permanente (APP), Unidades de Conservação, comunidades do entorno e instituições educacionais do território. **Metodologia** Realização ações integradas de proteção e educação ambiental, incluindo mutirões de vigilância comunitária, atividades educativas, campanhas de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		sensibilização e ações de reflorestamento em áreas sensíveis. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das áreas prioritárias e articulação institucional; • 12 meses: execução contínua das ações, monitoramento participativo e fortalecimento das estratégias de proteção territorial.
Inserção do tema desertificação no currículo das escolas do território.	Incorporar de forma contínua e interdisciplinar o tema desertificação no currículo escolar, fortalecendo a formação ambiental dos estudantes e promovendo atitudes de cuidado com o território.	**Espaço** Escolas da rede municipal e estadual do território. **Metodologia** • Implantação do tema no planejamento pedagógico de pelo menos 60% das escolas do território no primeiro ano, ampliando progressivamente até atingir a totalidade das unidades escolares em até três anos; • Realização de formações pedagógicas anuais para professores e produção de materiais didáticos de apoio. **Prazos** • 12 meses: elaboração das diretrizes pedagógicas, formação inicial de professores e inserção do tema nos PPPs; • 24 meses: ampliação da implementação, acompanhamento pedagógico e consolidação como eixo permanente da educação ambiental escolar.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Estimular a recuperação da mata ciliar com o incentivo ao reflorestamento (campanhas educativas e incentivo ao plantio).	Difundir o conhecimento da legislação pertinente à proteção da mata ciliar e a importância de sua preservação.	**Espaço** Comunidades rurais e escolas do território. **Metodologia** Planejamento dos municípios para realização de campanhas educativas para recuperação das matas ciliares de acordo com a legislação vigente. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das áreas críticas e planejamento municipal; • 12 meses: execução contínua das campanhas, ações de plantio e monitoramento das áreas recuperadas.
Realização de ciclo de palestras educativas em escolas e comunidades rurais.	Ampliar o conhecimento da população sobre o processo de desertificação, suas causas e consequências socioambientais no território.	**Espaço** Escolas e comunidades rurais prioritárias **Metodologia** • Realização de palestras anualmente, distribuídas entre escolas e comunidades rurais prioritárias, alcançando estudantes, professores, agricultores e lideranças locais; • Produção de material de apoio impresso e digital para uso durante as atividades; • Consolidar o ciclo de palestras como ação permanente de educação ambiental, ampliando o número de instituições e comunidades atendidas. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: planejamento e articulação institucional; • 12 meses: execução do primeiro ciclo anual de palestras; • 24 meses: manutenção anual e ampliação gradual do número de instituições atendidas.
Promover ações de incentivo para execução de esgotamento sanitário em todos as cidades juntamente com ações ambientais para sensibilizar e conscientizar como ele está diretamente ligado a saúde ambiental e a desertificação.	Incentivar a implementação de programas de saúde e meio ambiente.	**Espaço** Comunidades rurais, centros comunitários, escolas técnicas, universidades e áreas de viveiros. **Metodologia** Realização de cursos periódicos de capacitação sobre produção de mudas nativas, manejo de sementes e gestão de viveiros, associados à criação de mecanismos de apoio para aquisição de equipamentos e insumos básicos para os participantes. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico dos cursos e articulação de parcerias; • 12 meses: execução dos primeiros ciclos de capacitação; • 24 meses: oferta continuada dos cursos e fortalecimento da autonomia produtiva das comunidades.
Estimular a recuperação da mata ciliar com incentivo do reflorestamento (campanhas educativas e incentivo ao plantio)	Difundir o conhecimento da legislação pertinente à proteção da mata ciliar e a importância de sua preservação.	**Espaço** Comunidades rurais e escolas do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Planejamento dos municípios para realização de campanhas educativas para recuperação das matas ciliares de acordo com a legislação vigente. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das áreas críticas e planejamento municipal; • 12 meses: execução contínua das campanhas, ações de plantio e monitoramento das áreas recuperadas.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental no Combate à Desertificação		
DIRETRIZ – Fortalecer práticas educativas voltadas à conservação do solo, proteção da vegetação nativa e uso sustentável dos recursos naturais, reduzindo processos de degradação em áreas agrícolas e periurbanas.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Estímulo à recuperação da mata ciliar com incentivo do reflorestamento (campanhas educativas e incentivo ao plantio)	Difundir o conhecimento da legislação pertinente à proteção da mata ciliar e a importância de sua preservação.	**Espaço** Comunidades rurais e escolas do território. **Metodologia** Planejamento dos municípios para realização de campanhas educativas para recuperação das matas ciliares de acordo com a legislação vigente. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das áreas críticas e planejamento municipal; • 12 meses: execução contínua das campanhas, ações de plantio e monitoramento das áreas recuperadas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Sensibilização da realização de irrigação/captação feita de forma correta (campanhas educativas e capacitação das secretarias de agricultura e meio ambiente municipais) favorecendo a conservação das nascentes.	Sensibilizar os diversos atores sociais sobre o uso adequado da água para irrigação/captação por meio de campanhas educativas.	**Espaço** Comunidades rurais, perímetros irrigados, propriedades agrícolas, escolas e secretarias municipais. **Metodologia** • Realização de campanhas educativas anuais, capacitação de equipes técnicas das secretarias municipais. **Prazo** • 12 a 24 meses: Planejamento dos municípios para realização de campanhas educativas para realizar irrigação/captação de água de forma adequada e capacitação de secretarias de agricultura e meio ambiente municipais), favorecendo a conservação das nascentes com base nas Políticas de Educação Ambiental nos níveis Municipal, Estadual e Nacional.
Incentivo à implantação de "quintais produtivos", incentivo por meio da secretaria de agricultura e meio ambiente através de capacitação e estruturação (curso de extensão sobre quintais produtivos).	Realizar cursos de capacitação para implantação de "quintais produtivos".	**Espaço** Comunidades rurais, áreas periurbanas, escolas e propriedades familiares. **Metodologia** Implantação de cursos de extensão por ano, estruturando quintais produtivos ao longo de três anos, envolvendo famílias agricultoras e estudantes. **Prazos** • 12 meses: Planejamento dos municípios para realização dos cursos com base Políticas de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Educação Ambiental nos níveis Municipal, Estadual e Nacional; • 24 meses: ampliação progressiva e fortalecimento da produção
Fortalecimento da implantação de barragens sucessivas, a partir do resgate inspirado em projetos já existentes.	Evitar o assoreamento dos corpos aquáticos.	**Espaço** Comunidades rurais e áreas agrícolas do território. **Metodologia** Realização de 1 (um) diagnóstico técnico em microbacias prioritárias, com mobilização direta de comunidades locais, prefeituras e órgãos estaduais, e implantação progressiva de sistemas de barragens sucessivas em áreas críticas. **Prazos** • 12 meses: Diagnóstico situacional das barragens sucessivas, visando a manutenção dos cursos d'água. Envolvendo as esferas, estadual, municipal e diversos atores sociais; • 24 a 36 meses: execução das obras e acompanhamento ambiental.
Fortalecimento da implantação de cisterna de calçado ampliação de projetos já existentes.	Identificar a realização de projetos voltados a cisterna de calçado visando o seu fortalecimento.	**Espaço** Comunidades rurais, assentamentos e propriedades familiares. **Metodologia** Diagnóstico dos projetos existentes em todo o território, com ampliação gradual da cobertura, priorizando áreas de maior vulnerabilidade hídrica e beneficiando famílias ao longo de três anos, por meio

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		da implantação, recuperação e adequação das estruturas. **Prazo** • 12 meses: Diagnóstico situacional dos projetos de cisterna de calçado, visando a manutenção e fortalecimento envolvendo as esferas as esferas, estadual, municipal e diversos atores sociais.
Realização de campanhas de prevenção a queimadas.	Reduzir a ocorrência de queimadas e incêndios florestais por meio da sensibilização da população, fortalecimento da educação ambiental e adoção de práticas sustentáveis de manejo do território.	**Espaço** Comunidades rurais, áreas agrícolas, margens de rodovias, escolas, associações comunitárias. **Metodologia** Realização de campanhas contínuas ao longo do ano, com intensificação no período seco, incluindo: • Ações educativas anuais (palestras, oficinas, mobilizações comunitárias); • Instalação de placas informativas em pontos críticos; • Envolvimento direto de agricultores, estudantes e lideranças comunitárias. **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas, definição das áreas prioritárias e produção de materiais educativos; • 12 meses: execução permanente das campanhas, com avaliações anuais e fortalecimento das ações preventivas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Inserção do tema desertificação no currículo das escolas do território.	Incorporar de forma contínua e interdisciplinar o tema desertificação no currículo escolar, fortalecendo a formação ambiental dos estudantes e promovendo atitudes de cuidado com o território.	**Espaço** Escolas da rede municipal e estadual do território. **Metodologia** • Implantação do tema no planejamento pedagógico de pelo menos 60% das escolas do território no primeiro ano, ampliando progressivamente até atingir a totalidade das unidades escolares em até três anos; • Realização de formações pedagógicas anuais para professores e produção de materiais didáticos de apoio. **Prazos** • 12 meses: elaboração das diretrizes pedagógicas, formação inicial de professores e inserção do tema nos PPPs; • 24 meses: ampliação da implementação, acompanhamento pedagógico e consolidação como eixo permanente da educação ambiental escolar.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental no Combate à Desertificação		
DIRETRIZ – Consolidar ações educativas orientadas à convivência com o semiárido, ao manejo sustentável do solo e à recuperação ambiental, fortalecendo a resiliência produtiva e ecológica do território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Incentivo à realização da capacitação de produtores no processo de migarão da agricultura convencional para agricultura sustentável.	Contribuir para a conservação das áreas produtivas e mitigação dos impactos ambientais, conforme a Lei nº 13.153/2015, por meio da formação de produtores em técnicas de agricultura sustentável.	**Espaço** Comunidades rurais, associações de produtores, propriedades agrícolas familiares, escolas técnicas,

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		sindicatos rurais e secretarias municipais de agricultura do território. **Metodologia** Realização de ciclos de capacitação por ano, envolvendo produtores rurais, com atividades práticas em campo, dias de campo demonstrativos e acompanhamento técnico continuado. **Prazos** • 12 meses: articulação institucional, levantamento dos produtores prioritários e início das capacitações; • 24 meses: ampliação do número de produtores atendidos e consolidação das práticas sustentáveis;
Fomento à utilização das tecnologias sociais para captação de águas das chuvas, contribuindo com redução do impacto das secas periódicas.	Promover a instalação de sistemas de captação e uso da água da chuva em cisternas e barragens superficiais e subterrâneas, bem como de poços artesianos onde houver viabilidade ambiental, entre outras tecnologias adequadas para o abastecimento doméstico e a promoção da pequena produção familiar e comunitária, visando à segurança hídrica e alimenta é uma obrigação imposta na lei 13.135 ao poder público, que deve ser fortalecida por meio de políticas públicas estaduais.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas do campo, propriedades familiares, assentamentos, comunidades tradicionais e áreas produtivas do território. **Metodologia** Implantação gradual de sistemas de captação associada a campanhas educativas anuais e capacitação de equipes das secretarias municipais, alcançando famílias ao longo de três anos. **Prazos** • 12 meses: planejamento municipal, campanhas educativas e capacitação das equipes técnicas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: implantação progressiva das tecnologias sociais e monitoramento dos resultados.
Realização de campanhas de prevenção a queimadas.	Reduzir a ocorrência de queimadas e incêndios florestais por meio da sensibilização da população, fortalecimento da educação ambiental e adoção de práticas sustentáveis de manejo do território	**Espaço** Comunidades rurais, áreas agrícolas, margens de rodovias, escolas, associações comunitárias. **Metodologia** Realização de campanhas contínuas ao longo do ano, com intensificação no período seco, incluindo: • Ações educativas anuais (palestras, oficinas, mobilizações comunitárias); • Instalação de placas informativas em pontos críticos; • Envolvimento direto de agricultores, estudantes e lideranças comunitárias. **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas, definição das áreas prioritárias e produção de materiais educativos; • 12 meses: execução permanente das campanhas, com avaliações anuais e fortalecimento das ações preventivas.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental no Combate à Desertificação		
DIRETRIZ – Integrar ações educativas voltadas à conservação do solo, proteção dos recursos hídricos e recuperação de áreas degradadas, articulando práticas sustentáveis no meio rural e periurbano do território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Inserção do tema desertificação no currículo das escolas do território.	Incorporar de forma contínua e interdisciplinar o tema desertificação no currículo escolar, fortalecendo a formação ambiental dos estudantes e promovendo atitudes de cuidado com o território.	**Espaço** Escolas da rede municipal e estadual do território. **Metodologia** • Implantação do tema no planejamento pedagógico de pelo menos 60% das escolas do território no primeiro ano, ampliando progressivamente até atingir a totalidade das unidades escolares em até três anos; • Realização de formações pedagógicas anuais para professores e produção de materiais didáticos de apoio. **Prazos** • 12 meses: elaboração das diretrizes pedagógicas, formação inicial de professores e inserção do tema nos PPPs; • 24 meses: ampliação da implementação, acompanhamento pedagógico e consolidação como eixo permanente da educação ambiental escolar.
Estímulo à recuperação da mata ciliar com incentivo do reflorestamento (campanhas educativas e incentivo ao plantio).	Difundir o conhecimento da legislação pertinente à proteção da mata ciliar e a importância de sua preservação.	**Espaço** Comunidades rurais e escolas do território. **Metodologia** Planejamento dos municípios para realização de Campanhas educativas para recuperação das matas ciliares de acordo com a legislação vigente. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: mapeamento das áreas críticas e planejamento municipal; • 12 meses: execução contínua das campanhas, ações de plantio e monitoramento das áreas recuperadas.
Realização de ações integradas, a exemplo de mutirões e atividades educativas voltadas à proteção de Áreas de Preservação Permanente – APP.	Fortalecer a proteção das áreas naturais e legais de preservação, reduzindo desmatamentos, queimadas e usos inadequados do território.	**Espaço** Áreas de Preservação Permanente (APP), Unidades de Conservação, comunidades do entorno e instituições educacionais do território. **Metodologia** Realização ações integradas de proteção e educação ambiental, incluindo mutirões de vigilância comunitária, atividades educativas, campanhas de sensibilização e ações de reflorestamento em áreas sensíveis. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das áreas prioritárias e articulação institucional; • 12 meses: execução contínua das ações, monitoramento participativo e fortalecimento das estratégias de proteção territorial.
Criação de campanhas de sensibilização sobre práticas sustentáveis de conservação do solo.	Conscientizar comunidades escolares e rurais sobre a importância do solo saudável como base para o combate à desertificação e para a produção de alimentos.	**Espaço** Escolas da rede pública, associações comunitárias, comunidades rurais e espaços de convivência comunitária. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realização anual de ações educativas (palestras, rodas de conversa, atividades lúdicas e oficinas práticas); • Realização de oficinas de manejo e conservação do solo. **Prazos** • 6 meses: elaboração dos materiais educativos e formação de multiplicadores; • 24 meses: execução contínua e progressiva.
Promoção de ações de incentivo para execução de esgotamento sanitário em todos as cidades juntamente com ações ambientais para sensibilizar e conscientizar como o mesmo está diretamente ligado a saúde ambiental e a desertificação.	Incentivar a implementação de programas de saúde e meio ambiente.	**Espaço** Comunidades rurais, centros comunitários, escolas técnicas, universidades e áreas de viveiros. **Metodologia** Realização de cursos periódicos de capacitação sobre produção de mudas nativas, manejo de sementes e gestão de viveiros, associados à criação de mecanismos de apoio para aquisição de equipamentos e insumos básicos para os participantes. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico dos cursos e articulação de parcerias; • 12 meses: execução dos primeiros ciclos de capacitação; • 24 meses: oferta continuada dos cursos e fortalecimento da autonomia produtiva das comunidades.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Estímulo à recuperação da mata ciliar com incentivo do reflorestamento (campanhas educativas e incentivo ao plantio)	Difundir o conhecimento da legislação pertinente à proteção da mata ciliar e a importância de sua preservação.	**Espaço** Comunidades rurais e escolas do território. **Metodologia** Planejamento dos municípios para realização de campanhas educativas para recuperação das matas ciliares de acordo com a legislação vigente. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das áreas críticas e planejamento municipal; • 12 meses: execução contínua das campanhas, ações de plantio e monitoramento das áreas recuperadas.

Fonte: Elaboração Própria (FIA).

1.13 EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

A Educação Ambiental contribui para a construção de uma sociedade social e ecologicamente mais justa, fundamentando-se em valores como solidariedade, cooperação, tolerância e respeito à vida em todas as suas formas. Nesse sentido, cabe ao ser humano desenvolver metodologias capazes de fortalecer esse processo educativo, orientadas tanto para as relações sociais quanto para a convivência equilibrada com os demais componentes da biota (BARCELOS, 2010). A participação popular, associada ao reconhecimento do caráter público do meio ambiente, constitui uma premissa assegurada pela Constituição Federal, que, ainda que de forma geral, reconhece a importância da construção de alternativas pautadas em uma sustentabilidade democrática e comprometida com a justiça ambiental (LOUREIRO, 2009).

Conforme estabelecido pela Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) e pelo Decreto nº 4.281, de 2002, a educação ambiental configura-se como um processo eficaz ao possibilitar que os cidadãos se tornem sujeitos sociais aptos a compreender a complexidade das relações entre sociedade e natureza, bem como a se comprometer com a prevenção de riscos e danos ambientais decorrentes das intervenções humanas no ambiente. Dessa forma, a educação ambiental amplia os níveis de consciência individual e coletiva sobre a problemática ambiental, promove mudanças comportamentais e contribui para a formação de uma nova cidadania que incorpore a dimensão ambiental como elemento essencial ao alcance do desenvolvimento sustentável (MACHADO et al., 2012).

No âmbito do licenciamento ambiental, a Educação Ambiental assume caráter estratégico, configurando-se como um processo educativo orientado à prevenção, mitigação e/ou compensação dos impactos socioambientais incidentes sobre grupos, indivíduos ou segmentos sociais afetados direta ou indiretamente por empreendimentos, com especial atenção àqueles em situação de vulnerabilidade socioambiental. Seu propósito é promover a organização social e assegurar uma participação qualificada nos processos decisórios relacionados a atividades que interferem na qualidade de vida, na gestão do território e no meio ambiente (IBAMA, 2019).

O eixo da Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental encontra respaldo na Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabelece princípios e instrumentos voltados à proteção e à melhoria da qualidade ambiental. Em âmbito estadual, a temática também é amparada pela Lei nº 8.497, de 28 de dezembro, a qual reforça a obrigatoriedade e a relevância das ações educativas no processo de licenciamento.

Nesse contexto, a Educação Ambiental no licenciamento ambiental atua de forma central na gestão dos conflitos socioambientais decorrentes da implantação de empreendimentos, devendo priorizar a apropriação pública das informações pertinentes e a produção coletiva de conhecimentos. Esses elementos favorecem o posicionamento responsável e a participação efetiva dos agentes sociais envolvidos, contribuindo para a formação de sujeitos atuantes, capazes de exercer escolhas conscientes e intervir na transformação das condições socioambientais de seus territórios (LOUREIRO, 2009).

Qualquer projeto de educação ambiental no licenciamento deve, portanto, priorizar os grupos diretamente afetados pelas atividades ou empreendimentos. Embora os programas de comunicação social sejam frequentemente utilizados como instrumentos de divulgação de informações relacionadas aos empreendimentos, muitas vezes com viés de marketing e promoção institucional, esses programas também podem assumir um papel educativo relevante. Quando conduzidos de forma adequada, podem contribuir para a publicização e o esclarecimento das informações, o acesso ao conhecimento, a formação de opiniões críticas e o fortalecimento da organização popular (LOUREIRO, 2009).

Entretanto, observa-se que, em muitos casos, as ações de educação ambiental no licenciamento se restringem à realização de palestras informativas, à distribuição de folders e cartilhas e ao cumprimento de cronogramas previamente definidos, com datas de início e término estabelecidas. Tal abordagem contraria o princípio da continuidade, inerente aos processos educativos, e frequentemente está orientada por uma lógica voltada prioritariamente ao desenvolvimento econômico e à geração de empregos, em detrimento da conservação ambiental. Como consequência, a população que deveria integrar a construção de medidas alinhadas às realidades locais acaba permanecendo à margem do processo decisório. Essa problemática se agrava quando a educação ambiental é tratada apenas como medida compensatória, e não como uma ação educativa efetiva, capaz de promover melhorias reais para a comunidade local (MACHADO et al., 2012).

Dessa forma, a Educação Ambiental deve ser conduzida com o devido rigor técnico, político e pedagógico, a fim de assegurar que o processo de licenciamento ambiental alcance, de maneira consistente, os objetivos e as metas estabelecidos em seu escopo. As diretrizes territoriais do Eixo Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental encontram-se sistematizadas no Quadro 13.

Quadro 13. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental		
DIRETRIZ – Fortalecer a integração da Educação Ambiental aos processos de licenciamento ambiental, assegurando que empreendimentos licenciados desenvolvam ações educativas voltadas à mitigação de impactos, participação comunitária e cumprimento das condicionantes ambientais.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Promoção do entendimento da importância do licenciamento ambiental e estimular o cumprimento de requisitos legais pelos empreendedores locais.	Promover o entendimento sobre a importância do licenciamento ambiental, estimulando o cumprimento da legislação ambiental vigente pelos empreendedores locais e fortalecendo o diálogo entre poder público, setor produtivo e sociedade.	**Espaço** Secretarias Municipais e Estadual de Meio Ambiente, salas de capacitação, associações comerciais, sindicatos, espaços comunitários e sedes de empreendimentos. **Metodologia** • Realizar oficinas educativas periódicas sobre licenciamento ambiental, abordando: o que é, quando é obrigatório, etapas do processo e riscos legais, ambientais e sociais da atuação irregular; • Promover palestras temáticas sobre responsabilidade ambiental, social e econômica dos empreendimentos; • Produzir e distribuir cartilhas, vídeos e materiais digitais explicativos sobre licenciamento e boas práticas ambientais; • Implantar atendimento itinerante das equipes ambientais para orientação técnica direta aos empreendedores; • Realizar mesas-redondas e rodas de diálogo com apresentação de casos reais

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		de empreendimentos licenciados e seus impactos positivos; • Fortalecer a relação institucional entre órgãos ambientais e empreendedores, ampliando a adesão voluntária à regularização ambiental. **Prazos** • 6 meses: planejamento, produção de materiais e articulação institucional. 12 meses: execução contínua das ações educativas e atendimento itinerante. • 24 meses: consolidação como política permanente de Educação Ambiental.
Utilização da compensação ambiental para projetos e ações voltadas à Educação Ambiental.	Elaborar estratégias de utilização dos recursos oriundos de compensação ambiental financeira para projetos de Educação Ambiental identificados no território que estejam em vigor.	**Espaço** Escolas públicas e centros comunitários. **Metodologia** • Mapear projetos prioritários de Educação Ambiental; • Definir critérios técnicos e transparentes para aplicação dos recursos; • Financiar ações voltadas à conservação da biodiversidade e unidades de conservação; • Monitorar e avaliar os impactos socioambientais dos projetos apoiados; • Seleção anual de no mínimo 03 projetos de Educação Ambiental por território;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Destinação de 100% dos recursos de compensação ambiental conforme critérios técnicos. **Prazos** • 6 meses: mapeamento e definição de critérios; • 12 meses: execução e acompanhamento dos projetos; • 24 meses: avaliação de resultados e reprogramação das ações.
Implantação, através das secretarias de meio ambiente, de procedimentos de fiscalização em empreendimentos caracterizados como potencial poluidor, orientando-os a desenvolver trabalhos de Educação Ambiental com seus colaboradores como medida mitigatória.	Fortalecer a atuação fiscalizadora dos órgãos ambientais, integrando a Educação Ambiental como medida mitigatória obrigatória nos empreendimentos potencialmente poluidores.	**Espaço** Empreendimentos, órgãos ambientais estaduais e municipais e espaços de capacitação técnica. **Metodologia** • Implantar procedimentos padronizados de fiscalização ambiental; • Exigir programas de Educação Ambiental para colaboradores dos empreendimentos; • Integrar ações de fiscalização e educação ambiental; • Implantação de programas educativos internos; • Monitorar a efetividade das medidas mitigatórias adotadas. **Prazo** • 6 meses: definição de protocolos e capacitação das equipes;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: aplicação das medidas mitigatórias; • 24 meses: avaliação e aprimoramento dos instrumentos de fiscalização.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental		
DIRETRIZ – Promover a implementação qualificada de Programas de Educação Ambiental vinculados ao licenciamento ambiental, orientando empreendedores e comunidades sobre responsabilidades socioambientais, mitigação de impactos e sustentabilidade territorial.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Direcionamento de recursos arrecadados em multas ambientais para projetos e ações permanentes de Educação Ambiental.	Direcionar de forma estruturada e transparente os recursos arrecadados com multas ambientais para o financiamento contínuo de projetos e ações permanentes de Educação Ambiental nos municípios.	**Espaço** Secretarias Municipais de Meio Ambiente, conselhos municipais de meio ambiente, escolas públicas, comunidades urbanas e rurais. **Metodologia** • Criar e regulamentar Fundo Municipal de Educação Ambiental abastecido por multas ambientais; • Estabelecer processo participativo para definição dos projetos beneficiados; • Capacitar gestores públicos e conselhos ambientais na gestão financeira de fundos ambientais; • Garantir transparência por meio da publicação de relatórios anuais de aplicação dos recursos; • Lançar editais públicos anuais para seleção de projetos de Educação Ambiental apresentados por escolas, comunidades e organizações locais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: regulamentação do fundo e definição dos critérios. • 12 meses: capacitação de gestores e lançamento do primeiro edital. • 24 meses: execução contínua, monitoramento e consolidação da política.
Apoio à criação de Secretaria de Estado do Meio Ambiente que contemple departamento capaz de dar suporte aos municípios nas atividades do licenciamento, como fiscalização, notificação, capacitação, dentre outros procedimentos corriqueiros.	Recomendar a criação de Secretaria de Estado do Meio Ambiente que contemple departamento capaz de dar suporte aos municípios nas atividades do licenciamento.	**Espaço** Prefeituras municipais. **Metodologia** • Estruturar departamento estadual de apoio técnico aos municípios; • Oferecer suporte permanente em licenciamento ambiental de impacto local; • Fortalecer a cooperação entre Estado e municípios. **Prazos** • 12 meses: articulação institucional e estruturação do departamento; • 24 meses: início do atendimento técnico aos municípios; • 36 meses: consolidação do modelo de cooperação Estado–Municípios.
Incentivo à promoção de oficinas e capacitação que permitam ao município ter ferramentas para iniciar o licenciamento ambiental de impacto local tornando menos burocrática a cooperação entre estado e município.	Sugerir a promoção de oficinas e capacitação que permitam ao município ter ferramentas para iniciar o licenciamento ambiental de impacto local	**Espaço** Secretarias Municipais de Meio Ambiente, centros de formação regional e espaços institucionais estaduais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia • Realizar oficinas técnicas sobre licenciamento ambiental municipal; • Capacitar equipes técnicas municipais; • Estabelecer fluxos simplificados de cooperação entre Estado e municípios; • Fortalecer a gestão ambiental local. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico das necessidades municipais. • 12 meses: realização das capacitações. • 24 meses: acompanhamento e aprimoramento dos processos municipais.
Estruturação das secretarias e departamentos ambientais, tais como móveis, equipamentos de informática e de escritório, além de veículos por meio da utilização do recurso oriundo do fundo estadual de meio ambiente.	Otimizar a utilização do recurso oriundo do fundo estadual de meio ambiente para estruturar secretarias e departamentos ambientais.	**Espaço** Secretarias Municipais de Meio Ambiente e departamentos ambientais estaduais. **Metodologia** • Aquisição de mobiliário e equipamentos de informática; • Disponibilização de veículos para ações de fiscalização e educação ambiental; • Fortalecimento da capacidade operacional dos órgãos ambientais municipais. **Prazos** • 12 meses: levantamento das demandas e planejamento; • 24 meses: aquisição de equipamentos e veículos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 36 meses: consolidação da estrutura administrativa.
Implementação e ampliação do pelotão ambiental para dar suporte à questão de dano ambiental no território sergipano, com eficiência e rapidez.	Ampliar a capacidade de prevenção e resposta ao dano ambiental.	**Espaço** Âmbito estadual, com atuação integrada nos municípios e áreas prioritárias. **Metodologia** • Integração entre as Secretarias de Meio Ambiente e de Segurança Pública para ação planejada do pelotão ambiental • Ampliar o efetivo do pelotão ambiental; • Garantir capacitação contínua em crimes ambientais; • Integrar as ações das Secretarias de Meio Ambiente e Segurança Pública; • Atuar de forma preventiva e repressiva aos danos ambientais. **Prazos** • 12 meses: planejamento e articulação interinstitucional. • 24 meses: ampliação do efetivo e capacitação. • 36 meses: consolidação do modelo integrado de atuação.
Aceleração do processo de regulamentação da Lei Estadual Nº 8.793 de 2020, que institui o cadastro técnico estadual de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais e a taxa de controle e fiscalização ambiental, a qual define que 75% dos recursos sejam repassados para	Apoiar a regulamentação da Lei Estadual Nº 8.793 de 2020, que institui o cadastro técnico estadual de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais e a taxa de controle e fiscalização ambiental.	**Espaço** Âmbito estadual e municipal, com interface entre ADEMA, Secretarias de Meio Ambiente e Conselhos Ambientais. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
os municípios e 25% para o estado de modo que o recurso seja destinado a ações de Educação Ambiental.		• Regulamentar o Cadastro Técnico Estadual de Atividades Potencialmente Poluidoras; • Garantir o repasse de 75% dos recursos aos municípios e 25% ao Estado; • Destinar os recursos prioritariamente a ações de Educação Ambiental; • Estabelecer mecanismos de monitoramento e transparência; • Financiamento contínuo de projetos de Educação Ambiental. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional e minuta de regulamentação. • 12 meses: regulamentação e início dos repasses. • 36 meses: execução, monitoramento e consolidação da política.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental		
DIRETRIZ – Integrar ações de Educação Ambiental aos processos de licenciamento de empreendimentos com influência sobre recursos hídricos e áreas ribeirinhas, fortalecendo a proteção ambiental e a participação social no acompanhamento das atividades licenciadas.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Incentivo aos empreendedores para que utilizem a compensação ambiental obrigatória para financiar projetos de EA em escolas, comunidades e UCs.	Obtenção de recursos financeiros para a implementação de ações de educação ambiental em unidades escolares, comunidades locais e Unidades de Conservação.	**Espaço** Empreendimentos licenciados, escolas públicas, comunidades locais e Unidades de Conservação estaduais e municipais. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realizar reuniões técnicas com empreendedores para orientação sobre a aplicação da compensação ambiental em Educação Ambiental; • Estabelecer parcerias entre empreendimentos, escolas e comunidades para execução de ações educativas e práticas de conservação; • Acompanhar e monitorar a execução pedagógica dos projetos financiados; • Garantir que as ações de Educação Ambiental estejam alinhadas às diretrizes do SNUC (Lei nº 9.985/2000) e da Política Nacional de Educação Ambiental. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional e orientação aos empreendedores; • 18 meses: execução dos projetos de Educação Ambiental; • 36 meses: monitoramento, avaliação e consolidação da prática.
Incentivo à estruturação das secretarias com profissionais capacitados para realizar o licenciamento ambiental.	fomentar o aperfeiçoamento da gestão ambiental municipal, com Ênfase na inserção de programas, ações ou campanhas de Educação Ambiental nos processos de licenciamento ambiental.	**Espaço** Secretarias Municipais de Meio Ambiente, centros de formação regional e órgãos ambientais estaduais. **Metodologia** • Promover treinamentos e cursos de qualificação para agentes públicos municipais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Capacitar servidores em legislação ambiental e Educação Ambiental aplicada ao licenciamento; • Integrar ações educativas como medidas mitigatórias e condicionantes dos licenciamentos; • Promover treinamentos e cursos de qualificação profissional para agentes públicos em Educação Ambiental e legislação nos processos de licenciamento ambiental. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico das necessidades técnicas municipais. • 18 meses: execução das capacitações. • 36 meses: consolidação da prática nos processos de licenciamento.
Fomento à realização de ações que orientem a possibilidade do licenciamento regionalizado por meio de consórcio público.	Ampliar e divulgar conhecimentos acerca do processo de municipalização do licenciamento ambiental auxiliado pelos consórcios públicos.	**Espaço** Consórcios públicos intermunicipais, municípios consorciados e órgãos ambientais estaduais. **Metodologia** • Difundir informações e orientações por meio de cursos e palestras educativas sobre o papel do consórcio público no licenciamento ambiental municipal; • Elaborar Cartilha com o propósito de fornecer aos consórcios públicos orientações para sua atuação no processo

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		de licenciamento ambiental em âmbito municipal. **Prazos** • 6 meses: elaboração da cartilha e planejamento das ações. • 18 meses: realização das capacitações regionais. • 36 meses: consolidação do licenciamento regionalizado.
Promoção da orientação da população empreendedora sobre a obrigatoriedade da regularização perante o licenciamento ambiental e que enquanto usuários de recursos naturais possam integrar as políticas de meio ambiente.	Incentivar as pessoas físicas ou jurídicas responsáveis por empreendimento irregulares promovam as necessárias correções de suas atividades, mediante o atendimento das exigências impostas pelas autoridades ambientais competentes.	**Espaço** Empreendimentos locais, associações comerciais, sindicatos, feiras, secretarias municipais e espaços públicos. **Metodologia** • Incentivar a regularização de empreendimentos irregulares; • Realizar ampla divulgação do guia de procedimentos de licenciamento ambiental; • Promover ações educativas que esclareçam direitos, deveres e responsabilidades ambientais; • Atendimento orientativo a empreendimentos identificados como irregulares. **Prazos** • 6 meses: produção e divulgação dos materiais orientativos.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das ações educativas e atendimentos. • 24 meses: acompanhamento da regularização dos empreendimentos.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental		
DIRETRIZ – Consolidar a Educação Ambiental como instrumento estratégico do licenciamento ambiental no território, promovendo a capacitação de empreendedores, gestores públicos e comunidades para o cumprimento das normas ambientais e das condicionantes legais.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Inserção da Educação Ambiental nos processos de licenciamento Ambiental.	Fortalecer a relação entre Educação Ambiental e licenciamento ambiental como instrumento pedagógico e de gestão, ampliando a compreensão da população sobre o que é o licenciamento ambiental, sua finalidade, importância e papel na promoção do desenvolvimento sustentável.	**Espaço** Empreendimentos, comunidades do entorno, escolas, auditórios públicos, secretarias de meio ambiente e espaços institucionais. **Metodologia** • Desenvolver ações educativas que expliquem de forma acessível o conceito, as etapas e os objetivos do licenciamento ambiental; • Utilizar processos de licenciamento como ferramenta educativa para exemplificar soluções sustentáveis e prevenção de impactos ambientais; • Integrar conteúdos de Educação Ambiental às condicionantes e programas exigidos nos licenciamentos; • Ampliar o diálogo entre órgãos ambientais, empreendedores e comunidade.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: planejamento metodológico e definição dos conteúdos educativos; • 12 meses: execução das ações educativas vinculadas aos licenciamentos; • 24 meses: consolidação da Educação Ambiental como prática permanente nos processos de licenciamento.
Condicionamento de programas de Educação Ambiental aos Empreendimentos de Grande Potencial Poluidor e Degradação.	Condicionar a implantação de programas de Educação Ambiental aos empreendimentos de grande potencial poluidor ou degradador, assegurando a divulgação e compreensão dos impactos ambientais associados às atividades licenciadas.	**Espaço** Empreendimentos de grande porte, comunidades do entorno, municípios impactados e órgãos ambientais licenciadores. **Metodologia** • Identificar e divulgar os principais potenciais degradadores e poluidores de cada empreendimento; • Incorporar esses impactos aos projetos específicos dos Programas de Educação Ambiental dos empreendimentos; • Garantir que os programas estejam alinhados às Políticas de Educação Ambiental nos âmbitos municipal, estadual e nacional; • Fortalecer o controle social e a transparência dos processos de licenciamento. **Prazos** • 12 meses: regulamentação e definição dos critérios pelo poder público;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: implementação dos programas de Educação Ambiental; • 36 meses: monitoramento, avaliação e ajustes dos programas.
Fomento à coleta seletiva pelo empreendimento e nos municípios e os seus povoados.	Compreender a importância da destinação e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos recicláveis.	**Espaço** Empreendimentos, áreas urbanas e rurais dos municípios, povoados, escolas, associações comunitárias e cooperativas de reciclagem. **Metodologia** • Incentivar a implantação de sistemas de coleta seletiva nos empreendimentos licenciados; • Ampliar ações educativas continuadas nos municípios e povoados; • Articular a participação de poder público, empreendimentos, cooperativas e comunidade; • Integrar a ação à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e às Políticas de Educação Ambiental. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional e planejamento das ações; • 12 meses: implantação da coleta seletiva e ações educativas; • 24 meses: consolidação da prática e ampliação territorial.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Inclusão de programas de recuperação de área degradada nas condicionantes ambientais sempre que necessário.	Assegurar compensações ambientais em ·áreas degradas pelo com o acompanhamento do órgão ambiental competente e controle social, por meio de programas de Educação Ambiental dos empreendimentos, com base na análise e recomendações dos pareceres técnicos emitidos pelo órgão ambiental licenciador e nas Políticas de Educação Ambiental nos níveis Municipal, Estadual e Nacional.	**Espaço** Áreas degradadas vinculadas aos empreendimentos, comunidades do entorno, Unidades de Conservação e territórios impactados. **Metodologia** • Incluir programas de recuperação ambiental sempre que identificados impactos significativos; • Integrar ações de Educação Ambiental aos processos de recuperação das áreas degradadas; • Garantir acompanhamento técnico do órgão ambiental licenciador; • Fortalecer o controle social e a participação comunitária. **Prazos** • 6 meses: identificação das áreas degradadas e definição das condicionantes; • 12 meses: execução dos programas de recuperação e ações educativas; • 24 meses: monitoramento ambiental e avaliação dos resultados.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental		
DIRETRIZ – Fortalecer ações educativas vinculadas ao licenciamento ambiental em áreas urbanas e industriais, promovendo transparência, controle social e mitigação dos impactos socioambientais dos empreendimentos.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Estabelecimento de diretrizes específicas para os Programas de Educação Ambiental desenvolvidos no Licenciamento Ambiental).	Assegurar que os Programas de Educação Ambiental desenvolvidos no âmbito do licenciamento ambiental promovam a superação de problemas e conflitos socioambientais, fortalecendo potencialidades locais no processo de apropriação e uso dos recursos ambientais.	**Espaço** Empreendimentos, comunidades do entorno, áreas de influência direta e indireta, escolas, associações comunitárias e territórios impactados. **Diretrizes para os Programas de Educação Ambiental** • Desenvolver programas de Educação Ambiental com metodologias participativas e inclusivas; • Integrar a Educação Ambiental de forma transversal às dimensões social, cultural, econômica e ambiental dos empreendimentos licenciados; • Promover processos educativos transformadores e emancipatórios junto às comunidades impactadas; • Contribuir para a mediação e prevenção de conflitos socioambientais. **Prazos** • 6 meses: definição de diretrizes metodológicas; • 24 meses: execução dos programas educativos; • 36 meses: avaliação dos impactos socioambientais e ajustes.
Promoção do monitoramento das ações de Educação Ambiental executadas pelos empreendimentos e/ou atividades licenciadas.	Fortalecer a ação dos órgãos fiscalizadores no acompanhamento da execução das ações de Educação Ambiental vinculadas aos processos de	**Espaço** Empreendimentos, órgãos ambientais estaduais e municipais, áreas de influência dos empreendimentos.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	compensação/mitigação das atividades licenciadas.	**Metodologia** • Estabelecer critérios e indicadores para monitoramento das ações de Educação Ambiental; • Integrar o acompanhamento das ações educativas às rotinas de fiscalização ambiental; • Garantir maior efetividade e transparência na execução dos Programas de Educação Ambiental; • Fortalecer a atuação conjunta entre órgãos estaduais e municipais. **Prazos** • 6 meses: definição de instrumentos e indicadores de monitoramento; • 12 meses: implementação do acompanhamento sistemático; • 24 meses: consolidação do monitoramento como prática permanente.
Inserção, nos processos de licenciamento ambiental, de ações de Educação Ambiental voltadas as comunidades tradicionais e povos indígenas considerando seus elementos culturais.	Dispor de ações socioambientais específicas voltadas para comunidades consideradas vulneráveis aos impactos dos empreendimentos licenciados.	**Espaço** Territórios indígenas, comunidades tradicionais, áreas de influência direta e indireta dos empreendimentos licenciados. **Metodologia** • Desenvolver Programas de Educação Ambiental culturalmente adequados; • Respeitar os conhecimentos tradicionais e formas próprias de organização social;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Promover o diálogo intercultural entre empreendimentos, poder público e comunidades; • Implantação de ações educativas específicas sempre que o empreendimento impactar comunidades tradicionais ou povos indígenas; • Envolvimento de lideranças comunitárias e representantes locais; • Execução de ações educativas contínuas durante o licenciamento; • Reduzir impactos socioambientais sobre populações vulneráveis. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico socioambiental participativo. • 24 meses: execução das ações educativas específicas. • 36 meses: avaliação participativa dos resultados.
Promoção da discussão sobre um marco regulatório para a incorporação da compensação ambiental proveniente de empreendimentos potencialmente poluidores em ações de Educação Ambiental.	Regulamentar o direcionamento de recursos provenientes do licenciamento ambiental de atividades que gerem impacto ambiental para o desenvolvimento de projetos de Educação Ambiental.	**Espaço** Âmbito federal e estadual, órgãos gestores ambientais, conselhos de meio ambiente, fóruns técnicos e institucionais. **Metodologia** • Promover debates técnicos e institucionais sobre o uso da compensação ambiental para Educação Ambiental;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Elaborar propostas normativas para regulamentação do uso desses recursos; • Integrar a compensação ambiental às políticas públicas de Educação Ambiental; • Fortalecer a transparência e a efetividade na aplicação dos recursos; • Realização de rodadas de discussão interinstitucionais; • Elaboração de minutas normativas ou propostas de regulamentação; • Envolvimento de órgãos ambientais, conselhos e sociedade civil. **Prazos** • 12 meses: debates técnicos e levantamento jurídico; • 24 meses: elaboração das propostas normativas; • 36 meses: institucionalização e implementação do marco regulatório.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental		
DIRETRIZ – Integrar a Educação Ambiental aos processos de licenciamento ambiental associados a atividades turísticas, costeiras e agroindustriais, promovendo conformidade legal, proteção dos ecossistemas e participação comunitária.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Criação de Fórum de Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental.	Promover o debate qualificado sobre a inserção da Educação Ambiental na gestão ambiental pública, divulgando experiências exitosas de Programas de Educação Ambiental desenvolvidos por	**Espaço** Auditórios públicos, universidades, centros de convenções, órgãos ambientais estaduais e federais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	empreendimentos licenciados, em consonância com a Instrução Normativa IBAMA nº 02/2012.	**Metodologia** • Realizar palestras com especialistas em Educação Ambiental e licenciamento ambiental; • Apresentar programas de Educação Ambiental de empreendimentos licenciados que obtiveram resultados positivos; • Promover a troca de experiências entre órgãos ambientais, empreendedores, educadores e sociedade civil; • Fortalecer a Educação Ambiental como instrumento estratégico da gestão ambiental pública. **Espaço** • 6 meses: planejamento e articulação institucional; • 12 meses: realização do Fórum; • 24 meses: Periodicidade anual.
Estímulo à revisão das licenças emitidas pelos órgãos ambientais responsáveis que prejudiquem as comunidades tradicionais (pescadores artesanais e agricultores familiares) orientando o não uso de substâncias químicas próximas as margens dos rios e manguezais.	Promover encontros com as comunidades tradicionais, visando o conhecimento e acompanhamento das licenças emitidas pelos órgãos ambientais nas comunidades locais.	**Espaço** Comunidades tradicionais, áreas ribeirinhas, manguezais, territórios de pescadores artesanais e agricultores familiares. **Metodologia** • Estimular a análise crítica das licenças emitidas pelos órgãos ambientais; • Orientar o não uso de substâncias químicas em áreas próximas a rios e manguezais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Garantir maior transparência e participação social no processo de licenciamento; • Reduzir impactos socioambientais sobre comunidades tradicionais. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das licenças e comunidades afetadas; • 12 meses: realização dos encontros comunitários; • 24 meses: Ação contínua, conforme emissão e renovação de licenças.
Estímulo à destinação de recursos das compensações para projetos de revitalização de nascentes e matas ciliares. Com o reflorestamento de áreas devastadas dos rios e manguezais.	Direcionamento de ações de recuperação de áreas degradadas como as matas ciliares dos rios e nascentes.	**Espaço** Nascentes, matas ciliares, rios, manguezais e áreas degradadas no território estadual e municipal. **Metodologia** • Elaboração de projetos de recuperação ambiental vinculados às compensações ambientais; • Recuperação de áreas prioritárias identificadas pelos órgãos ambientais; • Envolvimento de diversos atores sociais e instituições públicas. **Prazos** • 12 meses: elaboração e aprovação dos projetos; • 24 meses: execução das ações de recuperação;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 36 Monitoramento contínuo após implantação
Incentivo a campanhas educativas sobre Educação Ambiental nas escolas com recursos advindos do licenciamento ambiental.	Direcionamento de ações para realização de campas educativas sobre Educação Ambiental nas instituições de ensino.	**Espaço** Escolas públicas e privadas, redes municipais e estaduais de ensino **Metodologia** • Desenvolver campanhas educativas alinhadas às Políticas de Educação Ambiental; • Sensibilizar estudantes e comunidade escolar para a conservação ambiental; • Fortalecer a Educação Ambiental no ambiente escolar; • Integrar escolas às ações ambientais do território; • Realização de campanhas educativas em escolas inseridas na área de influência de empreendimentos licenciados; • Envolvimento de estudantes, professores e comunidade escolar; Execução de ações educativas contínuas ao longo do ano letivo. **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas; • 24 meses: execução das ações educativas; • 36 meses: Avaliação anual dos resultados.
Fomento e capacitação de condutores ambientais/brigadistas e educadores ambientais	Direcionamento de ações para capacitação de condutores ambientais e brigadistas com desenvolvimento de ecoturismo ambiental.	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
locais para o desenvolvimento no ecoturismo ambiental.		Municípios com potencial ecoturístico, unidades de conservação, áreas naturais protegidas e comunidades locais. **Metodologia** • Realizar cursos de capacitação técnica e educativa; • Incentivar o ecoturismo sustentável como estratégia de conservação ambiental; • Fortalecer a atuação de atores locais; • Promover a Educação Ambiental associada ao uso público de áreas naturais; • Realização de cursos de capacitação para condutores ambientais e brigadistas; • Formação de educadores ambientais locais; • Envolvimento de parcerias entre esferas municipal, estadual e nacional. **Prazos** • 6 meses: planejamento e articulação institucional; • 12 meses: realização dos cursos de capacitação; • 24 meses: Ação continuada, conforme demanda dos municípios.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental		
DIRETRIZ – Promover a Educação Ambiental no licenciamento de atividades produtivas do território, fortalecendo práticas sustentáveis, mitigação de impactos ambientais e responsabilização socioambiental dos empreendedores.		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Incentivo à inclusão na Lei Ornamentaria Anual e no Plano Plurianual municipais de fomentos para o fortalecimento da Educação Ambiental municipal.	O objetivo é direcionar parte da arrecadação com os processos de licenciamento ambiental para projetos de Educação Ambiental.	**Espaço** Câmaras Municipais, Prefeituras, Secretarias Municipais de Meio Ambiente, Educação e Planejamento. **Metodologia** • Articular junto ao poder executivo e legislativo municipal a inclusão de dotações específicas para Educação Ambiental na LOA e no PPA; • Estabelecer critérios claros para a aplicação dos recursos provenientes do licenciamento ambiental; • Fortalecer programas permanentes de Educação Ambiental nos municípios; • Inserção da Educação Ambiental como ação estruturante no PPA municipal; • Abrangência em todos os municípios que realizam licenciamento ambiental; • Garantir previsibilidade orçamentária para ações educativas ambientais. **Prazos** • 12 meses: articulação institucional e elaboração de propostas; • 24 meses: aprovação nas leis orçamentárias; • 36 a 48 meses com vigência conforme ciclos do PPA (4 anos).

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Conscientização dos empreendedores locais sobre a necessidade da Educação Ambiental no processo de licenciamento ambiental para seu empreendimento.	Orientar, informar e educação a sociedade sobre os impactos ambientais entorno dos processos de licenciamento ambiental são ações primordiais. Essa ação tem o objetivo de informar desde o empreendedor até as comunidades inseridas nas ·áreas do empreendimento sobre os impactos ambientais por meio da Educação Ambiental.	**Espaço** Empreendimentos, comunidades do entorno, associações empresariais, sindicatos, secretarias municipais e órgãos ambientais**.** **Metodologia** • Realizar ações educativas voltadas a empreendedores durante as etapas do licenciamento ambiental; • Informar sobre os impactos ambientais potenciais e medidas mitigatórias; • Estimular a adoção de Programas de Educação Ambiental como parte das condicionantes ambientais; • Ampliar o diálogo entre empreendedores, órgãos ambientais e comunidades afetadas. **Prazos** • 6 meses: ações educativas iniciais junto aos empreendedores; • 24 meses: consolidação das ações nos processos de licenciamento; • 36 meses: Ação contínua, vinculada à emissão e renovação de licenças ambientais.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental		
DIRETRIZ – Fortalecer a integração entre licenciamento ambiental e ações educativas voltadas à proteção de ecossistemas costeiros, turismo sustentável e empreendimentos com potencial impacto ambiental.		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
AÇÕES	AÇÕES	METAS
Realização de capacitação técnica dos servidores públicos municipais das secretarias, autarquias e departamentos de meio ambiente.	Qualificar tecnicamente os servidores públicos municipais para atuar nos processos de licenciamento ambiental, fiscalização e Educação Ambiental, contribuindo para a agilidade, eficiência e qualidade na análise e resolução dos processos existentes.	**Espaço** Secretarias Municipais de Meio Ambiente, centros de formação, auditórios públicos e plataformas virtuais. **Metodologia** • Realizar cursos, oficinas e seminários sobre licenciamento ambiental, legislação e Educação Ambiental; • Atualizar servidores quanto às normas ambientais vigentes; • Reduzir o tempo de análise e tramitação dos processos de licenciamento; • Fortalecer a gestão ambiental municipal. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico das necessidades formativas. • 24 meses: execução contínua das capacitações.
Incentivo à regularização da Educação Ambiental no âmbito municipal.	Garantir que a Educação Ambiental seja institucionalizada como política pública municipal, promovendo o acesso à informação, o desenvolvimento do senso crítico e o enfrentamento das problemáticas ambientais locais.	**Espaço** Municípios, escolas, comunidades, conselhos municipais, secretarias de meio ambiente e educação. **Metodologia** • Incentivar a criação e fortalecimento de programas municipais de Educação Ambiental;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Apoiar projetos de pesquisa e metodologias alternativas na área ambiental; • Inserir a Educação Ambiental nos instrumentos de planejamento municipal; • Estimular ações educativas contínuas nas comunidades. • Implantação ou fortalecimento de programas de EA em todos os municípios; • Desenvolvimento de projetos anuais de Educação Ambiental; • Envolvimento de instituições públicas e sociedade civil. **Prazos** • 12 a 24 meses: institucionalização das ações. • 24 meses: consolidação como política permanente.
Sensibilização de empreendedores sobre a relevância do licenciamento ambiental como instrumento de planejamento, fiscalização e uso sustentável dos recursos naturais, conforme os princípios da Política Estadual do Meio Ambiente de Sergipe.	Planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais e incentivo ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais.	**Espaço** Empreendimentos, associações comerciais, sindicatos, secretarias municipais e órgãos ambientais. **Metodologia** • Realizar ações educativas voltadas a empreendedores formais e informais; • Divulgar informações sobre obrigações legais e benefícios do licenciamento; • Reduzir irregularidades ambientais associadas a empreendimentos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Incentivar o cumprimento das condicionantes ambientais, incluindo a Educação Ambiental; • Realização de oficinas e palestras periódicas; • Atendimento a empreendedores de pequeno, médio e grande porte; • Alcance mínimo de 1 ação educativa por semestre em cada município. **Prazos** • 6 meses: ações iniciais de sensibilização; • 24 meses: consolidação das práticas educativas; Ação contínua.
Estímulo às empresas licenciadas para a promoção da Educação Ambiental continuada direcionada à conservação, recuperação e melhoria do meio ambiente.	Proporcionar maior proteção as áreas de conservação ambiental e ao meio ambiente como todo.	**Espaço** Empresas licenciadas, escolas, comunidades locais e áreas de influência dos empreendimentos. **Metodologia** • Inserir programas de Educação Ambiental como condicionantes das licenças; • Promover ações educativas nas empresas, escolas e comunidades do entorno; • Fortalecer parcerias entre setor público e privado; • Ampliar a proteção de áreas de conservação ambiental; • Implantação de programas de EA em empreendimentos licenciados;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realização de ações educativas anuais com colaboradores e comunidades; • Estabelecimento de parcerias público-privadas. **Prazos** • 6 meses: implantação dos programas; • 24 meses: manutenção e avaliação contínua.
Fomento ao desenvolvimento de instrumentos e metodologias direcionadas a sensibilização das empresas não regulamentadas para adesão do licenciamento ambiental.	Despertar e sensibilizar empresários a respeito do licenciamento ambiental e demonstrar a importância deste processo.	**Espaço** Empresas não regulamentadas, associações comerciais, sindicatos, órgãos ambientais e municípios. **Metodologia** • Desenvolver materiais educativos específicos para empresas não licenciadas; • Demonstrar os benefícios econômicos, ambientais e legais do licenciamento; • Incentivar a regularização ambiental dos empreendimentos; • Reduzir o número de atividades informais com potencial poluidor; • Elaboração de cartilhas, guias e campanhas educativas; • Realização de ações de sensibilização periódicas; • Atendimento a empreendimentos prioritários identificados pelo órgão ambiental.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: desenvolvimento dos instrumentos educativos; • 24 meses: aplicação das metodologias.

Fonte: Os autores.

1.14 EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM RECURSOS HÍDRICOS E GERENCIAMENTO COSTEIRO

Os recursos hídricos constituem elemento estruturante do território e do desenvolvimento socioeconômico, sendo sua gestão orientada, em âmbito nacional, pela Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei nº 9.433/1997), que institui um modelo descentralizado e participativo, organizado por bacias hidrográficas. Essa abordagem territorial evidencia a interdependência entre os sistemas hídricos continentais e os ambientes costeiros, especialmente nos trechos finais das bacias, onde rios, estuários e o oceano se articulam de forma contínua.

Nesse contexto, a Zona Costeira (ZC) configura-se como a região de interface entre a terra, o ar e o mar, caracterizando-se como um espaço dinâmico de contato entre sistemas naturais distintos, porém altamente interligados, o que lhe confere elevada complexidade ambiental e significativa vulnerabilidade socioambiental (STROHAECKER, 2007). Essa condição torna a zona costeira particularmente sensível às pressões antrópicas e aos impactos das mudanças climáticas, tais como a erosão costeira, a elevação do nível do mar, a salinização de aquíferos e a intensificação de eventos extremos.

Diante dessa realidade, a gestão dos recursos hídricos articula-se de forma indissociável à gestão costeira, conforme orienta o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC (Lei nº 7.661/1988), ao reconhecer a continuidade física, ecológica e funcional entre bacias hidrográficas, estuários e zonas marinho-costeiras. Essa integração reforça a necessidade de abordagens articuladas de gestão, planejamento territorial e educação ambiental, capazes de enfrentar de forma sistêmica os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelas pressões sobre os recursos naturais.

A Educação Ambiental aplicada aos recursos hídricos e ao gerenciamento costeiro desempenha papel essencial para a conservação dos ecossistemas aquáticos, a gestão sustentável da água e a proteção das zonas costeiras, que concentram importantes atividades econômicas, elevada biodiversidade e populações vulneráveis a riscos climáticos. Em um contexto em que eventos extremos (secas prolongadas, enchentes, erosão costeira e salinização de aquíferos) tornam-se cada vez mais frequentes, fortalecer a consciência socioambiental da população é uma estratégia indispensável para promover resiliência e garantir a disponibilidade de água para as gerações presentes e futuras.

Esse eixo busca promover o entendimento sobre a importância dos rios, aquíferos, manguezais, estuários, praias e zonas marinho-costeiras, destacando sua relação direta

com o bem-estar das comunidades, a segurança hídrica, a produção de alimentos, a pesca artesanal e a manutenção dos ciclos ecológicos. A Educação Ambiental deve estimular práticas responsáveis de uso da água, proteção das nascentes, preservação da vegetação ciliar, controle da poluição hídrica, manejo adequado de resíduos e valorização dos saberes tradicionais associados à gestão das águas e do ambiente costeiro.

As ações educativas também devem fortalecer a participação social nos Comitês de Bacias Hidrográficas, nos Conselhos de Meio Ambiente e nas instâncias de gestão costeira, ampliando a capacidade das comunidades de influenciar decisões sobre uso da água, ocupação do solo, atividades portuárias, turismo, aquicultura e conservação dos ecossistemas marinho-costeiros. A aproximação entre ciência, políticas públicas e população é crucial para enfrentar desafios como a sobre-exploração dos recursos hídricos, o assoreamento, a degradação de manguezais e a vulnerabilidade das zonas costeiras às mudanças climáticas.

A Educação Ambiental nesse eixo possibilita o estímulo de práticas educativas que promovam a restauração de ecossistemas aquáticos, o uso racional da água, a integração entre bacia hidrográfica e zona costeira e a proteção do patrimônio natural e cultural associado às águas. Por meio de oficinas, campanhas, materiais educativos, atividades de campo, projetos escolares e ações comunitárias, busca-se construir uma cultura do cuidado com os recursos hídricos e fortalecer a compreensão de que água, clima e território são dimensões inseparáveis para o desenvolvimento sustentável do Estado de Sergipe.

A fim de articular os processos educativos à realidade hídrica e costeira do estado, o abaixo apresenta diretrizes e ações da Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro do PEACP/SE.

Quadro 14. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro		
DIRETRIZ – Fortalecer práticas educativas voltadas à proteção de nascentes, mananciais e cursos d'água do território, promovendo o uso racional da água e a integração entre gestão hídrica, saneamento e conservação ambiental.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Promoção de debates comunitários e educativos sobre a importância da água.	Promover a compreensão crítica sobre o valor ambiental, social e econômico da água, estimulando o protagonismo dos indivíduos e das comunidades na gestão sustentável dos recursos hídricos.	**Espaço** Escolas, comunidades e espaços institucionais. **Metodologia** • Realizar ciclos contínuos de rodas de conversa, fóruns e encontros educativos; • Estimular a disseminação do conhecimento nos lares e comunidades, fortalecendo a lógica "pensar globalmente, agir localmente" como estratégia de enfrentamento da escassez hídrica; • Consolidar espaços permanentes de diálogo comunitário sobre água e sustentabilidade. **Prazos** • 6 meses: realizar ciclos de rodas de conversa, fóruns e encontros educativos; • 12 meses: Consolidar espaços permanentes de diálogo comunitário sobre água e sustentabilidade. • 24 meses: Ampliar a participação social nos processos de planejamento e proteção dos recursos hídricos.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Promoção de oficinas periódicas de Educação Ambiental com foco em mobilização e capacitação comunitária.	Fortalecer a organização comunitária e a corresponsabilidade socioambiental, estimulando práticas sustentáveis e a preservação dos recursos naturais.	**Espaço** Comunidades e escolas. **Metodologia** • Desenvolver oficinas regulares de Educação Ambiental voltadas à conservação da água e à prevenção da degradação ambiental local; • Capacitar lideranças comunitárias, educadores e agentes locais; • Estimular a participação ativa da população em ações coletivas de proteção dos recursos hídricos e do território. **Prazos** • 6 meses: desenvolver oficinas regulares voltadas à conservação da água e à prevenção da degradação ambiental local. • 12 meses: Estimular a participação ativa da população em ações coletivas de proteção dos recursos hídricos e do território. Formar redes locais de educação ambiental e mobilização social.
Criação de programa de identificação, revitalização e conservação de nascentes e matas ciliares nos corpos hídricos.	Relacionar a importância da manutenção dos recursos hídricos a manutenção da vida a partir de ações de preservação/conservação da biodiversidade.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas, associações comunitárias e áreas públicas do território. **Metodologia** • Realização de diagnóstico participativo territorial abrangendo os principais corpos hídricos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Execução de ações anuais de revitalização de nascentes e recomposição de matas ciliares; • Envolvimento de instituições parceiras (poder público, escolas, associações, universidades ou ONGs). **Prazos** • 12 meses: elaborar diagnóstico participativo e inventário dos corpos hídricos, conforme a Lei nº 9.433/1997 – Lei das Águas; • 24 meses: implementar ações de recuperação de nascentes e matas ciliares, com envolvimento comunitário e institucional.
Incentivo ao reuso de águas cinzas por meio de orientação técnica através dos órgãos competentes.	Disseminar técnicas para reutilização da água a exemplo do saneamento ecológico, com vistas ao consumo consciente, preservação/manutenção do recurso hídrico.	**Espaço** Escolas, comunidades urbanas e rurais, centros comunitários, associações de moradores, instituições públicas e espaços de capacitação técnica. **Metodologia** • Realização de ações demonstrativas anuais em feiras de ciências e de negócios; • Promoção de oficinas técnicas por semestre voltadas à orientação sobre reuso de águas cinzas; • Atendimento direto para ações de orientação e capacitação.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: planejamento técnico, elaboração de materiais instrutivos e início das ações de orientação; • 12 meses: execução contínua das ações demonstrativas e oficinas em feiras e comunidades; • 24 meses: ampliação da adoção das práticas de reuso de águas cinzas no território e consolidação da ação como política permanente de educação ambiental e gestão hídrica.
Ampliação das salas verdes com a viabilização de espaços sustentáveis para disseminação das atividades de educação ambiental voltadas para a proteção dos recursos hídricos.	Identificar espaços que possam servir de suporte para a realização de atividades educacionais, munidas de recursos humanos e materiais.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, bibliotecas públicas, unidades administrativas, associações, instituições de ensino superior e demais equipamentos públicos e comunitários do território. **Metodologia** • Implantação de salas verdes no território, em conformidade com a política pública federal do projeto salas verdes; • Estruturação de equipe técnica de referência por unidade implantada; • Realização de atividades educativas anuais por Sala Verde (oficinas, cursos, palestras e ações comunitárias). **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: mapeamento e seleção dos espaços físicos aptos à implantação das salas verdes; • 12 meses: adequação dos espaços, formação das equipes e implantação das primeiras unidades; • 24 a 36 meses: ampliação do número de salas verdes e consolidação da rede territorial de educação ambiental voltada à proteção dos recursos hídricos**.**
Fomento à implementação de "observatório das águas" como um sistema de acompanhamento e monitoramento quanti/qualitativo dos recursos hídricos engajando instituições de ensino, poder público, iniciativa privada e sociedade civil.	Instituir práticas de estímulo a pesquisa com obtenção e divulgação de dados fidedignos inerentes aos recursos hídricos (qualidade da água, escassez, principais usos do recurso hídrico) de acordo com a dinâmica de cada território.	**Espaço** Instituições de ensino, órgãos ambientais, secretarias municipais e estaduais, comitês de bacia, comunidades, centros de pesquisa e espaços públicos do território. **Metodologia** • Criação de núcleo territorial do Observatório das Águas; • Estabelecimento de parcerias formais com instituições (poder público, universidades, setor privado e sociedade civil); • Publicação de relatórios técnicos anuais sobre a situação dos recursos hídricos do território; • Realização de encontros anuais de divulgação e debate dos dados produzidos. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Até 6 meses: articulação institucional e estruturação do modelo de governança do Observatório; • Até 12 meses: implantação do sistema de monitoramento quantitativo e qualitativo; • De 12 a 36 meses: consolidação do Observatório como instrumento permanente da política estadual, com expansão gradativa para os municípios do território.
Estímulo ao desenvolvimento de tecnologias sociais como alternativa de acesso à água, como a captação de águas pluviais e a disseminação de métodos de tratamento das águas subterrâneas para uso doméstico	Promover a criação de recursos instrucionais com linguagem prática e acessível, que abordem as alternativas de inserção das tecnologias sociais no cotidiano do cidadão para ampliação do acesso a água	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, escolas, associações, sindicatos, centros comunitários, unidades de saúde, feiras, eventos técnicos e espaços públicos. **Metodologia** • Produção de kits instrucionais (cartilhas, vídeos e manuais); • Realização de oficinas técnicas anuais sobre captação de águas pluviais e tratamento de águas subterrâneas; • Implantação de sistemas demonstrativos de tecnologias sociais por ciclo anual. **Prazos** • Até 6 meses: elaboração dos materiais instrucionais e planejamento das ações de campo;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Até 12 meses: execução das oficinas e implantação das primeiras tecnologias sociais demonstrativas; • De 12 a 36 meses: ampliação da adoção das tecnologias sociais e consolidação da ação como política pública territorial de acesso à água.
Capacitação para formar protetores ambientais envolvendo moradores de áreas próximas a mananciais, representantes das prefeituras, de sindicatos, de secretarias de meio ambiente, conselhos de meio ambiente, agricultores, proprietários de terra, comunidades religiosas e ministério público com informações básicas sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e instrumentos da Política relacionados aos recursos hídricos, captação e reaproveitamento de água da chuva, água subterrânea, conservação de mananciais hídricos, APPs, conservação de nascentes de rios, igarapés, lagos, lagoas, barragens e água de reuso.	Formar protetores ambientais para a conservação e uso sustentável dos recursos hídricos, envolvendo moradores de áreas próximas a mananciais, representantes do poder público e da sociedade civil, com base na Política Estadual de Recursos Hídricos e em práticas de proteção dos ecossistemas aquáticos.	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, escolas-polo, auditórios municipais e ambientes virtuais de aprendizagem. **Metodologia** A capacitação será realizada por meio de cursos, oficinas e palestras, abordando: • Política Estadual de Recursos Hídricos e instrumentos de gestão; • Captação e reaproveitamento da água da chuva; • Conservação de mananciais hídricos e APPs; • Proteção de nascentes, rios, igarapés, lagos, lagoas e barragens; • Água subterrânea e água de reuso. **Prazos** • Realização de 01 a 02 capacitações anuais. • 6 meses: planejamento e articulação institucional. • 12 meses: realização da 1ª edição.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 36 meses: consolidação do programa e ampliação do alcance.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro		
DIRETRIZ – Promover ações educativas orientadas à convivência com a escassez hídrica, à gestão sustentável da água e à proteção de reservatórios e bacias hidrográficas, fortalecendo a segurança hídrica no semiárido.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Realização de campanhas de conscientização e sensibilização da população sobre a importância da proteção das nascentes e das matas ciliares, pautando o cuidado com o uso de agrotóxicos e outros poluentes.	Promover campanhas de conscientização e sensibilização da população sobre a importância da proteção das nascentes e das matas ciliares.	**Espaço** Escolas, comunidades rurais e urbanas, feiras de ciências, feiras de negócios, unidades de saúde, associações comunitárias e espaços públicos. **Metodologia** • Realização de campanhas educativas; • Distribuição de materiais informativos; • Envolvimento de agentes comunitários, técnicos ambientais e lideranças locais em todas as ações. **Prazos** • Até 6 meses: planejamento e início das campanhas; • Até 12 meses: execução contínua e avaliação dos primeiros resultados; • De 12 a 36 meses: consolidação das campanhas como ação permanente.
Apoio para a implantação de programas para dessalinização e uso das águas subterrâneas sob orientação das secretarias de meio ambiente como	Fomentar a implantação de programas para dessalinização e uso das águas subterrâneas sob orientação das secretarias de meio ambiente.	**Espaço** Comunidades rurais, assentamentos, escolas, associações comunitárias, unidades de abastecimento e órgãos públicos municipais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
forma de garantir o acesso à água e a segurança hídrica, por meio de parcerias público-privadas.		**Metodologia** • Implantação de sistemas demonstrativos de dessalinização por ano. • Estabelecimento de parcerias público-privadas para expansão do programa. **Prazos** • Até 12 meses: articulação institucional, estudos técnicos e implantação inicial; • De 12 a 36 meses: ampliação dos sistemas e fortalecimento da política de segurança hídrica.
Apoio para iniciativas de recuperação de áreas degradadas nas margens de corpos hídricos com vegetação nativa.	Incentivar iniciativas para a recuperação de áreas degradadas nas margens de corpos hídricos.	**Espaço** Margens de rios, riachos, nascentes, áreas de preservação permanente, propriedades rurais e áreas públicas do território. **Metodologia** • Realização de grandes ações anuais de plantio e recomposição vegetal; • Envolvimento de instituições de ensino, órgãos ambientais e comunidades locais. **Prazos** • Até 12 meses: diagnóstico das áreas prioritárias e início da recuperação. • De 12 a 60 meses: expansão e consolidação da recomposição vegetal.
Criação de campanhas informativas para a população junto aos agentes de saúde e endemias	Promover campanhas informativas para a população junto aos agentes de saúde e endemias	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
sobre o tratamento da água proveniente de fontes alternativas para consumo humano (poços, rios).	sobre o tratamento da água proveniente de fontes alternativas para consumo humano.	Unidades de saúde, escolas, comunidades rurais, feiras de ciências, associações comunitárias e espaços públicos**.** **Metodologia** • Realização de campanhas educativas por ano; • Capacitação de agentes comunitários e lideranças locais por ano; • Distribuição de materiais educativos. **Prazos** • 6 meses: produção de material e início das ações; • 12 meses: ampliação da cobertura das campanhas; • 12 a 36 meses: consolidação como política permanente.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro		
DIRETRIZ – Integrar a Educação Ambiental à gestão participativa do Rio São Francisco e de seus afluentes, promovendo a conservação dos recursos hídricos, a proteção das matas ciliares e o uso sustentável das águas.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Criação de programa de conscientização e sensibilização ambiental denominado “Programa Mangue Vivo”, assegurando a inserção dos saberes de povos e comunidades tradicionais nas atividades educativas.	Fortalecer a consciência ambiental das comunidades costeiras e escolares sobre a importância ecológica, social e econômica dos manguezais, promovendo sua proteção, recuperação e uso sustentável como estratégia de combate à degradação ambiental, à poluição hídrica e aos efeitos das mudanças climáticas.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, urbanas e costeiras, escolas públicas municipais e estaduais, colônias de pescadores, associações comunitárias e áreas de influência dos estuários. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realização de ciclos permanentes de sensibilização ambiental em escolas e comunidades do entorno dos manguezais; • Desenvolvimento de oficinas educativas participativas sobre funções do manguezal, biodiversidade, serviços ecossistêmicos e impactos do lixo e do esgoto; • Execução de mutirões comunitários de limpeza e recuperação de áreas de mangue; • Produção e distribuição de materiais educativos. **Prazos** • 6 meses: mobilização institucional e comunitária, definição das áreas prioritárias de manguezal e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução contínua das ações educativas, mutirões, oficinas; • 32 meses: consolidação do programa como política permanente de educação ambiental, fortalecimento das redes comunitárias de proteção e ampliação das áreas de manguezal recuperadas.
Criação de programa de sensibilização intitulado “Programa Protege Rios”.	Promover a sensibilização da população sobre os impactos do lançamento de esgoto e resíduos nos rios, fortalecendo a responsabilidade coletiva pela proteção dos recursos hídricos, pela saúde pública e pela qualidade de vida, integrando ações	**Espaço** Rios urbanos e rurais, comunidades ribeirinhas, áreas de entorno dos cursos d’água, escolas, unidades de saúde, associações comunitárias e espaços públicos dos municípios do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	educativas, comunitárias e institucionais para a recuperação e preservação dos corpos d'água.	**Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de campanhas educativas sobre poluição dos rios e saneamento ambiental; • Execução de ações educativas em escolas e comunidades ribeirinhas ao longo do território; • Organização de mutirões comunitários periódicos de limpeza e sensibilização nas margens dos rios; • Produção e distribuição regular de materiais educativos acessíveis; • Promoção de reuniões e audiências públicas com gestores, órgãos de saneamento e comunidade para cobrança, acompanhamento e fortalecimento das políticas de fiscalização e implantação de sistemas de tratamento de esgoto antes do despejo nos corpos hídricos. **Prazos** • 12 meses: implantação das campanhas educativas, mobilização comunitária inicial e início dos mutirões e ações em escolas e comunidades. • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental, fortalecimento dos canais de diálogo com órgãos públicos e acompanhamento da

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		implantação ou ampliação de sistemas de tratamento de esgoto. • 36 meses: melhoria contínua da qualidade ambiental dos rios, redução progressiva do lançamento irregular de esgoto e consolidação da cultura de cuidado com os recursos hídricos no território.
Capacitação para Formação e Fortalecimento de Pró-Comitês e Comitês de Bacias.	Capacitar atores sociais e institucionais para a criação, estruturação, fortalecimento e atuação qualificada de pró-comitês e comitês de bacias ou microbacias hidrográficas, promovendo a gestão participativa, descentralizada e integrada dos recursos hídricos, em consonância com a Política Estadual de Recursos Hídricos.	**Espaço** Auditórios municipais, centros de formação, escolas-polo e ambientes virtuais. **Metodologia** Realização de 01 a 02 capacitações anuais. A capacitação será organizada em módulos teórico-práticos, contemplando: • Legislação e políticas de recursos hídricos (nacional e estadual); • Estrutura, atribuições e funcionamento dos comitês de bacia; • Etapas para criação e formalização de pró-comitês e comitês; • Instrumentos de gestão hídrica (outorga, enquadramento, cobrança, planos de bacia); • Planejamento participativo e governança hídrica; • Técnicas de mobilização social e comunicação comunitária; • Mediação de conflitos e negociação socioambiental;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Elaboração orientada de planos de ação da bacia ou microbacia; • As atividades incluirão palestras, oficinas práticas, estudos de caso, simulações de reuniões de comitê, rodas de diálogo, visitas técnicas (quando possível) e desenvolvimento de propostas concretas de criação ou fortalecimento de comitês. **Prazos** • 6 meses: Planejamento da capacitação, definição dos conteúdos, elaboração de material didático e articulação institucional; • 12 meses: Realização da 1ª edição da capacitação e início dos processos de criação ou fortalecimento de pró-comitês; • 24 meses: Consolidação dos comitês formados, ampliação do número de bacias atendidas e avaliação de impacto na governança hídrica.
Promoção de ações educativas sobre os impactos ambientais causados pelo uso inadequado dos manguezais e sua urbanização, visando criar a cultura da não invasão aos manguezais.	Sensibilizar a população sobre a importância da valorização e conservação do ecossistema manguezal, diretamente vinculadas à sustentabilidade e voltadas ao desenvolvimento comunitário.	**Espaço** Escolas, comunidades costeiras, áreas de manguezal, centros comunitários e espaços públicos municipais. **Metodologia** • Subsidiar a elaboração e disseminação de materiais didática e pedagógicos dentre outras ferramentas de difusão de práticas de Educação Ambiental em áreas de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		manguezal, para a sensibilização de indivíduos engajados na conservação e preservação dos ecossistemas costeiros. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico participativo das áreas de manguezal. • 12 meses: produção de materiais educativos, realização das primeiras campanhas e atividades em escolas e comunidades. • 24 meses: ampliação das campanhas.
Realização de capacitações contemplando a questão de gênero, ressaltando a participação da mulher na gestão de recursos hídricos.	Promover a capacitação em gestão de recursos hídricos com enfoque de gênero, fortalecendo a participação qualificada das mulheres nos processos de decisão, planejamento e governança hídrica, reconhecendo seu papel estratégico na conservação, no uso sustentável da água e no desenvolvimento socioambiental dos territórios.	**Espaço** Comunidades, centros de formação, auditórios municipais, escolas-polo e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido, quando necessário). **Metodologia** Deverão ser realizadas de 01 a 02 capacitações anuais, com carga horária mínima de 20 a 40 horas cada. As capacitações deverão: • Ressaltar a importância da participação da mulher na gestão dos recursos hídricos e na conservação ambiental; • Promover a equidade de gênero nos espaços de decisão relacionados à água;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Incentivar o protagonismo feminino em comitês de bacia, conselhos ambientais e fóruns hídricos; • Desenvolver competências de liderança, mobilização social e incidência política; • Sensibilizar sobre direitos socioambientais, cidadania ambiental e justiça hídrica; • Estimular a organização de redes locais de mulheres para a proteção dos recursos hídricos; • As atividades incluirão palestras, oficinas participativas, rodas de diálogo, estudos de caso, relatos de experiências exitosas e desenvolvimento de planos de ação comunitários voltados à conservação dos recursos hídricos. **Prazos** • 6 meses: Planejamento da capacitação, definição de conteúdos, elaboração de material didático, articulação institucional e mobilização das participantes. • 12 meses: Realização da 1ª edição da capacitação, com acompanhamento inicial dos planos de ação comunitários. • 24 a 36 meses: Consolidação da capacitação como programa permanente, ampliação do alcance territorial, fortalecimento das redes locais de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		mulheres e avaliação de impacto na governança hídrica.
Fomento a ações de sensibilização junto as agências de turismo para promoção do turismo sustentável, objetivando gerar renda alinhado a consciência ecológica.	Promover um maior engajamento da atividade turística às metas da agenda global de desenvolvimento sustentável.	**Espaço** Secretarias municipais, agências de turismo, associações comerciais e polos turísticos. **Metodologia** Articular o envolvimento dos gestores municipais e outros atores locais para o desenvolvimento do turismo sustentável posicionado na Agenda 2030, por meio de convênios e outras formas de parceria. **Prazos** • 6 meses: mapeamento de agências de turismo e atores locais. • 12 meses: primeiros ciclos de capacitação e acordos de cooperação. • 24 meses: Implementação efetiva de práticas de turismo sustentável.
Fomento à divulgação efetiva do programa "Produtor de Águas" da Agência Nacional das águas (ANA).	Apresentar os principais aspectos conceituais e operacionais do Programa Produtor de Água.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, bibliotecas públicas, unidades administrativas, associações, instituições de ensino superior e demais equipamentos públicos e comunitários do território **Metodologia** Democratizar e facilitar o acesso à informação sobre o manual operativo do programa "Produtor de Águas", promovendo troca de informações e saberes, com linguagem acessível e voltadas aos diferentes públicos envolvidos. Estimular

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		parcerias entre municípios, comitês de bacia e, ou empresas de saneamento para promoção de ações educativas que promovam a orientação dos agricultores para aderência ao programa “Produtor de Águas”. **Prazos** • 12 meses: criação de materiais acessíveis e oficinas de sensibilização. Realização dos primeiros encontros com produtores e comitês de bacia; • 24 meses: Ampliação da adesão de produtores rurais ao programa. Integração do programa às políticas municipais e territoriais.
Promoção e fortalecimento das ações de reflorestamento das margens de rios, riachos e manguezais.	Proteger a cobertura vegetal das margens de rios e riachos e maximizar as atividades de recomposição das matas ciliares e manguezais.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, urbanas e costeiras, escolas públicas municipais e estaduais, colônias de pescadores, associações comunitárias e áreas de influência dos estuários. **Metodologia** • Ações de educação e sensibilização ambiental através de teatro, oficinas, cursos dentre outros dispositivos de ensino aprendizagem para estimular as comunidades a apoiar e realizar ações de reflorestamento das matas ciliares e manguezais; • Estabelecer parcerias com universidades e com instituições de fomento a restauração

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		de ecossistemas para incentivar a realização de projetos de reflorestamento de matas ciliares e manguezais vinculadas. **Prazos** • 6 meses: planejamento, organização e realização das primeiras ações de sensibilização ambiental. • 12 meses: identificação de áreas prioritárias e formação de viveiros. Primeiros mutirões de plantio e ações educativas. • 24 meses: expansão das áreas restauradas. Monitoramento da sobrevivência das mudas e recuperação ambiental.
Realização de cursos e capacitações, por meio de parcerias institucionais, para pescadores, marisqueiras e trabalhadores de portos no âmbito da melhoria da gestão de resíduos pesqueiros.	Fomentar a construção de um espaço adequado para o reaproveitamento dos resíduos pesqueiros.	**Espaço** Portos pesqueiros, comunidades pesqueiras, associações de pescadores, colônias de pesca. **Metodologia** • Realização de diagnósticos técnicos por município para mapeamento da geração e destino dos resíduos; • Execução de ciclos anuais de capacitação para pescadores, marisqueiras e trabalhadores dos portos; • Realização de cursos culinários sobre reaproveitamento de resíduos pesqueiros na gastronomia local (casca de camarão, cabeças, aparas e subprodutos);

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Estabelecimento de parcerias institucionais com universidades, IFs, secretarias de turismo, meio ambiente e desenvolvimento econômico. **Prazos** • 12 meses: Diagnóstico, planejamento, estruturação das parcerias e início dos cursos e capacitações; • 24 meses: Consolidação dos cursos culinários e criação de produtos derivados; • 36 meses: Inserção dos produtos em feiras, eventos e roteiros de turismo gastronômico e consolidação da política pública de reaproveitamento de resíduos pesqueiros.
Promoção de ações de capacitação e orientação aos produtores rurais no processo de outorga d'água junto aos órgãos ambientais.	Fortalecer o mecanismo de gerenciamento dos recursos hídricos e assegurar os usuários o direito legal de acesso desse bem público.	**Espaço** Comunidades rurais, urbanas e costeiras, escolas públicas municipais e estaduais, colônias de pescadores, associações comunitárias e áreas de influência dos estuários. **Metodologia** Promover cursos de capacitação e orientação sobre a importância e os trâmites de um processo de outorga para o uso legal dos recursos hídricos embasados na Lei Federal nº 9.433/97 e no âmbito da Legislação Estadual nº 3.870/97, regulamentado pelo decreto nº 18.456/99. Realização dos primeiros cursos e oficinas. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: Início da regularização dos usuários de recursos hídricos; • 24 meses: Ampliação do número de produtores regularizados; • Integração da prática de outorga à gestão territorial da água.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro		
DIRETRIZ – Fortalecer ações educativas voltadas à proteção de bacias hidrográficas, uso racional da água e articulação entre saneamento, conservação ambiental e desenvolvimento urbano sustentável.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Fomento aos cursos nos municípios para o gerenciamento correto do uso das águas.	Estimular a compreensão da visão sistêmica dos recursos hídricos para a conservação e o consumo sustentável da água, visando a melhoria da qualidade de vida das populações.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, bibliotecas públicas, unidades administrativas, associações, instituições de ensino superior e demais equipamentos públicos e comunitários do território **Metodologia** A ação está condicionada à inserção do tema no planejamento estratégico dos municípios, viabilizando a realização dos cursos em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei nº 12.305/2010), com o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020) e com as Políticas de Educação Ambiental nos âmbitos municipal, estadual e nacional. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: inclusão do tema nos planos municipais e articulação com secretarias parceiras; • 12 meses: realização dos primeiros ciclos de cursos e oficinas; • 24 meses: institucionalização dos cursos como ação permanente da política municipal de educação ambiental.
Sensibilização da população sobre o reaproveitamento das águas cinzas.	Compreender a importância do reaproveitamento da água, preservando os recursos das gerações futuras e garantir o uso consciente da água potável.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, secretarias municipais, feiras livres. **Metodologia** A ação está sujeita à apresentação de propostas socioambientais e ao desenvolvimento de um planejamento participativo com os diversos atores sociais, visando à difusão dessas informações, em conformidade com as Políticas de Educação Ambiental nos âmbitos municipal, estadual e nacional, e amparada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei nº 12.305/2010) e pelo Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020). **Prazos** • 6 meses: elaboração participativa do plano de sensibilização. • 12 meses: implementação de campanhas, oficinas e ações demonstrativas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: consolidação do tema como eixo permanente da educação ambiental municipal.
Estabelecimento de critérios dentro da gestão de recursos hídricos para orientação e sensibilização na perfuração de poços artesanais.	Esclarecer a população que a perfuração de poços artesanais é uma intervenção ambiental e que é necessário obedecer a legislação relacionada.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, secretarias municipais, feiras livres. **Metodologia** Implementar ações educativas e normativas articuladas entre poder público, órgãos ambientais e comunidade, integrando o tema às Políticas de Educação Ambiental nos níveis municipal, estadual e nacional. **Prazos** • 12 meses: elaboração de normativas e regulamentação pelo poder público. • 24 meses: execução de campanhas educativas e orientações técnicas. • 36 meses: acompanhamento contínuo e fortalecimento da fiscalização ambiental.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro		
DIRETRIZ – Promover a Educação Ambiental voltada à gestão sustentável dos recursos hídricos urbanos e costeiros, integrando proteção de rios, drenagem urbana, saneamento e adaptação às mudanças climáticas no contexto metropolitano.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Capacitação para Formação e Fortalecimento de Pró-Comitês e Comitês de Bacias.	Capacitar atores sociais e institucionais para a criação, estruturação, fortalecimento e atuação qualificada de pró-comitês e comitês de bacias ou microbacias hidrográficas, promovendo a gestão	**Espaço** Auditórios municipais, centros de formação, escolas-polo e ambientes virtuais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	participativa, descentralizada e integrada dos recursos hídricos, em consonância com a Política Estadual de Recursos Hídricos.	**Metodologia** Realização de 01 a 02 capacitações anuais. A capacitação será organizada em módulos teórico-práticos, contemplando: • Legislação e políticas de recursos hídricos (nacional e estadual); • Estrutura, atribuições e funcionamento dos comitês de bacia; • Etapas para criação e formalização de pró-comitês e comitês; • Instrumentos de gestão hídrica (outorga, enquadramento, cobrança, planos de bacia); • Planejamento participativo e governança hídrica; • Técnicas de mobilização social e comunicação comunitária; • Mediação de conflitos e negociação socioambiental; • Elaboração orientada de planos de ação da bacia ou microbacia; • As atividades incluirão palestras, oficinas práticas, estudos de caso, simulações de reuniões de comitê, rodas de diálogo, visitas técnicas (quando possível) e desenvolvimento de propostas concretas de criação ou fortalecimento de comitês. **Prazos** • 6 meses: Planejamento da capacitação, definição dos conteúdos, elaboração de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		material didático e articulação institucional; • 12 meses: Realização da 1ª edição da capacitação e início dos processos de criação ou fortalecimento de pró-comitês; • 24 meses: Consolidação dos comitês formados, ampliação do número de bacias atendidas e avaliação de impacto na governança hídrica.
Promoção da educação sobre a cultura oceânica.	Fortalecer o conhecimento da população sobre os oceanos, sua dinâmica, biodiversidade, serviços ecossistêmicos e a importância dos manguezais para o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, espaços culturais, praias, áreas costeiras, colônias de pescadores, instituições de ensino superior e áreas de influência dos estuários. **Metodologia** • Realização de ciclos periódicos de oficinas práticas sobre correntes oceânicas, marés, biodiversidade marinha e funções dos manguezais; • Promoção de exposições itinerantes com maquetes, jogos educativos em escolas e comunidades costeiras; • Produção e distribuição de materiais educativos sobre cultura oceânica e conservação marinha; • Envolvimento de escolas, associações comunitárias e instituições locais nas atividades. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: planejamento participativo, definição de cronograma e início das primeiras oficinas e exposições. • 12 meses: ampliação das ações educativas e consolidação das exposições itinerantes no território. • 24 meses: institucionalização do programa como ação permanente de educação ambiental costeira.
Realização de capacitações contemplando a questão de gênero, ressaltando a participação da mulher na gestão de recursos hídricos.	Promover a capacitação em gestão de recursos hídricos com enfoque de gênero, fortalecendo a participação qualificada das mulheres nos processos de decisão, planejamento e governança hídrica, reconhecendo seu papel estratégico na conservação, no uso sustentável da água e no desenvolvimento socioambiental dos territórios.	**Espaço** Comunidades, centros de formação, auditórios municipais, escolas-polo e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido, quando necessário). **Metodologia** Deverão ser realizadas de 01 a 02 capacitações anuais, com carga horária mínima de 20 a 40 horas cada. As capacitações deverão: • Ressaltar a importância da participação da mulher na gestão dos recursos hídricos e na conservação ambiental; • Promover a equidade de gênero nos espaços de decisão relacionados à água; • Incentivar o protagonismo feminino em comitês de bacia, conselhos ambientais e fóruns hídricos; • Desenvolver competências de liderança, mobilização social e incidência política;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Sensibilizar sobre direitos socioambientais, cidadania ambiental e justiça hídrica; • Estimular a organização de redes locais de mulheres para a proteção dos recursos hídricos; • As atividades incluirão palestras, oficinas participativas, rodas de diálogo, estudos de caso, relatos de experiências exitosas e desenvolvimento de planos de ação comunitários voltados à conservação dos recursos hídricos. **Prazos** • 6 meses: Planejamento da capacitação, definição dos conteúdos, elaboração de material didático, articulação institucional e mobilização das participantes; • 12 meses: Realização da 1ª edição da capacitação, com acompanhamento inicial dos planos de ação comunitários; • 24 a 36 meses: Consolidação da capacitação como programa permanente, ampliação do alcance territorial, fortalecimento das redes locais de mulheres e avaliação de impacto na governança hídrica.
Realização de palestras voltadas à difusão de práticas de conservação da água, proteção da vegetação ciliar e impactos das atividades antrópicas sobre os ecossistemas aquáticos.	Disseminar conhecimentos sobre conservação da água, proteção da vegetação ribeirinha e impactos das atividades humanas nos ecossistemas aquáticos.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações, unidades de saúde, instituições públicas, áreas ribeirinhas e espaços institucionais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia • Palestras em escolas e centros comunitários abordando temas como poluição da água, importância da vegetação ribeirinha, espécies locais e impactos da ação humana; • Oficinas práticas com identificação de fauna e flora, demonstração de coleta de água e monitoramento da qualidade ambiental; • Produção de material educativo (cartilhas, folders e jogos) para fixar os conceitos aprendidos. **Prazos** • 6 meses: estruturação do material educativo e início das primeiras ações; • 12 meses: ampliação das oficinas e inserção do tema nos projetos pedagógicos das escolas; • 24 meses: consolidação das ações como política permanente de educação ambiental.
Estruturação e fomento de capacitações (cursos, atividades culturais etc.) continuadas de Educação Ambiental em todos os públicos, especialmente comunidades tradicionais (pescadores, marisqueiras, ribeirinhos etc.) no que tange à temática de recursos hídricos e gerenciamento costeiro.	Estimular a participação popular e o engajamento dos diversos atores sociais, sobretudo das comunidades tradicionais, quanto aos cuidados com os recursos hídricos por meio de espaços de difuso do conhecimento.	**Espaço** Comunidades tradicionais (pescadores, marisqueiras, ribeirinhos), escolas comunitárias, associações, colônias de pesca e espaços públicos locais. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Ciclos periódicos de cursos formativos sobre recursos hídricos, qualidade da água, saneamento ambiental, manguezais e zonas costeiras; • Desenvolvimento de atividades culturais e educativas (rodas de conversa, eventos comunitários, mostras culturais e educativas) integrando saberes tradicionais; • Promoção de encontros territoriais para intercâmbio de experiências entre comunidades tradicionais, educadores ambientais e gestores públicos; • Formação gradual de multiplicadores ambientais comunitários, aptos a conduzir ações educativas locais e apoiar a implementação das políticas ambientais nos municípios. **Prazos** • 6 meses: Mobilização institucional e comunitária, diagnóstico participativo das necessidades formativas e elaboração do plano territorial de capacitações. • 12 meses: Implantação dos primeiros ciclos de cursos, oficinas e atividades culturais, com formação inicial de lideranças e multiplicadores ambientais; • 24 meses: Consolidação do programa como política pública permanente de Educação Ambiental, ampliação das ações

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		para todos os municípios do território e fortalecimento das redes comunitárias de proteção dos recursos hídricos e costeiros.
Realização de cursos e capacitações, por meio de parcerias institucionais, para pescadores, marisqueiras e trabalhadores de portos no âmbito da melhoria da gestão de resíduos pesqueiros.	Fomentar a construção de um espaço adequado para o reaproveitamento dos resíduos pesqueiros.	**Espaço** Portos pesqueiros, comunidades pesqueiras, associações de pescadores, colônias de pesca. **Metodologia** • Realização de diagnósticos técnicos por município para mapeamento da geração e destino dos resíduos; • Execução de ciclos anuais de capacitação para pescadores, marisqueiras e trabalhadores dos portos; • Realização de cursos culinários sobre reaproveitamento de resíduos pesqueiros na gastronomia local (casca de camarão, cabeças, aparas e subprodutos); • Estabelecimento de parcerias institucionais com universidades, IFs, secretarias de turismo, meio ambiente e desenvolvimento econômico. **Prazos** • 12 meses: Diagnóstico, planejamento, estruturação das parcerias e início dos cursos e capacitações; • 24 meses: Consolidação dos cursos culinários e criação de produtos derivados; • 36 meses: Inserção dos produtos em feiras, eventos e roteiros de turismo gastronômico

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		e consolidação da política pública de reaproveitamento de resíduos pesqueiros.
Proposição de um programa contínuo de educação Ambiental no, âmbito das atividades turísticas que ocorrem principalmente em rios e praias. A ação é amparada pela Política Nacional de Educação Ambiental, que prevê o incentivo a práticas educativas voltadas ao ecoturismo, bem como pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.	Promover ações contínuas de Educação Ambiental em observação ao controle e à manutenção da qualidade ambiental dos corpos hídricos em locais de apelo turístico.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações, unidades de saúde, instituições públicas, áreas turísticas, pousadas, pontos de visitação, escolas, associações e espaços públicos municipais. **Metodologia** • Implantação de ações educativas contínuas em áreas turísticas; • Produção e divulgação de materiais educativos voltados ao turismo responsável; • Capacitação de trabalhadores do turismo e comunidades locais; • Inserção da temática ambiental nos roteiros turísticos. **Prazos** • 6 meses: elaboração do plano educativo e articulação com setor turístico; • 12 meses: implementação das ações em áreas prioritárias; • 24 meses: consolidação do programa como política municipal permanente.
Intensificação de campanhas sociais, na Educação Ambiental não-formal, sobre a importância da manutenção ou recuperação da vegetação das margens e das nascentes de rios e suas bacias hidrográficas.	Sensibilizar a coletividade acerca da proteção dos recursos hídricos bem como de seu entorno por meio de ações e práticas educativas.	**Espaço** Áreas de nascente, margens de rios, comunidades ribeirinhas, escolas, associações, espaços públicos e territórios das bacias hidrográficas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia • Realização de campanhas permanentes de educação ambiental não formal; • Organização de mutirões de recuperação de áreas degradadas; • Produção e distribuição de materiais educativos; • Articulação com os Comitês de Bacias Hidrográficas. **Prazos** • 6 meses: mobilização social e início das campanhas. • 12 meses: execução contínua das ações educativas e de recuperação ambiental; • 24 meses: consolidação das campanhas como política permanente.
Criação de programa de conscientização e sensibilização ambiental denominado “Programa Mangue Vivo”, assegurando a inserção dos saberes de povos e comunidades tradicionais nas atividades educativas.	Fortalecer a consciência ambiental das comunidades costeiras e escolares sobre a importância ecológica, social e econômica dos manguezais, promovendo sua proteção, recuperação e uso sustentável como estratégia de combate à degradação ambiental, à poluição hídrica e aos efeitos das mudanças climáticas.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, urbanas e costeiras, escolas públicas municipais e estaduais, colônias de pescadores, associações comunitárias e áreas de influência dos estuários. **Metodologia** • Realização de ciclos permanentes de sensibilização ambiental em escolas e comunidades do entorno dos manguezais; • Desenvolvimento de oficinas educativas participativas sobre funções do manguezal, biodiversidade, serviços

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		ecossistêmicos e impactos do lixo e do esgoto; • Execução de mutirões comunitários de limpeza e recuperação de áreas de mangue; • Produção e distribuição de materiais educativos. **Prazos** • 6 meses: mobilização institucional e comunitária, definição das áreas prioritárias de manguezal e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução contínua das ações educativas, mutirões, oficinas; • 32 meses: consolidação do programa como política permanente de educação ambiental, fortalecimento das redes comunitárias de proteção e ampliação das áreas de manguezal recuperadas.
Criação de programa de sensibilização intitulado “Programa Protege Rios”.	Promover a sensibilização da população sobre os impactos do lançamento de esgoto e resíduos nos rios, fortalecendo a responsabilidade coletiva pela proteção dos recursos hídricos, pela saúde pública e pela qualidade de vida, integrando ações educativas, comunitárias e institucionais para a recuperação e preservação dos corpos d’água.	**Espaço** Rios urbanos e rurais, comunidades ribeirinhas, áreas de entorno dos cursos d’água, escolas, unidades de saúde, associações comunitárias e espaços públicos dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de campanhas educativas sobre poluição dos rios e saneamento ambiental;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Execução de ações educativas em escolas e comunidades ribeirinhas ao longo do território; • Organização de mutirões comunitários periódicos de limpeza e sensibilização nas margens dos rios; • Produção e distribuição regular de materiais educativos acessíveis; • Promoção de reuniões e audiências públicas com gestores, órgãos de saneamento e comunidade para cobrança, acompanhamento e fortalecimento das políticas de fiscalização e implantação de sistemas de tratamento de esgoto antes do despejo nos corpos hídricos. **Prazos** • 12 meses: implantação das campanhas educativas, mobilização comunitária inicial e início dos mutirões e ações em escolas e comunidades. • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental, fortalecimento dos canais de diálogo com órgãos públicos e acompanhamento da implantação ou ampliação de sistemas de tratamento de esgoto. • 36 meses: melhoria contínua da qualidade ambiental dos rios, redução progressiva do lançamento irregular de esgoto e

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		consolidação da cultura de cuidado com os recursos hídricos no território.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro		
DIRETRIZ – Integrar ações educativas voltadas à conservação dos ecossistemas costeiros, estuários, manguezais e recursos hídricos, fortalecendo o gerenciamento costeiro integrado e o uso sustentável do litoral.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Realização de capacitações contemplando a questão de gênero, ressaltando a participação da mulher na gestão de recursos hídricos.	Promover a capacitação em gestão de recursos hídricos com enfoque de gênero, fortalecendo a participação qualificada das mulheres nos processos de decisão, planejamento e governança hídrica, reconhecendo seu papel estratégico na conservação, no uso sustentável da água e no desenvolvimento socioambiental dos territórios.	**Espaço** Comunidades, centros de formação, auditórios municipais, escolas-polo e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido, quando necessário). **Metodologia** Deverão ser realizadas de 01 a 02 capacitações anuais, com carga horária mínima de 20 a 40 horas cada. As capacitações deverão: • Ressaltar a importância da participação da mulher na gestão dos recursos hídricos e na conservação ambiental; • Promover a equidade de gênero nos espaços de decisão relacionados à água; • Incentivar o protagonismo feminino em comitês de bacia, conselhos ambientais e fóruns hídricos; • Desenvolver competências de liderança, mobilização social e incidência política;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Sensibilizar sobre direitos socioambientais, cidadania ambiental e justiça hídrica; • Estimular a organização de redes locais de mulheres para a proteção dos recursos hídricos; • As atividades incluirão palestras, oficinas participativas, rodas de diálogo, estudos de caso, relatos de experiências exitosas e desenvolvimento de planos de ação comunitários voltados à conservação dos recursos hídricos. **Prazos** • 6 meses: Planejamento da capacitação, definição de conteúdos, elaboração de material didático, articulação institucional e mobilização das participantes; • 12 meses: Realização da 1ª edição da capacitação, com acompanhamento inicial dos planos de ação comunitários; • 24 a 36 meses: Consolidação da capacitação como programa permanente, ampliação do alcance territorial, fortalecimento das redes locais de mulheres e avaliação de impacto na governança hídrica.
Capacitação para Formação e Fortalecimento de Pró-Comitês e Comitês de Bacias.	Capacitar atores sociais e institucionais para a criação, estruturação, fortalecimento e atuação qualificada de pró-comitês e comitês de bacias ou microbacias hidrográficas, promovendo a gestão	**Espaço** Auditórios municipais, centros de formação, escolas-polo e ambientes virtuais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	participativa, descentralizada e integrada dos recursos hídricos, em consonância com a Política Estadual de Recursos Hídricos.	**Metodologia** Realização de 01 a 02 capacitações anuais. A capacitação será organizada em módulos teórico-práticos, contemplando: • Legislação e políticas de recursos hídricos (nacional e estadual); • Estrutura, atribuições e funcionamento dos comitês de bacia; • Etapas para criação e formalização de pró-comitês e comitês; • Instrumentos de gestão hídrica (outorga, enquadramento, cobrança, planos de bacia); • Planejamento participativo e governança hídrica; • Técnicas de mobilização social e comunicação comunitária; • Mediação de conflitos e negociação socioambiental; • Elaboração orientada de planos de ação da bacia ou microbacia; • As atividades incluirão palestras, oficinas práticas, estudos de caso, simulações de reuniões de comitê, rodas de diálogo, visitas técnicas (quando possível) e desenvolvimento de propostas concretas de criação ou fortalecimento de comitês. **Prazos** • 6 meses: Planejamento da capacitação, definição dos conteúdos, elaboração de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		material didático e articulação institucional; • 12 meses: Realização da 1ª edição da capacitação e início dos processos de criação ou fortalecimento de pró-comitês; • 24 meses: Consolidação dos comitês formados, ampliação do número de bacias atendidas e avaliação de impacto na governança hídrica.
Realização de cursos e capacitações, por meio de parcerias institucionais, para pescadores, marisqueiras e trabalhadores de portos no âmbito da melhoria da gestão de resíduos pesqueiros.	Fomentar a construção de um espaço adequado para o reaproveitamento dos resíduos pesqueiros.	**Espaço** Portos pesqueiros, comunidades pesqueiras, associações de pescadores, colônias de pesca. **Metodologia** • Realização de diagnósticos técnicos por município para mapeamento da geração e destino dos resíduos; • Execução de ciclos anuais de capacitação para pescadores, marisqueiras e trabalhadores dos portos; • Realização de cursos culinários sobre reaproveitamento de resíduos pesqueiros na gastronomia local (casca de camarão, cabeças, aparas e subprodutos); • Estabelecimento de parcerias institucionais com universidades, IFs, secretarias de turismo, meio ambiente e desenvolvimento econômico. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: Diagnóstico, planejamento, estruturação das parcerias e início dos cursos e capacitações; • 24 meses: Consolidação dos cursos culinários e criação de produtos derivados; • 36 meses: Inserção dos produtos em feiras, eventos e roteiros de turismo gastronômico e consolidação da política pública de reaproveitamento de resíduos pesqueiros.
Criação de programa de sensibilização intitulado “Programa Protege Rios”.	Promover a sensibilização da população sobre os impactos do lançamento de esgoto e resíduos nos rios, fortalecendo a responsabilidade coletiva pela proteção dos recursos hídricos, pela saúde pública e pela qualidade de vida, integrando ações educativas, comunitárias e institucionais para a recuperação e preservação dos corpos d’água.	**Espaço** Rios urbanos e rurais, comunidades ribeirinhas, áreas de entorno dos cursos d’água, escolas, unidades de saúde, associações comunitárias e espaços públicos dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de campanhas educativas sobre poluição dos rios e saneamento ambiental; • Execução de ações educativas em escolas e comunidades ribeirinhas ao longo do território; • Organização de mutirões comunitários periódicos de limpeza e sensibilização nas margens dos rios; • Produção e distribuição regular de materiais educativos acessíveis; • Promoção de reuniões e audiências públicas com gestores, órgãos de saneamento e comunidade para cobrança, acompanhamento e fortalecimento das

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		políticas de fiscalização e implantação de sistemas de tratamento de esgoto antes do despejo nos corpos hídricos. **Prazos** • 12 meses: implantação das campanhas educativas, mobilização comunitária inicial e início dos mutirões e ações em escolas e comunidades. • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental, fortalecimento dos canais de diálogo com órgãos públicos e acompanhamento da implantação ou ampliação de sistemas de tratamento de esgoto. • 36 meses: melhoria contínua da qualidade ambiental dos rios, redução progressiva do lançamento irregular de esgoto e consolidação da cultura de cuidado com os recursos hídricos no território.
Estimular projeto de recuperação florestal nas nascentes dos rios do território do Leste Sergipano.	Promover a recuperação das matas ciliares de nascentes através de ações de educação ambiental e parcerias com os Municípios, com base na política pública de inventário dos corpos hídricos e em consonância com o que rege a Lei 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos) e Lei 12.651/2012 (Código Florestal).	**Espaço** Comunidades rurais do entorno, escolas, associações comunitárias e propriedades rurais. **Metodologia** • Implantação de programas de recuperação florestal em áreas prioritárias das bacias hidrográficas do território; • Execução contínua de campanhas educativas e mutirões comunitários de reflorestamento;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Formação de brigadas comunitárias de proteção das nascentes; • Estabelecimento de parcerias formais com municípios, Comitês de Bacias Hidrográficas e setor privado; • Desenvolvimento de planos locais de recuperação das matas ciliares. **Prazos** • 6 meses: mapeamento das nascentes prioritárias e formalização das parcerias. • 12 meses: execução dos primeiros ciclos de recuperação florestal e ações educativas; • 24 meses: consolidação do programa como política pública permanente no território.
Estimular/resgatar projetos e ações para o ecoturismo.	Promover o conhecimento e a situação ambiental dos corpos hídricos regionais.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações, unidades de saúde, instituições públicas, áreas ribeirinhas e espaços institucionais, municípios do litoral e do interior do território, especialmente Pirambu. **Metodologia** • Levantamento e sistematização das potencialidades naturais e culturais regionais; • Implantação de roteiros de ecoturismo e turismo de base comunitária; • Integração permanente com os Comitês das Bacias Hidrográficas regionais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Formação de condutores ambientais comunitários; • Desenvolvimento de materiais educativos e turísticos. **Prazos** • 12 meses: diagnóstico ambiental e planejamento participativo; • 24 meses: implementação dos primeiros roteiros e capacitações; • 36 meses: consolidação da atividade ecoturística como instrumento de conservação e geração de renda.
Criação de programa de conscientização e sensibilização ambiental denominado “Programa Mangue Vivo”, assegurando a inserção dos saberes de povos e comunidades tradicionais nas atividades educativas.	Fortalecer a consciência ambiental das comunidades costeiras e escolares sobre a importância ecológica, social e econômica dos manguezais, promovendo sua proteção, recuperação e uso sustentável como estratégia de combate à degradação ambiental, à poluição hídrica e aos efeitos das mudanças climáticas.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, urbanas e costeiras, escolas públicas municipais e estaduais, colônias de pescadores, associações comunitárias e áreas de influência dos estuários. **Metodologia** • Realização de ciclos permanentes de sensibilização ambiental em escolas e comunidades do entorno dos manguezais; • Desenvolvimento de oficinas educativas participativas sobre funções do manguezal, biodiversidade, serviços ecossistêmicos e impactos do lixo e do esgoto; • Execução de mutirões comunitários de limpeza e recuperação de áreas de mangue;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Produção e distribuição de materiais educativos. **Prazos** • 6 meses: mobilização institucional e comunitária, definição das áreas prioritárias de manguezal e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução contínua das ações educativas, mutirões, oficinas; • 32 meses: consolidação do programa como política permanente de educação ambiental, fortalecimento das redes comunitárias de proteção e ampliação das áreas de manguezal recuperadas.
Utilização de compensações ambientais para a realização de projetos de educação, adequação e manutenção de entrepostos pesqueiros.	Criar projetos oriundos de compensação ambiental na recuperação e manutenção de espaços comunitários, como entrepostos pesqueiros.	**Espaço** Comunidades pesqueiras, portos e áreas costeiras do território. **Metodologia** • Diagnóstico estrutural dos entrepostos e espaços comunitários; • Execução de projetos de adequação, manutenção e revitalização; • Desenvolvimento de ações educativas permanentes nesses espaços; • Articulação de compensações ambientais junto a empresas privadas e órgãos públicos. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: diagnóstico e elaboração dos projetos. • 24 meses: execução das adequações físicas e ações educativas. • 36 meses: consolidação dos espaços como centros comunitários de Educação Ambiental.
Propor parcerias com as empresas privadas para investirem no ecoturismo e turismo de base comunitária de Pirambu e demais municípios (praias, reservas ambientais e outros).	Identificar as potencialidades dos recursos naturais regionais visando o desenvolvimento de ações voltadas a preservação desses ambientes.	**Espaço** Pirambu e demais municípios do território, praias, reservas ambientais, comunidades tradicionais e zonas costeiras. **Metodologia** • Estabelecimento de parcerias com a esfera municipal e privadas locais para criação e implementação de projetos voltados ao reaproveitamento dos resíduos pesqueiros Implantação de projetos integrados de ecoturismo comunitário; • Capacitação de moradores locais para atuação no turismo sustentável; • Desenvolvimento de planos municipais de turismo ambientalmente responsável; • Conhecer e formalizar parcerias com instituições que desenvolvem ações de Educação Ambiental, ecoturismo e turismo de base comunitária. **Prazos** • 12 meses: identificação de parceiros e planejamento dos projetos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: execução das ações piloto; • 36 meses: ampliação e consolidação da política territorial de turismo sustentável; • Conhecer e formalizar parcerias com instituições que desenvolvem ações de Educação Ambiental, ecoturismo e turismo de base comunitária.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro		
DIRETRIZ – Desenvolver ações educativas voltadas à proteção de mananciais, uso eficiente da água e fortalecimento da gestão comunitária dos recursos hídricos no semiárido.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Criação de programa de sensibilização intitulado “Programa Protege Rios”.	Promover a sensibilização da população sobre os impactos do lançamento de esgoto e resíduos nos rios, fortalecendo a responsabilidade coletiva pela proteção dos recursos hídricos, pela saúde pública e pela qualidade de vida, integrando ações educativas, comunitárias e institucionais para a recuperação e preservação dos corpos d’água.	**Espaço** Rios urbanos e rurais, comunidades ribeirinhas, áreas de entorno dos cursos d’água, escolas, unidades de saúde, associações comunitárias e espaços públicos dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de campanhas educativas sobre poluição dos rios e saneamento ambiental; • Execução de ações educativas em escolas e comunidades ribeirinhas ao longo do território; • Organização de mutirões comunitários periódicos de limpeza e sensibilização nas margens dos rios; • Produção e distribuição regular de materiais educativos acessíveis;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Promoção de reuniões e audiências públicas com gestores, órgãos de saneamento e comunidade para cobrança, acompanhamento e fortalecimento das políticas de fiscalização e implantação de sistemas de tratamento de esgoto antes do despejo nos corpos hídricos. **Prazos** • 12 meses: implantação das campanhas educativas, mobilização comunitária inicial e início dos mutirões e ações em escolas e comunidades; • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental, fortalecimento dos canais de diálogo com órgãos públicos e acompanhamento da implantação ou ampliação de sistemas de tratamento de esgoto; • 36 meses: melhoria contínua da qualidade ambiental dos rios, redução progressiva do lançamento irregular de esgoto e consolidação da cultura de cuidado com os recursos hídricos no território.
Promover campanhas informativas de sensibilização para conscientização sobre o uso de agrotóxicos e o descarte inadequado de resíduos, Óleos e graxas e demais substâncias que comprometam a qualidade dos corpos hídricos.	Orientar os agricultores sobre o uso dos agrotóxicos e seus impactos para os corpos hídricos, sensibilizando os para um uso racional e consciente, incluindo desde a manipulação até o descarte dos recipientes.	**Espaço** Áreas rurais, associações de produtores, sindicatos rurais, escolas, feiras livres, comunidades agrícolas e secretarias municipais. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Desenvolvimento de campanhas educativas contínuas sobre uso de agrotóxicos; • Realização de oficinas práticas com agricultores sobre manipulação segura e descarte correto de embalagens; • Implantação de pontos de coleta de embalagens e resíduos contaminantes; • Produção de material informativo específico para produtores rurais; • Articulação com órgãos ambientais e de saúde para fiscalização orientativa. **Prazos** • 6 meses: elaboração do plano de campanha e materiais educativos; • 24 meses: execução intensiva das campanhas e oficinas nos municípios; • Após 24 meses: consolidação da ação como política pública permanente de educação ambiental rural.
Regulamentação, incentivo e prestação de orientação técnica para os produtores rurais e demais atividades econômicas sobre o reuso da água para irrigação visando a redução do desperdício de água potável.	Incentivar os agricultores a implantar sistema de reuso das·águas cinzas como base na irrigação, visto que a utilização de água potável na agricultura não é recomendada, pois o Brasil é composto por regiões semiáridas que sofrem historicamente com a escassez hídrica em larga escala, necessitando assim da criação de alternativas capazes de potencializar a racionalização, bem como o uso sustentável de seu maior bem, a água.	**Espaço** Propriedades rurais, assentamentos, associações de produtores, cooperativas agrícolas, comunidades rurais e secretarias municipais. **Metodologia** • Elaboração e implementação de regulamentação municipal para o reuso de águas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Capacitação técnica de produtores rurais sobre sistemas simples de reuso; • Implantação de projetos demonstrativos de reuso de águas cinzas em áreas piloto; • Produção de manuais técnicos acessíveis aos agricultores; • Monitoramento técnico das práticas implantadas. **Prazos** • 12 meses: elaboração da regulamentação e estruturação dos projetos piloto; • 24 meses: capacitação dos produtores e implantação progressiva dos sistemas de reuso; • 36 meses: ampliação territorial e consolidação como política pública municipal e regional.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental em Recursos Hídricos e Gerenciamento Costeiro		
DIRETRIZ – Fortalecer a Educação Ambiental associada à proteção dos ambientes costeiros, estuários, manguezais e recursos hídricos, integrando turismo sustentável, conservação ambiental e gestão costeira participativa.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Desenvolvimento de programa continuado por parte do poder público voltado para proteção e revitalização das matas ciliares e nascentes, principalmente nos mananciais utilizados para consumo humano.	Promover a preservação e revitalização das matas ciliares e nascentes, que são consideradas de preservação permanente no âmbito do Código Florestal brasileiro (Lei 12.651/2012).	**Espaço** Secretarias municipais e estaduais, escolas; associações comunitárias, instituições públicas e organizações da sociedade civil. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Estruturação de programa continuado de proteção de matas ciliares e nascentes em todos os municípios do território; • Elaboração e execução permanente de projetos de recuperação florestal e educação ambiental associados aos mananciais de abastecimento; • Capacitação periódica de servidores públicos, gestores, educadores ambientais e lideranças comunitárias; • Realização de campanhas educativas territoriais sobre proteção das nascentes e cursos d'água; • Implantação de áreas demonstrativas de recuperação de mata ciliar como referência pedagógica; • Estabelecimento de parcerias institucionais com órgãos ambientais, universidades, comitês de bacia e organizações da sociedade civil. **Prazos** • 12 meses: criação do programa, diagnóstico das áreas prioritárias e articulação interinstitucional; • 24 meses: implementação dos projetos de recuperação, ações educativas e capacitação continuada; • 36 meses: consolidação do programa como política pública permanente de gestão

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		ambiental e proteção dos recursos hídricos.
Capacitação para Formação e Fortalecimento de Pró-Comitês e Comitês de Bacias.	Capacitar atores sociais e institucionais para a criação, estruturação, fortalecimento e atuação qualificada de pró-comitês e comitês de bacias ou microbacias hidrográficas, promovendo a gestão participativa, descentralizada e integrada dos recursos hídricos, em consonância com a Política Estadual de Recursos Hídricos.	**Espaço** Auditórios municipais, centros de formação, escolas-polo e ambientes virtuais. **Metodologia** Realização de 01 a 02 capacitações anuais. A capacitação será organizada em módulos teórico-práticos, contemplando: • Legislação e políticas de recursos hídricos (nacional e estadual); • Estrutura, atribuições e funcionamento dos comitês de bacia; • Etapas para criação e formalização de pró-comitês e comitês; • Instrumentos de gestão hídrica (outorga, enquadramento, cobrança, planos de bacia); • Planejamento participativo e governança hídrica; • Técnicas de mobilização social e comunicação comunitária; • Mediação de conflitos e negociação socioambiental; • Elaboração orientada de planos de ação da bacia ou microbacia. • As atividades incluirão palestras, oficinas práticas, estudos de caso, simulações de reuniões de comitê, rodas de diálogo, visitas técnicas (quando possível) e

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		desenvolvimento de propostas concretas de criação ou fortalecimento de comitês. **Prazos** • 6 meses: Planejamento da capacitação, definição dos conteúdos, elaboração de material didático e articulação institucional. • 12 meses: Realização da 1ª edição da capacitação e início dos processos de criação ou fortalecimento de pró-comitês. • 24 meses: Consolidação dos comitês formados, ampliação do número de bacias atendidas e avaliação de impacto na governança hídrica.
Criação de programa de conscientização e sensibilização ambiental denominado "Programa Mangue Vivo", assegurando a inserção dos saberes de povos e comunidades tradicionais nas atividades educativas.	Fortalecer a consciência ambiental das comunidades costeiras e escolares sobre a importância ecológica, social e econômica dos manguezais, promovendo sua proteção, recuperação e uso sustentável como estratégia de combate à degradação ambiental, à poluição hídrica e aos efeitos das mudanças climáticas.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas, urbanas e costeiras, escolas públicas municipais e estaduais, colônias de pescadores, associações comunitárias e áreas de influência dos estuários. **Metodologia** • Realização de ciclos permanentes de sensibilização ambiental em escolas e comunidades do entorno dos manguezais; • Desenvolvimento de oficinas educativas participativas sobre funções do manguezal, biodiversidade, serviços ecossistêmicos e impactos do lixo e do esgoto;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Execução de mutirões comunitários de limpeza e recuperação de áreas de mangue; • Produção e distribuição de materiais educativos. **Prazos** • 6 meses: mobilização institucional e comunitária, definição das áreas prioritárias de manguezal e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução contínua das ações educativas, mutirões, oficinas; • 32 meses: consolidação do programa como política permanente de educação ambiental, fortalecimento das redes comunitárias de proteção e ampliação das áreas de manguezal recuperadas.
Criação de programa de sensibilização intitulado “Programa Protege Rios”.	Promover a sensibilização da população sobre os impactos do lançamento de esgoto e resíduos nos rios, fortalecendo a responsabilidade coletiva pela proteção dos recursos hídricos, pela saúde pública e pela qualidade de vida, integrando ações educativas, comunitárias e institucionais para a recuperação e preservação dos corpos d’água.	**Espaço** Rios urbanos e rurais, comunidades ribeirinhas, áreas de entorno dos cursos d’água, escolas, unidades de saúde, associações comunitárias e espaços públicos dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de campanhas educativas sobre poluição dos rios e saneamento ambiental; • Execução de ações educativas em escolas e comunidades ribeirinhas ao longo do território;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Organização de mutirões comunitários periódicos de limpeza e sensibilização nas margens dos rios; • Produção e distribuição regular de materiais educativos acessíveis; • Promoção de reuniões e audiências públicas com gestores, órgãos de saneamento e comunidade para cobrança, acompanhamento e fortalecimento das políticas de fiscalização e implantação de sistemas de tratamento de esgoto antes do despejo nos corpos hídricos. **Prazos** • 12 meses: implantação das campanhas educativas, mobilização comunitária inicial e início dos mutirões e ações em escolas e comunidades. • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental, fortalecimento dos canais de diálogo com órgãos públicos e acompanhamento da implantação ou ampliação de sistemas de tratamento de esgoto. • 36 meses: melhoria contínua da qualidade ambiental dos rios, redução progressiva do lançamento irregular de esgoto e consolidação da cultura de cuidado com os recursos hídricos no território.
Realização de cursos e capacitações, por meio de parcerias institucionais, para pescadores,	Fomentar a construção de um espaço adequado para o reaproveitamento dos resíduos pesqueiros.	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
marisqueiras e trabalhadores de portos no âmbito da melhoria da gestão de resíduos pesqueiros.		Portos pesqueiros, comunidades pesqueiras, associações de pescadores, colônias de pesca. **Metodologia** • Realização de diagnósticos técnicos por município para mapeamento da geração e destino dos resíduos; • Execução de ciclos anuais de capacitação para pescadores, marisqueiras e trabalhadores dos portos; • Realização de cursos culinários sobre reaproveitamento de resíduos pesqueiros na gastronomia local (casca de camarão, cabeças, aparas e subprodutos); • Estabelecimento de parcerias institucionais com universidades, IFs, secretarias de turismo, meio ambiente e desenvolvimento econômico. **Prazos** • 12 meses: Diagnóstico, planejamento, estruturação das parcerias e início dos cursos e capacitações; • 24 meses: Consolidação dos cursos culinários e criação de produtos derivados; • 36 meses: Inserção dos produtos em feiras, eventos e roteiros de turismo gastronômico e consolidação da política pública de reaproveitamento de resíduos pesqueiros.
Realização de consulta prévia com as comunidades ribeirinhas e tradicionais (indígenas e quilombolas)	Desenvolver ações educativas relativas ao manejo de fauna, de recursos pesqueiros, a proteção e	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
sobre o uso dos recursos hídricos e desenvolvimento de atividades que gerem degradação em seu entorno, principalmente extração de areia e garimpo ilegais; (acrescentar em todos os eixos).	recuperação de ·áreas degradadas, gestão dos recursos hídricos, prevenção de atividades potencialmente poluidoras e ou utilizadoras de recursos ambientais, e definir os procedimentos metodológicos sobre a utilização dos instrumentos didáticos e pedagógicos participativos para o desenvolvimento de projetos com comunidades tradicionais.	Territórios de comunidades ribeirinhas, indígenas e quilombolas, áreas de manguezal, áreas de preservação permanente, zonas rurais e costeiras, associações comunitárias, colônias de pesca, escolas locais, secretarias municipais e órgãos ambientais. **Metodologia** • Realização anual de consultas prévias, livres e informadas em todos os territórios impactados por atividades como extração de areia, garimpo, viveiros e demais empreendimentos de risco ambiental; • Elaboração de planos comunitários de uso e proteção dos recursos naturais com participação direta das comunidades; • Execução contínua de oficinas educativas sobre gestão da água, pesca sustentável, proteção da fauna e recuperação de áreas degradadas; • Produção de materiais pedagógicos participativos adaptados à realidade cultural de cada território. **Prazos** • 12 meses: mapeamento dos territórios, articulação institucional e início das consultas comunitárias; • 24 meses: consolidação dos planos comunitários e execução contínua das ações educativas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 36 meses: institucionalização da ação como política pública permanente.
Realização de capacitações contemplando a questão de gênero, ressaltando a participação da mulher na gestão de recursos hídricos.	Promover a capacitação em gestão de recursos hídricos com enfoque de gênero, fortalecendo a participação qualificada das mulheres nos processos de decisão, planejamento e governança hídrica, reconhecendo seu papel estratégico na conservação, no uso sustentável da água e no desenvolvimento socioambiental dos territórios.	**Espaço** Comunidades, centros de formação, auditórios municipais, escolas-polo e ambientes virtuais de aprendizagem (formato híbrido, quando necessário). **Metodologia** Deverão ser realizadas de 01 a 02 capacitações anuais, com carga horária mínima de 20 a 40 horas cada. As capacitações deverão: • Ressaltar a importância da participação da mulher na gestão dos recursos hídricos e na conservação ambiental; • Promover a equidade de gênero nos espaços de decisão relacionados à água; • Incentivar o protagonismo feminino em comitês de bacia, conselhos ambientais e fóruns hídricos; • Desenvolver competências de liderança, mobilização social e incidência política; • Sensibilizar sobre direitos socioambientais, cidadania ambiental e justiça hídrica; • Estimular a organização de redes locais de mulheres para a proteção dos recursos hídricos; • As atividades incluirão palestras, oficinas participativas, rodas de diálogo, estudos de

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		caso, relatos de experiências exitosas e desenvolvimento de planos de ação comunitários voltados à conservação dos recursos hídricos. **Prazos** • 6 meses: Planejamento da capacitação, definição dos conteúdos, elaboração de material didático, articulação institucional e mobilização das participantes. • 12 meses: Realização da 1ª edição da capacitação, com acompanhamento inicial dos planos de ação comunitários. • 24 a 36 meses: Consolidação da capacitação como programa permanente, ampliação do alcance territorial, fortalecimento das redes locais de mulheres e avaliação de impacto na governança hídrica.
Incentivo à implantação de viveiros em área de manguezal e áreas de preservação permanente, exigir análise prévia de impacto ambiental com participação da comunidade afetada e realizar adequação ou fechamento de viveiros irregulares, de acordo com a legislação ambiental vigente.	Incentivo à participação individual e coletiva, permanente e responsável, na preservação do equilíbrio do meio ambiente, entendendo-se a defesa da qualidade ambiental como um valor inseparável do exercício da cidadania.	**Espaço** Áreas de manguezal, zonas estuarinas, áreas de preservação permanente, comunidades costeiras, associações de produtores, órgãos ambientais e instituições de ensino. **Metodologia** • Implantação de procedimentos obrigatórios de análise prévia de impacto ambiental com participação comunitária para novos viveiros;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realização de programas anuais de capacitação sobre carcinicultura e piscicultura sustentável; • Execução de planos de adequação ou fechamento de viveiros irregulares; • Aplicação de metodologias permanentes de Educação Ambiental voltadas à proteção dos manguezais; • Organização anual de Fóruns de Educação Ambiental e Licenciamento Ambiental. **Prazos** • 12 meses: diagnóstico territorial e início das capacitações; • 24 meses: adequação dos empreendimentos existentes; • 36 meses: consolidação da gestão sustentável e fortalecimento da governança ambiental local.
Desenvolver campanhas de conscientização, numa parceria do estado com os municípios, junto aos produtores rurais sobre o uso abusivo dos agrotóxicos, principalmente em áreas margeadas por corpos hídricos	Promover e apoiar a produção, divulgação e disponibilização de informações sobre a utilização correta de agrotóxicos, recursos e materiais, como ferramenta para implementação de projetos de Educação Ambiental. Promover a agricultura orgânica e a economia verde.	**Espaço** Áreas rurais, comunidades agrícolas, associações de produtores, escolas do campo, feiras agrícolas, secretarias municipais e órgãos ambientais. **Metodologia** • Realização anual de campanhas territoriais sobre uso consciente de agrotóxicos; • Execução contínua de oficinas técnicas para agricultores; • Distribuição sistemática de materiais educativos sobre alternativas sustentáveis;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Implantação de unidades demonstrativas de agricultura orgânica; • Fortalecimento permanente da fiscalização ambiental sobre uso de insumos nocivos. **Prazos** • 6 meses: implantação das campanhas e início das oficinas. • 12 meses: ampliação das práticas sustentáveis e fortalecimento da economia verde. • 24 meses: consolidação das mudanças produtivas no território.
Fortalecer os órgãos ambientais na fiscalização e punição quanto ao uso excessivo de agrotóxicos nocivos aos recursos hídricos.	Desenvolvimento de cursos de Implementação da Avaliação de Risco Ambiental para proteger a vida dos riscos associados ao uso dos agrotóxicos.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, escolas técnicas, universidades, sindicatos, associações, órgãos ambientais e instituições públicas. **Metodologia** • Formação anual de multiplicadores ambientais em todos os municípios do território; • Implantação de cursos regulares de Avaliação de Risco Ambiental conforme diretrizes; • Realização de seminários técnicos regionais sobre riscos ambientais e saúde pública; • Produção contínua de materiais técnicos e educativos.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 12 meses: estruturação dos cursos e formação inicial dos multiplicadores; • 24 meses: expansão dos programas de capacitação; • 36 meses: institucionalização da formação ambiental permanente.

Fonte: Os autores.

1.15 EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A intensificação das mudanças climáticas já produz efeitos diretos e perceptíveis em Sergipe, especialmente em relação ao aumento da temperatura média, à variabilidade das chuvas, ao avanço da aridez em regiões mais sensíveis e à maior frequência de eventos extremos (CASTELHANO & PINTO, 2022). Esses processos impactam ecossistemas, atividades produtivas, infraestrutura, saúde pública e, sobretudo, a vida cotidiana das populações mais vulneráveis. Nesse contexto, a Educação Ambiental assume papel estratégico ao possibilitar que indivíduos, comunidades e instituições compreendam as causas e consequências das mudanças climáticas, desenvolvam competências para lidar com cenários de risco e adotem práticas voltadas à mitigação, adaptação e promoção da resiliência socioambiental.

O enfrentamento da crise climática exige uma abordagem educacional crítica, interdisciplinar e orientada por evidências científicas, capaz de conectar os conteúdos ambientais ao planejamento territorial, à justiça climática, à equidade social e à sustentabilidade econômica (LAYRARGUES & LIMA, 2014). A Educação Ambiental, nesse eixo, promove o entendimento de que as mudanças do clima não são fenômenos abstratos, mas processos que atravessam a vida real das pessoas, influenciam a disponibilidade de água, a produção de alimentos, o bem-estar nas cidades, a conservação da biodiversidade e a qualidade dos serviços ecossistêmicos. Trata-se, portanto, de um campo formativo que amplia a capacidade coletiva de leitura do território e de tomada de decisão responsável.

Esse eixo também busca fortalecer o diálogo entre conhecimento comunitário e conhecimento técnico-científico. Povos e comunidades tradicionais, agricultores familiares, pescadores, estudantes, professores, gestores públicos e organizações sociais possuem percepções valiosas sobre as transformações do clima e sobre alternativas adaptativas que já vêm sendo implementadas no cotidiano. Integrar essas experiências ao processo educativo gera pertencimento, legitimidade e maior potencial de engajamento social, consolidando um processo formativo que reconhece saberes, valoriza o território e estimula protagonismos locais (OLIVEIRA, 2023).

A transversalidade é outro elemento central deste eixo. A Educação Ambiental em Mudanças Climáticas deve se articular com políticas de saneamento, recursos hídricos, gerenciamento costeiro, conservação ambiental, segurança hídrica, saúde, agricultura, cidades e gestão de riscos, pois todos esses campos enfrentam pressões climáticas diretas. Ao promover essa integração, o PEACP/SE fortalece uma abordagem

sistêmica capaz de gerar respostas mais eficazes e alinhadas ao desenvolvimento sustentável.

Considerando que os impactos das mudanças climáticas se manifestam de forma diferenciada entre os territórios sergipanos, o PEACP/SE organiza este eixo de maneira adaptada às realidades regionais, reconhecendo vulnerabilidades locais, capacidades institucionais e especificidades socioambientais de cada região. O Quadro 15 apresenta a distribuição das diretrizes, ações, objetivos e metas relacionadas à Educação Ambiental em Mudanças Climáticas nos oito territórios de planejamento do Estado, orientando estratégias formativas voltadas à mitigação, adaptação, redução de riscos e fortalecimento da resiliência climática em Sergipe.

Quadro 15. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental em Mudanças Climáticas

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental em Mudanças Climáticas		
DIRETRIZ – Fortalecer ações educativas voltadas à compreensão das mudanças climáticas, mitigação de emissões e adaptação territorial, integrando escolas, comunidades e setor produtivo na construção de soluções climáticas locais.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Implementação de ações contínuas de Educação Ambiental sobre mudanças climáticas em espaços comunitários, centrada nas particularidades locais, a fim de desmistificar as mudanças climáticas e estimular a mudança de atitude na sociedade local.	Promover a compreensão da relação entre hábitos diários, padrões de consumo e mudanças climáticas, superando a percepção do problema como algo distante e abstrato, e estimulando atitudes individuais e coletivas voltadas à redução de emissões e à sustentabilidade.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações de moradores, unidades de saúde, praças públicas e demais espaços de convivência social do território. **Metodologia** • Realização de ciclos educativos permanentes sobre mudança climática no cotidiano; • Promoção de oficinas e rodas de conversa em comunidades urbanas e rurais; • Desenvolvimento de materiais educativos (cartilhas, banners, vídeos e spots de rádio); • Formação de multiplicadores comunitários para continuidade das ações. **Prazos** • 6 meses: estruturação pedagógica, produção de materiais e articulação institucional. • 24 meses: execução contínua das ações educativas nos territórios. • 36 meses: consolidação da ação como política permanente de Educação Ambiental nos municípios.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Criação de um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Assegurar a efetiva implementação do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) e do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP-SE).	**Espaço** Os cursos temáticos serão feitos presencialmente, em auditórios e universidade públicas, e a distância, por meio de plataforma virtual. **Metodologia** Capacitar 300 gestores públicos estaduais e municipais, distribuídos em 8 cursos temáticos. **Metodologia** A capacitação ocorrerá em 8 (oito) cursos temáticos, que possuem a seguinte nomenclatura, carga horária, público-alvo, modalidade de ensino e meta de participantes: Curso 1 – Fundamentos de Mudanças Climáticas • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: geral; • Modalidade: presencial + EAD[1]; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 2 – Inventários de GEE • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: técnicos ambientais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 3 – Adaptação e Gestão de Riscos

[1] EAD – Ensino a Distância.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: Defesa Civil, saúde e planejamento; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 4 – Políticas de Mitigação Setoriais • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: técnicos setoriais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 5 – Sistema MRV e Indicadores • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: monitoramento e avaliação; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 6 – Financiamento Climático • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: planejamento e finanças; • Modalidade: EAD e oficinas; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 7 – Planos Municipais de Ação Climática • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: equipes municipais; • Modalidade: presencial + consultoria; • Meta de participantes: 300 gestores.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Curso 8 – Comunicação de Riscos Climáticos • Carga horária: 24 horas; • Público-alvo: comunicadores e educadores; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. **Prazos** • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos; • 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.
Implementação de um Programa de Promoção da Produção e do Consumo Sustentável nos territórios, por meio de campanhas educativas, capacitações práticas e ações demonstrativas, envolvendo produtores, comerciantes, consumidores e instituições locais.	Estimular a adoção de práticas sustentáveis de produção e consumo nos territórios, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa, para o uso eficiente dos recursos naturais e para a transição para uma economia de baixo carbono	**Espaço** Unidades produtivas locais, associações de produtores, cooperativas, escolas, feiras, espaços comunitários, secretarias municipais, instituições de ensino. **Metodologia** • Realização de campanhas educativas sobre consumo consciente, redução de desperdício, reaproveitamento de materiais e economia circular; • Desenvolvimento de oficinas e capacitações com produtores, comerciantes e consumidores sobre práticas sustentáveis e de baixo impacto ambiental; • Implantação de ações demonstrativas de produção sustentável (agroecologia,

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		reaproveitamento de resíduos, eficiência energética); • Criação de redes locais de troca de experiências e boas práticas sustentáveis. **Prazos** • 6 meses: planejamento das ações, mobilização dos atores locais e elaboração dos materiais educativos. • 12 meses: execução das campanhas, oficinas e ações demonstrativas nos municípios. • 24 meses: consolidação das práticas sustentáveis como política pública permanente de incentivo à produção e ao consumo responsável nos territórios.
Implementação de um Programa de Formação Continuada em Mudanças Climáticas voltado a educadores, agentes comunitários e lideranças sociais, por meio de módulos formativos teórico-práticos, materiais didáticos de apoio e formação de multiplicadores territoriais, com vistas à consolidação da iniciativa como política permanente de capacitação nos municípios.	Fortalecer a capacidade técnica e pedagógica de educadores e agentes sociais para a abordagem das Mudanças Climáticas de forma crítica, contextualizada e transformadora, promovendo a compreensão de suas causas, impactos e estratégias de mitigação e adaptação nos territórios.	**Espaço** Instituições de ensino, centros de formação, espaços comunitários, secretarias municipais, organizações da sociedade civil e ambientes virtuais de aprendizagem dos municípios do território. **Metodologia** • Desenvolvimento de um módulo formativo estruturado com conteúdos teóricos e práticos sobre Mudanças Climáticas; • Realização de ciclos de formação presenciais e/ou híbridos para educadores da rede pública, agentes comunitários e lideranças sociais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Produção de materiais didáticos de apoio (cartilhas, guias pedagógicos, apresentações e recursos digitais); • Formação de multiplicadores territoriais para continuidade das ações educativas nos municípios. **Prazos** • 6 meses: elaboração do conteúdo pedagógico, articulação institucional e capacitação inicial de formadores. • 12 meses: execução dos ciclos formativos nos municípios e produção dos materiais educativos. • 24 meses: consolidação do módulo como programa permanente de formação continuada e ampliação para novos territórios.
Implementação de um Programa de Educação Ambiental Crítica e Participação Social, estruturado por meio de debates, formações e materiais educativos.	Promover uma abordagem crítica da Educação Ambiental que problematize o modelo desenvolvimentista baseado no crescimento econômico a qualquer custo, estimulando a reflexão sobre seus impactos socioambientais, climáticos e territoriais, e fortalecendo a construção de alternativas sustentáveis, solidárias e socialmente justas.	**Espaço** Escolas, universidades, centros comunitários, associações, sindicatos, movimentos sociais, conselhos municipais e espaços públicos de formação cidadã. **Metodologia** • Realização de ciclos de debates, seminários e rodas de conversa sobre desenvolvimento, economia, meio ambiente e justiça climática; • Produção de materiais educativos críticos sobre consumo, produção, desigualdades e impactos ambientais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Formação de educadores e lideranças comunitárias com enfoque em Educação Ambiental crítica; • Criação de espaços permanentes de diálogo entre poder público, sociedade civil e comunidade. **Prazos** • 6 meses: elaboração da metodologia crítica, articulação institucional e formação inicial dos mediadores. • 12 meses: execução regular das atividades educativas nos territórios. • 24 meses: consolidação da abordagem como eixo estruturante da política de educação ambiental do território.
Desenvolvimento de palestras periódicas que abordem reflexões sobre clima e desigualdade: "Quem sofre mais?"	Provocar reflexão crítica sobre as injustiças socioambientais e climáticas, evidenciando que os impactos das mudanças climáticas afetam de forma desigual as populações, especialmente comunidades vulneráveis, periféricas e com menor acesso a saneamento e infraestrutura.	**Espaço** Escolas públicas, universidades, centros comunitários, associações e auditórios públicos. **Metodologia** • Realização de ciclos de palestras temáticas por território: o Provocar reflexão crítica sobre as injustiças socioambientais e climáticas; o Refletir sobre o fato que os impactos das mudanças climáticas não atingem todos da mesma forma; o As populações vulneráveis, bairros periféricos e comunidades com

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		menor acesso a saneamento, água e infraestrutura sofrem mais. • Produção de materiais educativos sobre justiça climática; • Formação de multiplicadores locais. **Prazos** • 6 meses: elaboração dos conteúdos e articulação institucional. • 12 meses: realização das palestras. • 24 meses: incorporação do tema nos programas permanentes de educação ambiental.
Desenvolvimento de projeto intitulado "Da consciência à transformação", que buscam desenvolver práticas individuais e coletivas de sustentabilidade.	Conectar práticas individuais de sustentabilidade às ações coletivas e estruturais, fortalecendo a compreensão de que mudanças reais exigem organização social, participação política e transformação institucional.	**Espaço** Escolas, associações, centros comunitários, espaços culturais e fóruns participativos. **Metodologia** • Desenvolvimento de oficinas participativas; • Elaboração de planos de ação comunitários; • Formação de grupos de mobilização local; • Cada participante lista ações individuais que realiza e propõe formas de conectá-las a iniciativas coletivas, transformando hábitos em mudança estruturante; • Conectar consciência + ação transformadora; • Transformar a ideia de "fazer a nossa parte" em "fazer parte da mudança maior". **Prazos** • 6 meses: capacitação de facilitadores. • 12 meses: execução das oficinas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: fortalecimento das redes comunitárias de ação socioambiental.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental em Mudanças Climáticas		
DIRETRIZ – Promover a Educação Ambiental climática orientada à adaptação às condições do semiárido, à segurança hídrica e à redução da vulnerabilidade socioambiental das comunidades sertanejas.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Implementação de um ciclo de diálogos com especialistas em Políticas Públicas Ambientais.	Fortalecer a compreensão crítica da população sobre os mecanismos institucionais e políticos que orientam a gestão ambiental e climática, ampliando a capacidade de participação social e incidência cidadã na formulação e cobrança de políticas públicas.	**Espaço** Escolas, universidades, centros comunitários, auditórios públicos e plataformas digitais. **Metodologia** • Realização de ciclos de palestras e mesas-redondas temáticas; • Envolvimento de diferentes setores da sociedade (estudantes, lideranças comunitárias, educadores, gestores públicos); • Permite que os participantes entendam onde podem atuar para pressionar por transformações reais; • Convidar ambientalistas, professores ou representantes de ONGs para falar sobre políticas públicas e mudanças estruturais; • Produção de materiais de apoio e síntese dos debates para divulgação comunitária. **Prazos** • 6 meses: articulação de parcerias e planejamento dos encontros;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução contínua do ciclo de diálogos; • 24 meses: avaliação de impacto e institucionalização da ação como programa permanente.

Desenvolvimento de palestras periódicas que abordem reflexões sobre clima e desigualdade: “Quem sofre mais?”	Provocar reflexão crítica sobre as injustiças socioambientais e climáticas, evidenciando que os impactos das mudanças climáticas afetam de forma desigual as populações, especialmente comunidades vulneráveis, periféricas e com menor acesso a saneamento e infraestrutura.	**Espaço**
		Escolas públicas, universidades, centros comunitários, associações e auditórios públicos.
		
		Metodologia
		• Realização de ciclos de palestras temáticas por território:
		  ○ Provocar reflexão crítica sobre as injustiças socioambientais e climáticas;
		  ○ Refletir sobre o fato que os impactos das mudanças climáticas não atingem todos da mesma forma;
		  ○ As populações vulneráveis, bairros periféricos e comunidades com menor acesso a saneamento, água e infraestrutura sofrem mais.
		• Produção de materiais educativos sobre justiça climática;
		• Formação de multiplicadores locais.
		
		Prazos
		• 6 meses: elaboração dos conteúdos e articulação institucional;
		• 12 meses: realização das palestras;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: incorporação do tema nos programas permanentes de educação ambiental.
Desenvolvimento de Oficina de arte com resíduos sólidos e materiais recicláveis no Dia Nacional da Conscientização sobre as Mudanças Climáticas.	Integrar expressão artística e educação ambiental, estimulando a reflexão crítica sobre os efeitos das mudanças climáticas e promovendo a reutilização de resíduos como estratégia pedagógica e ambiental.	**Espaço** Escolas, praças, centros culturais, espaços comunitários e instituições públicas. **Metodologia** • Realização anual das oficinas no calendário ambiental; • Produção coletiva de obras artísticas com temática climática; • Exposição pública dos trabalhos em espaços de grande circulação; • Envolvimento de estudantes, artistas locais e comunidade. **Prazos** • 6 meses: planejamento e mobilização dos participantes; • 12 meses: execução das oficinas e exposições; • 24 meses: ampliação da ação para novos territórios e públicos.
Criação de um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Assegurar a efetiva implementação do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) e do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP-SE).	**Espaço** Os cursos temáticos serão feitos presencialmente, em auditórios e universidade públicas, e a distância, por meio de plataforma virtual. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		A capacitação ocorrerá em 8 (oito) cursos temáticos, que possuem a seguinte nomenclatura, carga horária, público-alvo, modalidade de ensino e meta de participantes: Curso 1 – Fundamentos de Mudanças Climáticas • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: geral; • Modalidade: presencial + EAD[2]; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 2 – Inventários de GEE • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: técnicos ambientais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 3 – Adaptação e Gestão de Riscos • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: Defesa Civil, saúde e planejamento; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 4 – Políticas de Mitigação Setoriais • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: técnicos setoriais; • Modalidade: presencial;

[2] EAD – Ensino a Distância.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Meta de participantes: 300 gestores. Curso 5 – Sistema MRV e Indicadores • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: monitoramento e avaliação; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 6 – Financiamento Climático • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: planejamento e finanças; • Modalidade: EAD e oficinas; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 7 – Planos Municipais de Ação Climática • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: equipes municipais; • Modalidade: presencial + consultoria; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 8 – Comunicação de Riscos Climáticos • Carga horária: 24 horas; • Público-alvo: comunicadores e educadores; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. **Prazos** • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.
Desenvolvimento de Oficinas de criação de soluções sustentáveis.	Estimular a criatividade, o pensamento crítico e o engajamento prático da população, demonstrando que a transformação socioambiental é possível a partir da construção coletiva de alternativas sustentáveis aplicáveis ao cotidiano.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações de moradores, universidades, espaços públicos e ambientais. **Metodologia** • Realização de oficinas temáticas periódicas; • Formação de grupos de trabalho multidisciplinares; • Desenvolvimento de propostas de soluções sustentáveis adequadas à realidade local; • Implantação piloto de pelo menos uma solução por território participante; • Socialização das experiências em eventos e encontros comunitários. **Prazos** • 6 meses: planejamento metodológico e mobilização dos participantes; • 12 meses: execução das oficinas e desenvolvimento das soluções; • 24 meses: acompanhamento, avaliação e expansão das iniciativas.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental em Mudanças Climáticas		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
DIRETRIZ – Integrar ações educativas voltadas aos impactos climáticos sobre os recursos hídricos, pesca e comunidades ribeirinhas, fortalecendo estratégias locais de adaptação e resiliência climática.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Mapeamento coletivo de problemas locais relacionados às mudanças climáticas.	Promover a compreensão coletiva dos desafios ambientais locais, fortalecendo o protagonismo comunitário e demonstrando que ações individuais, quando articuladas de forma coletiva e organizada, geram impactos ambientais mais significativos e duradouros.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, escolas, associações de moradores, territórios de atuação dos projetos e espaços públicos locais. **Metodologia** • Formação de grupos de diagnóstico comunitário por território; • Elaboração de mapas físicos e/ou digitais identificando pontos críticos como descarte irregular de resíduos, poluição, áreas degradadas e ausência de coleta seletiva; • Produção de relatórios comunitários com propostas de soluções coletivas; • Apresentação dos resultados em reuniões públicas e fóruns locais. **Prazos** • 6 meses: mobilização social, capacitação dos grupos e planejamento das atividades. • 12 meses: execução dos mapeamentos participativos e sistematização dos dados; • 24 meses: acompanhamento das soluções propostas e integração dos resultados às políticas e ações locais.
Implementação de um Programa de Consumo Consciente e Práticas de Baixo Carbono, estruturado por meio de campanhas educativas	Promover mudanças permanentes nos hábitos de consumo da população, estimulando práticas de baixo carbono no cotidiano, com foco na redução	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
contínuas, ações de incentivo institucional, plantios comunitários e oficinas práticas de reutilização e reaproveitamento de materiais.	da pegada ambiental por meio do consumo consciente, reutilização de materiais, diminuição da geração de resíduos e fortalecimento da cultura de responsabilidade socioambiental.	Escolas, comunidades, associações de bairro, unidades de saúde, espaços culturais, empresas, feiras livres e instituições públicas e privadas. **Metodologia** • Realizar campanhas educativas contínuas sobre consumo consciente e práticas de baixo carbono; • Implantar ações de incentivo ao uso de papel reciclado em pelo menos 50% das instituições públicas e privadas participantes; • Executar plantios comunitários de árvores nativas; • Desenvolver oficinas práticas de reutilização, reparo e reaproveitamento de materiais, envolvendo escolas e comunidades; • Promover a redução do uso de embalagens descartáveis e o estímulo ao consumo de produtos locais e duráveis; Realizar campanhas educativas sobre escolhas de consumo de baixo impacto, como redução de alimentos ultraprocessados e congelados. **Prazos** • 6 meses: planejamento das ações, produção de materiais educativos e formação de multiplicadores comunitários.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: execução contínua das campanhas, oficinas, mutirões de plantio e atividades comunitárias. • 36 meses: consolidação do programa, avaliação dos impactos e ampliação das ações para novos territórios.
Implementação do Programa “Separar, Reciclar e Compostar: Gestão de Resíduos para Redução de Emissões”, estruturado por meio de ações educativas contínuas, implantação de unidades demonstrativas de compostagem e formação de multiplicadores ambientais.	Promover a gestão adequada dos resíduos sólidos por meio da separação entre resíduos secos (recicláveis) e úmidos (orgânicos), incentivando a reciclagem e a compostagem como estratégias de redução de emissões de gases de efeito estufa, diminuição do volume de resíduos destinados a aterros e fortalecimento da consciência ambiental da população.	**Espaço** Escolas, universidades, comunidades, associações de moradores, empresas, feiras livres, mercados, órgãos públicos, centros comunitários e bairros. **Metodologia** • Realizar oficinas mensais de educação ambiental sobre reciclagem e compostagem; • Implantar unidades demonstrativas de compostagem em pelo menos 1 espaço por comunidade ou instituição; • Capacitar multiplicadores ambientais para orientar famílias e estabelecimentos. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico da gestão de resíduos, aquisição de equipamentos e formação de educadores ambientais; • 12 meses: implantação do sistema de separação, campanhas educativas e funcionamento das unidades de compostagem; • 24 meses: ampliação da cobertura do programa, consolidação das práticas e

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		avaliação contínua dos resultados ambientais.
Criação de um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Assegurar a efetiva implementação do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) e do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP-SE).	**Espaço** Os cursos temáticos serão feitos presencialmente, em auditórios e universidade públicas, e a distância, por meio de plataforma virtual. **Metodologia** A capacitação ocorrerá em 8 (oito) cursos temáticos, que possuem a seguinte nomenclatura, carga horária, público-alvo, modalidade de ensino e meta de participantes: Curso 1 – Fundamentos de Mudanças Climáticas • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: geral; • Modalidade: presencial + EAD[3]; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 2 – Inventários de GEE • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: técnicos ambientais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 3 – Adaptação e Gestão de Riscos • Carga horária: 60 horas;

[3] EAD – Ensino a Distância.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Público-alvo: Defesa Civil, saúde e planejamento; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 4 – Políticas de Mitigação Setoriais • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: técnicos setoriais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 5 – Sistema MRV e Indicadores • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: monitoramento e avaliação; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 6 – Financiamento Climático • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: planejamento e finanças; • Modalidade: EAD e oficinas; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 7 – Planos Municipais de Ação Climática • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: equipes municipais; • Modalidade: presencial + consultoria; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 8 – Comunicação de Riscos Climáticos

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Carga horária: 24 horas; • Público-alvo: comunicadores e educadores; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. **Prazos** • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos; • 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.
Implementação de um Programa de Educação Ambiental Crítica e Participação Social, estruturado por meio de debates, formações e materiais educativos.	Promover uma abordagem crítica da Educação Ambiental que problematize o modelo desenvolvimentista baseado no crescimento econômico a qualquer custo, estimulando a reflexão sobre seus impactos socioambientais, climáticos e territoriais, e fortalecendo a construção de alternativas sustentáveis, solidárias e socialmente justas.	**Espaço** Escolas, universidades, centros comunitários, associações, sindicatos, movimentos sociais, conselhos municipais e espaços públicos de formação cidadã. **Metodologia** • Realização de ciclos de debates, seminários e rodas de conversa sobre desenvolvimento, economia, meio ambiente e justiça climática; • Produção de materiais educativos críticos sobre consumo, produção, desigualdades e impactos ambientais; • Formação de educadores e lideranças comunitárias com enfoque em Educação Ambiental crítica; • Criação de espaços permanentes de diálogo entre poder público, sociedade civil e comunidade.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: elaboração da metodologia crítica, articulação institucional e formação inicial dos mediadores. • 12 meses: execução regular das atividades educativas nos territórios. • 24 meses: consolidação da abordagem como eixo estruturante da política de educação ambiental do território.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental em Mudanças Climáticas		
DIRETRIZ – Consolidar ações educativas voltadas à mitigação de emissões, eficiência ambiental e adaptação climática, articulando setor produtivo, escolas e gestão pública no território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Realização de rodas de conversa sobre responsabilidade ambiental.	Estimular a participação política e social da população na cobrança e no acompanhamento de políticas públicas de mitigação climática, saneamento, arborização urbana, gestão de resíduos e mobilidade sustentável, fortalecendo a compreensão de que a responsabilidade ambiental é coletiva, institucional e estrutural.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações de bairro, sindicatos, praças públicas, universidades e equipamentos culturais. **Metodologia** • Realização de ciclos periódicos de rodas de conversa nos territórios; • Elaboração de materiais de apoio sobre responsabilidade ambiental e políticas públicas; • Envolvimento de lideranças comunitárias, gestores públicos e representantes da sociedade civil:

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		○ Registro e sistematização das demandas levantadas pelas comunidades; ○ Mostrar que consciência ambiental deve levar à ação que vai além do individual • Discussão sobre como reciclar, economizar água e reduzir consumo são importantes, mas insuficientes sozinhos; • Sensibilizar que a responsabilidade ambiental não é só de cada um, mas de sistemas, empresas e governos. **Prazos** • 6 meses: organização metodológica e mobilização social; • 12 meses: execução contínua das rodas; • 24 meses: consolidação como ação permanente de educação ambiental cidadã.
Implementação de ações contínuas de Educação Ambiental sobre mudanças climáticas em espaços comunitários, centrada nas particularidades locais, a fim de desmistificar as mudanças climáticas e estimular a mudança de atitude na sociedade local.	Promover a compreensão da relação entre hábitos diários, padrões de consumo e mudanças climáticas, superando a percepção do problema como algo distante e abstrato, e estimulando atitudes individuais e coletivas voltadas à redução de emissões e à sustentabilidade.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações de moradores, unidades de saúde, praças públicas e demais espaços de convivência social do território. **Metodologia** • Realização de ciclos educativos permanentes sobre mudança climática no cotidiano; • Promoção de oficinas e rodas de conversa em comunidades urbanas e rurais; • Desenvolvimento de materiais educativos (cartilhas, banners, vídeos e spots de rádio);

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Formação de multiplicadores comunitários para continuidade das ações. **Prazos** • 6 meses: estruturação pedagógica, produção de materiais e articulação institucional; • 24 meses: execução contínua das ações educativas nos territórios; • 36 meses: consolidação da ação como política permanente de Educação Ambiental nos municípios.
Mapeamento coletivo de problemas locais relacionados às mudanças climáticas.	Promover a compreensão coletiva dos desafios ambientais locais, fortalecendo o protagonismo comunitário e demonstrando que ações individuais, quando articuladas de forma coletiva e organizada, geram impactos ambientais mais significativos e duradouros.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, escolas, associações de moradores, territórios de atuação dos projetos e espaços públicos locais. **Metodologia** • Formação de grupos de diagnóstico comunitário por território; • Elaboração de mapas físicos e/ou digitais identificando pontos críticos como descarte irregular de resíduos, poluição, áreas degradadas e ausência de coleta seletiva; • Produção de relatórios comunitários com propostas de soluções coletivas; • Apresentação dos resultados em reuniões públicas e fóruns locais. **Prazos** • 6 meses: mobilização social, capacitação dos grupos e planejamento das atividades.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução dos mapeamentos participativos e sistematização dos dados; • 24 meses: acompanhamento das soluções propostas e integração dos resultados às políticas e ações locais.
Implementação de um Programa de Promoção da Produção e do Consumo Sustentável nos territórios, por meio de campanhas educativas, capacitações práticas e ações demonstrativas, envolvendo produtores, comerciantes, consumidores e instituições locais.	Estimular a adoção de práticas sustentáveis de produção e consumo nos territórios, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa, para o uso eficiente dos recursos naturais e para a transição para uma economia de baixo carbono.	**Espaço** Unidades produtivas locais, associações de produtores, cooperativas, escolas, feiras, espaços comunitários, secretarias municipais, instituições de ensino. **Metodologia** • Realização de campanhas educativas sobre consumo consciente, redução de desperdício, reaproveitamento de materiais e economia circular; • Desenvolvimento de oficinas e capacitações com produtores, comerciantes e consumidores sobre práticas sustentáveis e de baixo impacto ambiental; • Implantação de ações demonstrativas de produção sustentável (agroecologia, reaproveitamento de resíduos, eficiência energética); • Criação de redes locais de troca de experiências e boas práticas sustentáveis. **Prazos** • 6 meses: planejamento das ações, mobilização dos atores locais e elaboração dos materiais educativos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das campanhas, oficinas e ações demonstrativas nos municípios; • 24 meses: consolidação das práticas sustentáveis como política pública permanente de incentivo à produção e ao consumo responsável nos territórios.
Criar um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Assegurar a efetiva implementação do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) e do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP-SE).	**Espaço** Os cursos temáticos serão feitos presencialmente, em auditórios e universidade públicas, e a distância, por meio de plataforma virtual. **Metodologia** A capacitação ocorrerá em 8 (oito) cursos temáticos, que possuem a seguinte nomenclatura, carga horária, público-alvo, modalidade de ensino e meta de participantes: Curso 1 – Fundamentos de Mudanças Climáticas • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: geral; • Modalidade: presencial + EAD[4]; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 2 – Inventários de GEE • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: técnicos ambientais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores.

[4] EAD – Ensino a Distância.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Curso 3 – Adaptação e Gestão de Riscos • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: Defesa Civil, saúde e planejamento; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 4 – Políticas de Mitigação Setoriais • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: técnicos setoriais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 5 – Sistema MRV e Indicadores • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: monitoramento e avaliação; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 6 – Financiamento Climático • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: planejamento e finanças; • Modalidade: EAD e oficinas; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 7 – Planos Municipais de Ação Climática • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: equipes municipais; • Modalidade: presencial + consultoria;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Meta de participantes: 300 gestores. Curso 8 – Comunicação de Riscos Climáticos • Carga horária: 24 horas; • Público-alvo: comunicadores e educadores; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. **Prazos** • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos; • 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.
Implementação do Programa “Separar, Reciclar e Compostar: Gestão de Resíduos para Redução de Emissões”, estruturado por meio de ações educativas contínuas, implantação de unidades demonstrativas de compostagem e formação de multiplicadores ambientais.	Promover a gestão adequada dos resíduos sólidos por meio da separação entre resíduos secos (recicláveis) e úmidos (orgânicos), incentivando a reciclagem e a compostagem como estratégias de redução de emissões de gases de efeito estufa, diminuição do volume de resíduos destinados a aterros e fortalecimento da consciência ambiental da população.	**Espaço** Escolas, universidades, comunidades, associações de moradores, empresas, feiras livres, mercados, órgãos públicos, centros comunitários e bairros. **Metodologia** • Realizar oficinas mensais de educação ambiental sobre reciclagem e compostagem; • Implantar unidades demonstrativas de compostagem em pelo menos 1 espaço por comunidade ou instituição; • Capacitar multiplicadores ambientais para orientar famílias e estabelecimentos. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: diagnóstico da gestão de resíduos, aquisição de equipamentos e formação de educadores ambientais; • 12 meses: implantação do sistema de separação, campanhas educativas e funcionamento das unidades de compostagem; • 24 meses: ampliação da cobertura do programa, consolidação das práticas e avaliação contínua dos resultados ambientais.
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental em Mudanças Climáticas		
DIRETRIZ – Promover a Educação Ambiental climática no contexto urbano e metropolitano, integrando justiça climática, mitigação de emissões, adaptação às ilhas de calor e fortalecimento do protagonismo juvenil.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Realização de oficinas formativas voltadas à compreensão crítica das políticas públicas ambientais e do papel das mudanças estruturais na mitigação das mudanças climáticas e na promoção da sustentabilidade socioambiental.	Promover a análise e a compreensão dos instrumentos de políticas públicas relacionados à mitigação climática, saneamento básico, arborização urbana, gestão de resíduos sólidos e mobilidade sustentável, fortalecendo a percepção de que a transformação ambiental exige mudanças estruturais, institucionais e normativas, e não apenas ações individuais.	**Espaço** Escolas públicas, universidades, centros comunitários, conselhos municipais, associações de bairro e órgãos públicos. **Metodologia** • Realização de ciclos de oficinas temáticas por território; • Elaboração de materiais didáticos sobre políticas públicas ambientais; • Envolvimento de gestores públicos, educadores, lideranças comunitárias e estudantes;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Produção de relatórios participativos com diagnósticos e propostas de melhoria das políticas locais. **Prazos** • 6 meses: elaboração da metodologia, materiais e articulação institucional; • 12 meses: execução das oficinas nos territórios; • 24 meses: consolidação da ação como programa permanente de formação socioambiental.
Mapeamento coletivo de problemas locais relacionados às mudanças climáticas.	Promover a compreensão coletiva dos desafios ambientais locais, fortalecendo o protagonismo comunitário e demonstrando que ações individuais, quando articuladas de forma coletiva e organizada, geram impactos ambientais mais significativos e duradouros.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, escolas, associações de moradores, territórios de atuação dos projetos e espaços públicos locais. **Metodologia** • Formação de grupos de diagnóstico comunitário por território; • Elaboração de mapas físicos e/ou digitais identificando pontos críticos como descarte irregular de resíduos, poluição, áreas degradadas e ausência de coleta seletiva; • Produção de relatórios comunitários com propostas de soluções coletivas; • Apresentação dos resultados em reuniões públicas e fóruns locais. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: mobilização social, capacitação dos grupos e planejamento das atividades. • 12 meses: execução dos mapeamentos participativos e sistematização dos dados.
Criação de uma Ação Formativa sobre Sociedade de Baixo Carbono, voltada à capacitação de educadores, gestores públicos, lideranças comunitárias e agentes sociais, por meio de cursos, módulos formativos, seminários territoriais e materiais educativos.	Contribuir para a formação de uma base social, técnica e institucional capaz de compreender, dialogar e fortalecer iniciativas voltadas à transição para uma sociedade de baixa emissão de carbono no Brasil, promovendo a integração entre educação, políticas públicas, práticas sustentáveis e inovação socioambiental.	**Espaço** Escolas, universidades, centros de formação de professores, secretarias municipais e estaduais, organizações da sociedade civil, espaços comunitários e plataformas digitais. **Metodologia** • Desenvolvimento e implementação de cursos e módulos formativos sobre sociedade de baixo carbono; • Formação continuada de educadores, gestores públicos, lideranças comunitárias e agentes sociais; • Realização de seminários territoriais sobre transição energética, mobilidade sustentável, consumo responsável e economia de baixo carbono; • Produção de materiais educativos e metodológicos para apoio às ações formativas nos municípios. **Prazos** • 6 meses: elaboração do conteúdo formativo, articulação institucional e planejamento do programa; • 12 meses: execução dos cursos, seminários e formações nos territórios;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: consolidação do programa como política permanente de educação ambiental para a transição climática.

Desenvolvimento de palestras periódicas que abordem reflexões sobre clima e desigualdade: “Quem sofre mais?”	Provocar reflexão crítica sobre as injustiças socioambientais e climáticas, evidenciando que os impactos das mudanças climáticas afetam de forma desigual as populações, especialmente comunidades vulneráveis, periféricas e com menor acesso a saneamento e infraestrutura.	**Espaço**
		Escolas públicas, universidades, centros comunitários, associações e auditórios públicos.
		
		Metodologia
		• Realização de ciclos de palestras temáticas por território:
		  ○ Provocar reflexão crítica sobre as injustiças socioambientais e climáticas;
		  ○ Refletir sobre o fato que os impactos das mudanças climáticas não atingem todos da mesma forma;
		  ○ As populações vulneráveis, bairros periféricos e comunidades com menor acesso a saneamento, água e infraestrutura sofrem mais.
		• Produção de materiais educativos sobre justiça climática;
		• Formação de multiplicadores locais.
		
		Prazos
		• 6 meses: elaboração dos conteúdos e articulação institucional.
		• 12 meses: realização das palestras.
		• 24 meses: incorporação do tema nos programas permanentes de educação ambiental.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Promover debate sobre “como podemos melhorar o transporte público de nossa cidade”, com a participação da comunidade e de líderes políticos.	Estimular a participação cidadã na construção de soluções para a mobilidade urbana sustentável, promovendo o diálogo entre comunidade, gestores públicos e lideranças políticas sobre melhorias no transporte público como estratégia fundamental para a redução de emissões de gases de efeito estufa, inclusão social e melhoria da qualidade de vida.	**Espaço** Escolas, universidades, câmaras municipais, associações comunitárias, centros culturais, praças públicas e plataformas digitais de participação social. **Metodologia** • Realizar debates públicos anuais por município sobre transporte e mudanças climáticas; • Desenvolver pesquisa participativa por território envolvendo moradores, estudantes e trabalhadores; • Elaborar e divulgar relatório comunitário com propostas de melhoria do transporte público; • Promover audiências públicas e rodas de diálogo com a presença de gestores, vereadores, técnicos e representantes da sociedade civil; • Criar um banco de propostas comunitárias sobre mobilidade sustentável. **Prazos** • 6 meses: mobilização comunitária, articulação institucional e construção participativa dos instrumentos de pesquisa; • 12 meses: realização dos debates, aplicação da pesquisa e sistematização das propostas; • 24 meses: encaminhamento das propostas aos órgãos públicos, acompanhamento das

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		políticas e avaliação dos impactos sociais e ambientais.
Implementar campanha de conscientização denominada "Mobilidade Consciente: Caminhar, Pedalar e Reduzir Emissões".	Sensibilizar a mudança de hábitos de deslocamento da população, incentivando a redução do uso do automóvel individual e a adoção de meios de transporte de baixo carbono como caminhada e bicicleta como estratégia de mitigação das mudanças climáticas, melhoria da saúde pública e fortalecimento da qualidade de vida urbana.	**Espaço** Escolas, universidades, bairros, centros comunitários, empresas, vias públicas, ciclovias, parques urbanos e áreas de convivência. **Metodologia** • Implementar campanhas educativas permanentes sobre mobilidade ativa; • Realizar oficinas e palestras trimestrais sobre os benefícios ambientais e de saúde da caminhada e do uso da bicicleta; • Criar eventos anuais de mobilização, como "Dia Sem Carro" e "Pedale pelo Clima". **Prazos** • 6 meses: planejamento das campanhas, mapeamento de trajetos seguros e parcerias institucionais; • 12 meses: execução contínua das ações educativas e eventos públicos; • 24 meses: consolidação da política local de incentivo à mobilidade sustentável e avaliação dos impactos ambientais e sociais.
Implementação do Programa "Separar, Reciclar e Compostar: Gestão de Resíduos para Redução de Emissões", estruturado por meio de ações educativas contínuas, implantação de unidades demonstrativas de compostagem e formação de multiplicadores ambientais.	Promover a gestão adequada dos resíduos sólidos por meio da separação entre resíduos secos (recicláveis) e úmidos (orgânicos), incentivando a reciclagem e a compostagem como estratégias de redução de emissões de gases de efeito estufa, diminuição do volume de resíduos destinados a	**Espaço** Escolas, universidades, comunidades, associações de moradores, empresas, feiras livres, mercados, órgãos públicos, centros comunitários e bairros. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	aterros e fortalecimento da consciência ambiental da população.	• Realizar oficinas mensais de educação ambiental sobre reciclagem e compostagem; • Implantar unidades demonstrativas de compostagem em pelo menos 1 espaço por comunidade ou instituição; • Capacitar multiplicadores ambientais para orientar famílias e estabelecimentos. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico da gestão de resíduos, aquisição de equipamentos e formação de educadores ambientais; • 12 meses: implantação do sistema de separação, campanhas educativas e funcionamento das unidades de compostagem; • 24 meses: ampliação da cobertura do programa, consolidação das práticas e avaliação contínua dos resultados ambientais.
Criar um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Assegurar a efetiva implementação do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) e do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP-SE).	**Espaço** Os cursos temáticos serão feitos presencialmente, em auditórios e universidade públicas, e a distância, por meio de plataforma virtual. **Metodologia** A capacitação ocorrerá em 8 (oito) cursos temáticos, que possuem a seguinte nomenclatura, carga horária, público-alvo, modalidade de ensino e meta de participantes:

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Curso 1 – Fundamentos de Mudanças Climáticas • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: geral; • Modalidade: presencial + EAD[5]; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 2 – Inventários de GEE • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: técnicos ambientais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 3 – Adaptação e Gestão de Riscos • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: Defesa Civil, saúde e planejamento; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 4 – Políticas de Mitigação Setoriais • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: técnicos setoriais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 5 – Sistema MRV e Indicadores • Carga horária: 40 horas;

[5] EAD – Ensino a Distância.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Público-alvo: monitoramento e avaliação; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 6 – Financiamento Climático • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: planejamento e finanças; • Modalidade: EAD e oficinas; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 7 – Planos Municipais de Ação Climática • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: equipes municipais; • Modalidade: presencial + consultoria; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 8 – Comunicação de Riscos Climáticos • Carga horária: 24 horas; • Público-alvo: comunicadores e educadores; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. **Prazos** • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos; • 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Implementação de um Programa de Educação Ambiental Crítica e Participação Social, estruturado por meio de debates, formações e materiais educativos.	Promover uma abordagem crítica da Educação Ambiental que problematize o modelo desenvolvimentista baseado no crescimento econômico a qualquer custo, estimulando a reflexão sobre seus impactos socioambientais, climáticos e territoriais, e fortalecendo a construção de alternativas sustentáveis, solidárias e socialmente justas.	**Espaço** Escolas, universidades, centros comunitários, associações, sindicatos, movimentos sociais, conselhos municipais e espaços públicos de formação cidadã. **Metodologia** • Realização de ciclos de debates, seminários e rodas de conversa sobre desenvolvimento, economia, meio ambiente e justiça climática; • Produção de materiais educativos críticos sobre consumo, produção, desigualdades e impactos ambientais; • Formação de educadores e lideranças comunitárias com enfoque em Educação Ambiental crítica; • Criação de espaços permanentes de diálogo entre poder público, sociedade civil e comunidade. **Prazos** • 6 meses: elaboração da metodologia crítica, articulação institucional e formação inicial dos mediadores. • 12 meses: execução regular das atividades educativas nos territórios. • 24 meses: consolidação da abordagem como eixo estruturante da política de educação ambiental do território.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		

TERRITÓRIOS/EIXOS		
EIXO – Educação Ambiental em Mudanças Climáticas		
DIRETRIZ – Fortalecer ações educativas voltadas à adaptação climática em áreas costeiras, proteção dos ecossistemas naturais e redução da vulnerabilidade socioambiental associada às mudanças do clima.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Implementação de um Programa de Eficiência Energética no Setor Produtivo, estruturado por meio da realização de diagnósticos energéticos, elaboração e execução de planos de eficiência, capacitação de gestores e equipes técnicas e estabelecimento de metas de redução do consumo de energia.	Estimular empresas e instituições produtivas a assumirem compromissos concretos de redução das emissões de gases de efeito estufa, por meio da implementação de práticas de eficiência energética, uso racional de recursos e adoção de tecnologias sustentáveis, contribuindo para a transição para uma economia de baixo carbono.	**Espaço** Empresas privadas, indústrias, comércios, cooperativas, prestadores de serviço, órgãos públicos e parques industriais dos municípios participantes. **Metodologia** • Elaboração de planos de eficiência energética em cada empresa participante; • Estabelecimento de compromisso formal de redução mínima de 10% do consumo de energia no período de 12 meses; • Realização de diagnósticos energéticos simplificados em todas as empresas participantes; • Capacitação de gestores e equipes técnicas em consumo eficiente de energia, manutenção de equipamentos e uso de fontes renováveis; **Prazos** • 6 meses: mobilização do setor empresarial, capacitações iniciais e realização dos diagnósticos energéticos; • 12 meses: implementação dos planos de redução e monitoramento dos indicadores de consumo;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: consolidação do programa, avaliação dos resultados e ampliação para novos setores produtivos.
Criação de uma Ação Formativa sobre Sociedade de Baixo Carbono, voltada à capacitação de educadores, gestores públicos, lideranças comunitárias e agentes sociais, por meio de cursos, módulos formativos, seminários territoriais e materiais educativos.	Contribuir para a formação de uma base social, técnica e institucional capaz de compreender, dialogar e fortalecer iniciativas voltadas à transição para uma sociedade de baixa emissão de carbono no Brasil, promovendo a integração entre educação, políticas públicas, práticas sustentáveis e inovação socioambiental.	**Espaço** Escolas, universidades, centros de formação de professores, secretarias municipais e estaduais, organizações da sociedade civil, espaços comunitários e plataformas digitais. **Metodologia** • Desenvolvimento e implementação de cursos e módulos formativos sobre sociedade de baixo carbono; • Formação continuada de educadores, gestores públicos, lideranças comunitárias e agentes sociais; • Realização de seminários territoriais sobre transição energética, mobilidade sustentável, consumo responsável e economia de baixo carbono; • Produção de materiais educativos e metodológicos para apoio às ações formativas nos municípios. **Prazos** • 6 meses: elaboração do conteúdo formativo, articulação institucional e planejamento do programa. • 12 meses: execução dos cursos, seminários e formações nos territórios.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: consolidação do programa como política permanente de educação ambiental para a transição climática.
Implementação de um programa intitulado “Clima no cotidiano: Educação Ambiental para aproximação social da Mudanças Climáticas”.	Reformular a abordagem da temática das Mudanças Climáticas, tornando o conceito científico acessível, compreensível e socialmente significativo para a população, estabelecendo vínculos emocionais, culturais e territoriais que permitam sua compreensão como um problema concreto, presente e diretamente relacionado à vida cotidiana das pessoas.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações de moradores, unidades de saúde, espaços públicos, equipamentos culturais e plataformas digitais dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de ciclos de oficinas educativas e rodas de diálogo sobre clima e cotidiano; • Desenvolvimento de materiais didáticos populares (cartilhas, vídeos, exposições interativas); • Promoção de atividades pedagógicas baseadas em situações reais do território (secas, enchentes, calor extremo, insegurança alimentar); • Formação de multiplicadores comunitários para disseminação do tema. **Prazos** • 6 meses: construção metodológica, produção de materiais e capacitação inicial dos educadores. • 12 meses: implementação contínua das atividades nos territórios. • 24 meses: consolidação da abordagem como política permanente de educação ambiental climática.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Implementação de um Programa de Educação Ambiental Crítica e Participação Social, estruturado por meio de debates, formações e materiais educativos.	Promover uma abordagem crítica da Educação Ambiental que problematize o modelo desenvolvimentista baseado no crescimento econômico a qualquer custo, estimulando a reflexão sobre seus impactos socioambientais, climáticos e territoriais, e fortalecendo a construção de alternativas sustentáveis, solidárias e socialmente justas.	**Espaço** Escolas, universidades, centros comunitários, associações, sindicatos, movimentos sociais, conselhos municipais e espaços públicos de formação cidadã. **Metodologia** • Realização de ciclos de debates, seminários e rodas de conversa sobre desenvolvimento, economia, meio ambiente e justiça climática; • Produção de materiais educativos críticos sobre consumo, produção, desigualdades e impactos ambientais; • Formação de educadores e lideranças comunitárias com enfoque em Educação Ambiental crítica; • Criação de espaços permanentes de diálogo entre poder público, sociedade civil e comunidade. **Prazos** • 6 meses: elaboração da metodologia crítica, articulação institucional e formação inicial dos mediadores; • 12 meses: execução regular das atividades educativas nos territórios; • 24 meses: consolidação da abordagem como eixo estruturante da política de educação ambiental do território.
Criar um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as	Assegurar a efetiva implementação do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Climáticas (PEMAMC-SE) e do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP-SE).	Os cursos temáticos serão feitos presencialmente, em auditórios e universidade públicas, e a distância, por meio de plataforma virtual. **Metodologia** A capacitação ocorrerá em 8 (oito) cursos temáticos, que possuem a seguinte nomenclatura, carga horária, público-alvo, modalidade de ensino e meta de participantes: Curso 1 – Fundamentos de Mudanças Climáticas • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: geral; • Modalidade: presencial + EAD[6]; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 2 – Inventários de GEE • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: técnicos ambientais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 3 – Adaptação e Gestão de Riscos • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: Defesa Civil, saúde e planejamento; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores.

[6] EAD – Ensino a Distância.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Curso 4 – Políticas de Mitigação Setoriais • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: técnicos setoriais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 5 – Sistema MRV e Indicadores • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: monitoramento e avaliação; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 6 – Financiamento Climático • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: planejamento e finanças; • Modalidade: EAD e oficinas; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 7 – Planos Municipais de Ação Climática • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: equipes municipais; • Modalidade: presencial + consultoria; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 8 – Comunicação de Riscos Climáticos • Carga horária: 24 horas; • Público-alvo: comunicadores e educadores; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos; • 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.
Implementação do Programa “Separar, Reciclar e Compostar: Gestão de Resíduos para Redução de Emissões”, estruturado por meio de ações educativas contínuas, implantação de unidades demonstrativas de compostagem e formação de multiplicadores ambientais.	Promover a gestão adequada dos resíduos sólidos por meio da separação entre resíduos secos (recicláveis) e úmidos (orgânicos), incentivando a reciclagem e a compostagem como estratégias de redução de emissões de gases de efeito estufa, diminuição do volume de resíduos destinados a aterros e fortalecimento da consciência ambiental da população.	**Espaço** Escolas, universidades, comunidades, associações de moradores, empresas, feiras livres, mercados, órgãos públicos, centros comunitários e bairros. **Metodologia** • Realizar oficinas mensais de educação ambiental sobre reciclagem e compostagem; • Implantar unidades demonstrativas de compostagem em pelo menos 1 espaço por comunidade ou instituição; • Capacitar multiplicadores ambientais para orientar famílias e estabelecimentos. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico da gestão de resíduos, aquisição de equipamentos e formação de educadores ambientais; • 12 meses: implantação do sistema de separação, campanhas educativas e funcionamento das unidades de compostagem;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: ampliação da cobertura do programa, consolidação das práticas e avaliação contínua dos resultados ambientais.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental em Mudanças Climáticas		
DIRETRIZ – Desenvolver ações educativas voltadas à adaptação climática no semiárido, conservação dos recursos naturais e fortalecimento da resiliência das comunidades rurais.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Oficina sobre políticas públicas e mudança estrutural: Realização de oficinas formativas voltadas à compreensão crítica das políticas públicas ambientais e do papel das mudanças estruturais na mitigação das mudanças climáticas e na promoção da sustentabilidade socioambiental.	Promover a análise e a compreensão dos instrumentos de políticas públicas relacionados à mitigação climática, saneamento básico, arborização urbana, gestão de resíduos sólidos e mobilidade sustentável, fortalecendo a percepção de que a transformação ambiental exige mudanças estruturais, institucionais e normativas, e não apenas ações individuais.	**Espaço** Escolas públicas, universidades, centros comunitários, conselhos municipais, associações de bairro e órgãos públicos. **Metodologia** • Realização de ciclos de oficinas temáticas por território; • Elaboração de materiais didáticos sobre políticas públicas ambientais; • Envolvimento de gestores públicos, educadores, lideranças comunitárias e estudantes; • Produção de relatórios participativos com diagnósticos e propostas de melhoria das políticas locais. **Prazos** • 6 meses: elaboração da metodologia, materiais e articulação institucional;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das oficinas nos territórios; • 24 meses: consolidação da ação como programa permanente de formação socioambiental.
Mapeamento coletivo de problemas locais relacionados às mudanças climáticas.	Promover a compreensão coletiva dos desafios ambientais locais, fortalecendo o protagonismo comunitário e demonstrando que ações individuais, quando articuladas de forma coletiva e organizada, geram impactos ambientais mais significativos e duradouros.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, escolas, associações de moradores, territórios de atuação dos projetos e espaços públicos locais. **Metodologia** • Formação de grupos de diagnóstico comunitário por território; • Elaboração de mapas físicos e/ou digitais identificando pontos críticos como descarte irregular de resíduos, poluição, áreas degradadas e ausência de coleta seletiva; • Produção de relatórios comunitários com propostas de soluções coletivas; • Apresentação dos resultados em reuniões públicas e fóruns locais. **Prazos** • 6 meses: mobilização social, capacitação dos grupos e planejamento das atividades. • 12 meses: execução dos mapeamentos participativos e sistematização dos dados. • 24 meses: acompanhamento das soluções propostas e integração dos resultados às políticas e ações locais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Criar um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Assegurar a efetiva implementação do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) e do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP-SE).	**Espaço** Os cursos temáticos serão feitos presencialmente, em auditórios e universidade públicas, e a distância, por meio de plataforma virtual. **Metodologia** A capacitação ocorrerá em 8 (oito) cursos temáticos, que possuem a seguinte nomenclatura, carga horária, público-alvo, modalidade de ensino e meta de participantes: Curso 1 – Fundamentos de Mudanças Climáticas • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: geral; • Modalidade: presencial + EAD[7]; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 2 – Inventários de GEE • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: técnicos ambientais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 3 – Adaptação e Gestão de Riscos • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: Defesa Civil, saúde e planejamento; • Modalidade: presencial;

[7] EAD – Ensino a Distância.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Meta de participantes: 155 gestores. Curso 4 – Políticas de Mitigação Setoriais • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: técnicos setoriais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 5 – Sistema MRV e Indicadores • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: monitoramento e avaliação; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 6 – Financiamento Climático • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: planejamento e finanças; • Modalidade: EAD e oficinas; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 7 – Planos Municipais de Ação Climática • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: equipes municipais; • Modalidade: presencial + consultoria; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 8 – Comunicação de Riscos Climáticos • Carga horária: 24 horas; • Público-alvo: comunicadores e educadores; • Modalidade: EAD;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Meta de participantes: 155 gestores. **Prazos** • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos; • 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.
Desenvolvimento de atividades voltadas à sensibilização da população sobre a importância de políticas públicas, da legislação ambiental e dos mecanismos de regulação para o combate às mudanças climáticas.	Fortalecer o entendimento da população sobre como as políticas públicas, a legislação ambiental e os mecanismos de regulação são determinantes para gerar impactos socioambientais reais, estruturantes e de longo prazo, superando a visão limitada de que a sustentabilidade depende exclusivamente de comportamentos individuais.	**Espaço** Escolas, universidades, centros comunitários, câmaras municipais, conselhos ambientais, associações de moradores e espaços públicos de formação cidadã. **Metodologia** • Realização de seminários, ciclos de debates e encontros formativos por território; • Produção de materiais educativos simplificados sobre legislação e políticas ambientais; • Participação de gestores públicos, lideranças comunitárias, educadores e estudantes; • Elaboração de cartas de compromisso e propostas comunitárias para aprimoramento das políticas ambientais locais. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico, elaboração de materiais e articulação institucional;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução das ações formativas e mobilização social nos territórios; • 24 meses: consolidação da ação como política permanente de educação para a cidadania ambiental.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental em Mudanças Climáticas		
DIRETRIZ – Integrar ações educativas voltadas à mitigação de emissões e adaptação climática em áreas costeiras e turísticas, fortalecendo a proteção ambiental e o desenvolvimento territorial sustentável.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Mapeamento coletivo de problemas locais relacionados às mudanças climáticas.	Promover a compreensão coletiva dos desafios ambientais locais, fortalecendo o protagonismo comunitário e demonstrando que ações individuais, quando articuladas de forma coletiva e organizada, geram impactos ambientais mais significativos e duradouros.	**Espaço** Comunidades urbanas e rurais, escolas, associações de moradores, territórios de atuação dos projetos e espaços públicos locais. **Metodologia** • Formação de grupos de diagnóstico comunitário por território; • Elaboração de mapas físicos e/ou digitais identificando pontos críticos como descarte irregular de resíduos, poluição, áreas degradadas e ausência de coleta seletiva; • Produção de relatórios comunitários com propostas de soluções coletivas; • Apresentação dos resultados em reuniões públicas e fóruns locais. **Prazos** • 6 meses: mobilização social, capacitação dos grupos e planejamento das atividades.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução dos mapeamentos participativos e sistematização dos dados. • 24 meses: acompanhamento das soluções propostas e integração dos resultados às políticas e ações locais.
Realização de mutirões comunitários de revitalização ambiental.	Promover a participação social ativa na melhoria do ambiente local, fortalecendo o senso de pertencimento, responsabilidade coletiva e corresponsabilidade pela conservação ambiental, além de transformar o diagnóstico dos problemas ambientais em ações concretas e visíveis no território.	**Espaço** Praças públicas, áreas verdes urbanas, terrenos comunitários, escolas, margens de cursos d'água, bairros e comunidades atendidas pelo projeto. **Metodologia** • Realização de mutirões periódicos de limpeza e recuperação ambiental; • Implantação de hortas comunitárias e espaços verdes educativos; • Plantio de espécies nativas e frutíferas adequadas ao território; • Envolvimento de moradores, escolas, associações e organizações locais em todas as etapas; • Criar um mapa físico ou digital mostrando os pontos críticos e possíveis soluções coletivas; • Registro e monitoramento das áreas recuperadas. **Prazos** • 6 meses: mobilização comunitária, planejamento dos mutirões e articulação de parcerias;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução contínua dos mutirões e implantação das ações de recuperação; • 24 meses: acompanhamento, manutenção dos espaços revitalizados e consolidação das práticas como ações permanentes da comunidade.
Implementação do Programa “Separar, Reciclar e Compostar: Gestão de Resíduos para Redução de Emissões”, estruturado por meio de ações educativas contínuas, implantação de unidades demonstrativas de compostagem e formação de multiplicadores ambientais.	Promover a gestão adequada dos resíduos sólidos por meio da separação entre resíduos secos (recicláveis) e úmidos (orgânicos), incentivando a reciclagem e a compostagem como estratégias de redução de emissões de gases de efeito estufa, diminuição do volume de resíduos destinados a aterros e fortalecimento da consciência ambiental da população.	**Espaço** Escolas, universidades, comunidades, associações de moradores, empresas, feiras livres, mercados, órgãos públicos, centros comunitários e bairros. **Metodologia** • Realizar oficinas mensais de educação ambiental sobre reciclagem e compostagem; • Implantar unidades demonstrativas de compostagem em pelo menos 1 espaço por comunidade ou instituição; • Capacitar multiplicadores ambientais para orientar famílias e estabelecimentos. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico da gestão de resíduos, aquisição de equipamentos e formação de educadores ambientais; • 12 meses: implantação do sistema de separação, campanhas educativas e funcionamento das unidades de compostagem; • 24 meses: ampliação da cobertura do programa, consolidação das práticas e

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		avaliação contínua dos resultados ambientais.
Criação de um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Assegurar a efetiva implementação do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) e do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP-SE).	**Espaço** Os cursos temáticos serão feitos presencialmente, em auditórios e universidade públicas, e a distância, por meio de plataforma virtual. **Metodologia** A capacitação ocorrerá em 8 (oito) cursos temáticos, que possuem a seguinte nomenclatura, carga horária, público-alvo, modalidade de ensino e meta de participantes: Curso 1 – Fundamentos de Mudanças Climáticas • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: geral; • Modalidade: presencial + EAD[8]; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 2 – Inventários de GEE • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: técnicos ambientais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 3 – Adaptação e Gestão de Riscos • Carga horária: 60 horas;

[8] EAD – Ensino a Distância.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Público-alvo: Defesa Civil, saúde e planejamento; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 4 – Políticas de Mitigação Setoriais • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: técnicos setoriais; • Modalidade: presencial; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 5 – Sistema MRV e Indicadores • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: monitoramento e avaliação; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 6 – Financiamento Climático • Carga horária: 40 horas; • Público-alvo: planejamento e finanças; • Modalidade: EAD e oficinas; • Meta de participantes: 155 gestores. Curso 7 – Planos Municipais de Ação Climática • Carga horária: 60 horas; • Público-alvo: equipes municipais; • Modalidade: presencial + consultoria; • Meta de participantes: 300 gestores. Curso 8 – Comunicação de Riscos Climáticos

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Carga horária: 24 horas; • Público-alvo: comunicadores e educadores; • Modalidade: EAD; • Meta de participantes: 155 gestores. **Prazos** • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos; • 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.
Realização de rodas de conversa sobre responsabilidade ambiental.	Estimular a participação política e social da população na cobrança e no acompanhamento de políticas públicas de mitigação climática, saneamento, arborização urbana, gestão de resíduos e mobilidade sustentável, fortalecendo a compreensão de que a responsabilidade ambiental é coletiva, institucional e estrutural.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações de bairro, sindicatos, praças públicas, universidades e equipamentos culturais. **Metodologia** • Realização de ciclos periódicos de rodas de conversa nos territórios; • Elaboração de materiais de apoio sobre responsabilidade ambiental e políticas públicas; • Envolvimento de lideranças comunitárias, gestores públicos e representantes da sociedade civil: • Registro e sistematização das demandas levantadas pelas comunidades.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Mostrar que consciência ambiental deve levar à ação que vai além do individual; • Discussão sobre como reciclar, economizar água e reduzir consumo são importantes, mas insuficientes sozinhos; • Sensibilizar que a responsabilidade ambiental não é só de cada um, mas de sistemas, empresas e governos. **Prazos** • 6 meses: organização metodológica e mobilização social; • 12 meses: execução contínua das rodas; • 24 meses: consolidação como ação permanente de educação ambiental cidadã.

Fonte: Os autores.

1.16 EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

O termo biodiversidade, ou diversidade biológica, deriva do grego *bios*, que significa vida, e refere-se à variedade de formas de vida existentes na Terra. A biodiversidade abrange todas as espécies de seres vivos, desde organismos microscópicos, como bactérias e fungos, até grandes vertebrados, incluindo o próprio ser humano. Representa, portanto, o conjunto da vida presente nos diferentes ambientes do planeta, como montanhas, florestas, rios, oceanos e demais ecossistemas.

A biodiversidade manifesta-se em diferentes níveis de organização biológica, compreendendo a diversidade genética, a diversidade de espécies e a diversidade de ecossistemas. Além disso, inclui os processos ecológicos e evolutivos que sustentam a vida, como a polinização, a ciclagem de nutrientes, as relações tróficas e a regulação climática, os quais são fundamentais para o equilíbrio ambiental e a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais à sociedade (BARBIERI, 2010).

A criação do termo biodiversidade foi um marco importante, pois permitiu a articulação de uma causa urgente: a extinção da diversidade biológica (RABY, 2017). Pelo fato desse termo comunicar claramente a importância da variedade biológica, incluindo seu valor intrínseco e os benefícios para a humanidade (FAITH, 2021), passou a ser utilizado em diferentes esferas, se tornando a unidade básica da biologia da conservação (RABY, 2017).

O Brasil, reconhecido pela sua megabiodiversidade, possui a maior cobertura de florestas tropicais e a flora mais rica do mundo, além de abrigar uma fauna igualmente importante. Abriga diversos biomas terrestres e aquáticos onde se expressa frequentemente, de forma endêmica, o mais vasto e diversificado conjunto de espécies do planeta. De fato, as plantas terrestres encontradas no território brasileiro correspondem a cerca de 10% das espécies descritas (CHEEK et al., 2020), enquanto a fauna está entre as mais diversas do planeta. A “Avaliação do Estado do Conhecimento da Diversidade Biológica Brasileira”, publicada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2006), indica que o País abriga 13,2% da biota mundial. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o Brasil abriga a maior diversidade biológica entre os 17 países megadiversos que, juntos, detêm mais de 70% da biodiversidade.

A biodiversidade de Sergipe é rica e diversa, apesar de ser o menor estado do Brasil, abrigando os biomas Mata Atlântica (cobrindo mais da metade do território, com florestas densas e remanescentes importantes como o Refúgio Mata do Junco, lar do guigó-de-Sergipe) e Caatinga (no sertão, com cactáceas e fauna adaptada, como em Grota

do Angico). Ecossistemas como manguezais, restingas e áreas de transição (Pantanal de Pacatuba) também são cruciais, abrigando espécies de aves, mamíferos (peixe-boi-marinho), répteis (tartarugas marinhas) e uma flora variada, com ações de conservação focadas na preservação desses ambientes.

Diante desse cenário, a Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade assume papel estratégico ao promover a compreensão crítica sobre a importância da diversidade biológica e de suas funções ecológicas. Por meio de processos educativos contínuos, participativos e contextualizados, a educação ambiental contribui para a sensibilização dos diferentes públicos, estimulando a valorização da fauna, da flora e dos ecossistemas, bem como a adoção de práticas voltadas à conservação e ao uso sustentável dos recursos naturais.

Além disso, a Educação Ambiental amplia o conhecimento sobre os ecossistemas locais, favorece o fortalecimento da cidadania ambiental, ao incentivar a participação social na defesa do patrimônio natural e na tomada de decisões relacionadas à gestão ambiental. Ao articular conhecimentos científicos, saberes tradicionais e experiências locais, esses processos educativos possibilitam a compreensão das causas estruturais da perda da biodiversidade, como a fragmentação de habitats, a exploração excessiva dos recursos naturais e a poluição, promovendo mudanças de percepção, atitudes e comportamentos individuais e coletivos. As diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade encontram-se sistematizadas no Quadro 16.

Quadro 16. Diretrizes por território do Eixo Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade

TERRITÓRIOS/EIXOS		
TERRITÓRIO AGRESTE CENTRAL		
EIXO – Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade		
DIRETRIZ – Fortalecer ações educativas voltadas à conservação da biodiversidade local, recuperação de áreas degradadas e valorização dos ecossistemas do território, integrando escolas, comunidades e instituições parceiras.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Realização da Conferência Infantojuvenil pelo Meio Ambiente nas escolas da Educação Básica.	Promover a participação ativa de crianças e adolescentes na discussão dos problemas ambientais do território, estimulando o protagonismo juvenil, a consciência crítica e a construção coletiva de soluções sustentáveis.	**Espaço** Escolas públicas da Educação Básica (Ensino Fundamental e Médio), secretarias municipais de educação, centros comunitários, auditórios escolares e espaços públicos destinados às atividades pedagógicas e eventos educacionais do território. **Metodologia** • Mobilizar escolas da rede pública para realização da Conferência Infantojuvenil; • Desenvolver atividades preparatórias como debates, oficinas e projetos ambientais nas escolas; • Estimular a criação de propostas ambientais elaboradas pelos estudantes para melhoria da qualidade ambiental local; • Fortalecer a formação cidadã e o compromisso socioambiental da comunidade escolar. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: articulação institucional, mobilização das escolas e elaboração do plano pedagógico da Conferência. • 12 meses: realização das atividades preparatórias e execução da Conferência nas unidades escolares. • 24 meses: consolidação da Conferência como ação permanente da política de Educação Ambiental do território, com avaliação dos resultados e ampliação do número de escolas participantes.
Apoio e ampliação de projetos de reflorestamento já existentes no território.	Contribuir para a recuperação de áreas degradadas, proteção da biodiversidade e fortalecimento dos serviços ecossistêmicos por meio do reflorestamento com espécies nativas.	**Espaço** Escolas, comunidades locais, unidades de conservação e demais áreas prioritárias para recuperação ambiental. **Metodologia** • Identificar e apoiar projetos de reflorestamento em execução no território; • Ampliar ações de plantio de espécies nativas em áreas prioritárias; • Envolver comunidades, escolas, agricultores e instituições locais nas ações de reflorestamento; • Sensibilizar a população sobre a importância das florestas para o equilíbrio ambiental, a conservação da água e a qualidade de vida. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: diagnóstico territorial, identificação dos projetos existentes, definição das áreas prioritárias e articulação com parceiros locais. • 12 meses: execução contínua das ações de apoio, ampliação dos plantios, realização dos mutirões, produção de mudas e atividades educativas. • 24 meses: consolidação do programa de reflorestamento, monitoramento das áreas recuperadas, fortalecimento das redes comunitárias e ampliação das áreas restauradas.
Realizar palestras de Educação Ambiental para povos e comunidades tradicionais sobre o período de defeso do caranguejo e da piracema.	Garantir o conhecimento e o respeito às normas ambientais relacionadas ao período de reprodução das espécies, promovendo a pesca sustentável e a conservação dos recursos pesqueiros.	**Espaço** Comunidades tradicionais, ribeirinhas e pesqueiras, colônias de pescadores, associações comunitárias, escolas do campo, áreas de entorno de rios, estuários, manguezais e espaços públicos comunitários. **Metodologia** • Realizar palestras educativas em comunidades tradicionais, ribeirinhas e pesqueiras; • Esclarecer sobre a legislação ambiental referente ao defeso do caranguejo e da piracema; • Sensibilizar quanto à importância da preservação dos ciclos reprodutivos das espécies;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: articulação com colônias de pescadores e lideranças locais, planejamento das ações e elaboração dos materiais educativos; • 12 meses: execução contínua das palestras, rodas de conversa e campanhas educativas nos períodos que antecedem e ocorrem durante o defeso; • 24 meses: consolidação das ações como programa permanente de educação ambiental pesqueira e fortalecimento da cultura de respeito ao defeso no território.
Capacitação dos agricultores situados em Zonas de Amortecimento de Unidades de Conservação na perspectiva da agroecologia.	Promover a transição de práticas agrícolas convencionais para sistemas produtivos sustentáveis, fortalecendo a conservação do solo, da água e da biodiversidade.	**Espaço** Comunidades rurais, assentamentos, propriedades familiares, associações e cooperativas de agricultores, escolas do campo e centros comunitários. **Metodologia** • Ofertar cursos e oficinas de capacitação em agroecologia; • Incentivar o uso de técnicas sustentáveis de cultivo, manejo do solo e conservação da água; • Reduzir a dependência de agrotóxicos e insumos químicos; • Fortalecer a produção agrícola sustentável e a segurança alimentar das comunidades rurais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: articulação institucional, diagnóstico participativo das necessidades formativas e planejamento dos cursos; • 12 meses: execução contínua das capacitações, oficinas de campo e implantação das áreas demonstrativas; • 24 meses: consolidação das práticas agroecológicas nas comunidades atendidas, ampliação do número de agricultores participantes e fortalecimento das redes locais de produção sustentável.
Ações de Educação Ambiental contínuas e permanentes nas comunidades dentro e no entorno de unidades de conservação estaduais, sobre a importância dos recursos naturais existentes das mesmas por meio de oficinas, palestras, seminários e minicursos	Fortalecer a consciência ambiental das comunidades locais sobre a importância dos recursos naturais, promovendo o uso sustentável, a proteção da biodiversidade e a participação social na gestão das Unidades de Conservação.	**Espaço** Comunidades situadas entorno das Unidades de Conservação, áreas de visitação, sedes administrativas das UCs, escolas do território, centros comunitários, associações locais e espaços públicos dos municípios abrangidos. **Metodologia** • Desenvolver programas educativos permanentes nas comunidades do entorno das Unidades de Conservação; • Realizar oficinas, palestras, seminários e minicursos sobre conservação ambiental; • Capacitar moradores, lideranças, educadores e agentes comunitários sobre proteção da fauna, flora e recursos hídricos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Incentivar a corresponsabilidade da população na preservação das Unidades de Conservação; • Integrar órgãos ambientais, escolas e organizações da sociedade civil na execução das ações. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional, diagnóstico socioambiental das comunidades do entorno das UCs e elaboração do plano educativo participativo; • 12 meses: execução contínua das ações educativas, formações comunitárias e campanhas de sensibilização; • 24 meses: consolidação do programa como política pública permanente, fortalecimento da participação social na gestão das Unidades de Conservação e ampliação das ações para novos públicos e territórios.
Desenvolvimento de ações de capacitação quanto à prevenção e controle do desmatamento e queimadas e os demais usos nocivos aos ecossistemas florestais.	Capacitação para os agricultores, pecuaristas, agentes de saúde, representantes de sindicatos, moradores da zona urbana e rural sobre legislação que proíbe o desmatamento e queimadas, sistemas alternativos de cultivos sem a prática do desmatamento e queimadas (roças cruas), as consequências das queimadas, proteção das matas ciliares, uso e conservação do solo, extrativismo e uso controlado do fogo considerando sempre a	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, áreas de produção agrícola e pecuária, associações de produtores, sindicatos rurais, unidades de conservação, escolas do campo, centros comunitários e municípios abrangidos pelo território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	vegetação da região objetivando mudança de tecnologia em suas atividades agrícolas.	• Aplicar as boas práticas de prevenção e incêndios florestais; • Incentivar a participação social na prevenção e controle do desmatamento e queimada; • Entender os danos nocivos causados pelas queimadas e desmatamentos. **Prazos** • 6 meses: articulação institucional, diagnóstico territorial e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução permanente das capacitações, campanhas educativas e ações de mobilização comunitária; • 24 meses: consolidação das boas práticas produtivas, fortalecimento da cultura de prevenção de incêndios florestais e redução contínua dos índices de desmatamento e queimadas no território.
Desenvolvimento de ações educativas sobre a conservação das matas nativas na Serra de Itabaiana objetivando a preservação da fauna local.	Promover a conscientização ambiental e o engajamento da população, estudantes e visitantes quanto à importância da conservação das matas nativas da Serra de Itabaiana como habitat da fauna silvestre, fortalecendo práticas de proteção da biodiversidade e uso sustentável do território.	**Espaço** Parque Nacional da Serra de Itabaiana, áreas de entorno e zona de amortecimento, comunidades locais, escolas públicas e privadas do território, trilhas ecológicas, centros comunitários e instituições educacionais. **Metodologia** • Realização contínua de palestras, oficinas e atividades educativas sobre a fauna e a vegetação da Serra de Itabaiana;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Implantação de trilhas interpretativas com foco na observação da fauna e na conservação da vegetação nativa; • Produção e distribuição de materiais educativos (cartilhas, painéis, placas informativas e conteúdos digitais); • Promoção de campanhas comunitárias de sensibilização sobre a prevenção da caça, do desmatamento e das queimadas; • Envolvimento de escolas e comunidades em ações de monitoramento participativo da fauna local. **Prazos** • 6 meses: planejamento, articulação institucional e definição das áreas e públicos prioritários. • 12 meses: execução contínua das ações educativas, campanhas e atividades de campo. • 24 meses: consolidação das ações como programa permanente de educação ambiental na região da Serra de Itabaiana.
Aprendendo com a Catinga e a Mata Atlântica	Promover a educação ambiental por meio da vivência, sensibilização e valorização dos biomas Mata Atlântica e Caatinga, integrando estudantes, professores e comunidade ao conhecimento da biodiversidade, da ecologia e da importância da conservação.	**Espaço** Áreas de preservação, fragmentos florestais, nascentes, margens de rios, Unidades de Conservação, escolas do entorno, trilhas ecológicas e espaços comunitários. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Exposições e atividades sobre a fauna e flora dos Biomas; • Caminhadas orientadas em áreas (parques, fragmentos de mata, trilhas ecológicas); • Execução de plantios simbólicos e educativos com espécies nativas; • Atividades educativas sobre o papel das Unidades de Conservação, parques e reservas na proteção da biodiversidade; • Formação de grupos comunitários de apoio à conservação local; • Trilhas interpretativas: Aproximar estudantes da natureza e desenvolver percepção ambiental **Prazos** • 6 meses: planejamento técnico-pedagógico, seleção das áreas prioritárias e mobilização comunitária. • 12 meses: execução contínua dos mutirões, plantios, trilhas e formações práticas. • 24 a 36 meses: consolidação das ações como programa permanente de educação ambiental e expansão para novos territórios e comunidades.
TERRITÓRIO ALTO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade		
DIRETRIZ – Promover a Educação Ambiental voltada à proteção da fauna e flora da Caatinga, uso sustentável dos recursos naturais e fortalecimento da conservação da biodiversidade no semiárido.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Sabores da Caatinga: Educação Ambiental e Conservação por meio da alimentação.	Promover a valorização da biodiversidade da Caatinga e o fortalecimento da identidade cultural regional por meio da culinária tradicional, utilizando a alimentação como ferramenta de Educação Ambiental para incentivar o uso sustentável dos recursos naturais, a conservação das espécies nativas e a segurança alimentar das comunidades.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas, cozinhas comunitárias, associações, feiras livres, eventos culturais e espaços comunitários dos municípios do território centro Sul. **Metodologia** • Oficinas culinárias educativas com preparo de receitas utilizando produtos da Caatinga (umbú, licuri, palma, mandacaru, etc.); • Rodas de conversa sobre alimentação sustentável, conservação da biodiversidade e saberes tradicionais; • Desenvolvimento de encontros intergeracionais com cozinheiras(os) tradicionais e estudantes para resgate de receitas e saberes locais; • Envolvimento de agricultoras(es), cozinheiras(os), estudantes e comunidades locais; • Produção de material educativo simples sobre a relação entre alimentação e conservação da Caatinga. **Prazos** • 6 meses: articulação comunitária e levantamento de saberes culinários locais; • 12 a 24 meses: realização contínua das oficinas e ações educativas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 36 meses: consolidação “sabores da Caatinga” como ação permanente de educação ambiental e fortalecimento cultural.
Apoio e ampliação de projetos de refloresta- mento já existentes no território	Contribuir para a recuperação de áreas degradadas, proteção da biodiversidade e fortalecimento dos serviços ecossistêmicos por meio do reflorestamento com espécies nativas.	**Espaço** Escolas, comunidades locais, unidades de conservação e demais áreas prioritárias para recuperação ambiental. **Metodologia** • Identificar e apoiar projetos de reflorestamento em execução no território; • Ampliar ações de plantio de espécies nativas em áreas prioritárias; • Envolver comunidades, escolas, agricultores e instituições locais nas ações de reflorestamento; • Sensibilizar a população sobre a importância das florestas para o equilíbrio ambiental, a conservação da água e a qualidade de vida. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico territorial, identificação dos projetos existentes, definição das áreas prioritárias e articulação com parceiros locais; • 12 meses: execução contínua das ações de apoio, ampliação dos plantios, realização dos mutirões, produção de mudas e atividades educativas; • 24 meses: consolidação do programa de reflorestamento, monitoramento das áreas

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		recuperadas, fortalecimento das redes comunitárias e ampliação das áreas restauradas.
Realizar oficinas educativas com pescadores sobre períodos de defeso	Promover a compreensão dos pescadores e comunidades costeiras e ribeirinhas sobre a importância do respeito ao período de defeso e do uso responsável dos recursos pesqueiros, fortalecendo a conservação da biodiversidade, a segurança alimentar e a sustentabilidade da atividade pesqueira.	**Espaço** Colônias de pescadores, associações comunitárias, comunidades ribeirinhas e costeiras, portos, entrepostos pesqueiros, escolas comunitárias e espaços públicos dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de oficinas educativas sobre período de defeso, espécies protegidas e legislação pesqueira; • Rodas de conversa com pescadores e técnicos ambientais; • Produção e distribuição de materiais educativos sobre pesca sustentável; • Atividades práticas de identificação de espécies, tamanhos mínimos e técnicas seletivas de pesca; • Formação de multiplicadores ambientais nas comunidades pesqueiras; • Envolvimento direto de pescadores artesanais, jovens e lideranças comunitárias. **Prazos** • 6 meses: planejamento das oficinas, articulação com colônias de pesca e produção dos materiais educativos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução contínua das oficinas e atividades comunitárias; • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental e pesca sustentável no território.
O uso do Artesanato como ferramenta para a conservação.	Promover a conservação da biodiversidade da Caatinga por meio do artesanato sustentável, valorizando matérias-primas locais, saberes tradicionais e geração de renda aliada à proteção ambiental.	**Espaço** Comunidades rurais e tradicionais, associações de artesãos, escolas, centros comunitários e feiras culturais. **Metodologia** • Oficinas de produção artesanal com uso de materiais naturais da Caatinga de forma sustentável (palha, sementes, fibras, madeira reaproveitada); • Capacitação em técnicas artesanais e design simples voltado à valorização da biodiversidade local; • Produção de peças artesanais temáticas da fauna e flora da Caatinga; • Organização de exposições comunitárias e participação em feiras regionais; • Envolvimento de jovens, mulheres e comunidades tradicionais. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico cultural e organização das primeiras oficinas; • 12 a 24 meses: execução contínua das capacitações e eventos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 36 meses: consolidação do artesanato sustentável da Caatinga como estratégia permanente de conservação da biodiversidade e desenvolvimento local.
Prevenção e controle do desmatamento e queimadas e os demais usos nocivos aos ecossistemas florestais	Capacitação para os agricultores, pecuaristas, agentes de saúde, representantes de sindicatos, moradores da zona urbana e rural sobre legislação que proíbe o desmatamento e queimadas, sistemas alternativos de cultivos sem a prática do desmatamento e queimadas (roças cruas), as consequências das queimadas, proteção das matas ciliares, uso e conservação do solo, extrativismo e uso controlado do fogo considerando sempre a vegetação da região objetivando mudança de tecnologia em suas atividades agrícolas;	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, áreas de produção agrícola e pecuária, associações de produtores, sindicatos rurais, unidades de conservação, escolas do campo, centros comunitários e municípios abrangidos pelo território. **Metodologia** • Aplicar as boas práticas de prevenção e incêndios florestais; • Incentivar a participação social na prevenção e controle do desmatamento e queimada; • Entender os danos nocivos causados pelas queimadas e desmatamentos; **Prazos** • 6 meses: articulação institucional, diagnóstico territorial e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução permanente das capacitações, campanhas educativas e ações de mobilização comunitária; • 24 meses: consolidação das boas práticas produtivas, fortalecimento da cultura de prevenção de incêndios florestais e

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		redução contínua dos índices de desmatamento e queimadas no território.
Somos a Caatinga	Promover uma formação acessível e participativa para a comunidade, trazendo conhecimentos, vivências e reflexões sobre a Caatinga, o único bioma exclusivamente brasileiro e um dos mais resilientes do mundo. A campanha busca desconstruir estereótipos, valorizar a riqueza socioecológica do semiárido e incentivar práticas comunitárias de conservação e convivência sustentável.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações rurais, áreas abertas das comunidades, propriedades agrícolas familiares, praças públicas, espaços culturais. **Metodologia** • Execução de oficinas práticas e vivências ambientais com demonstrações de adaptações das plantas à seca, jogos ecológicos, dinâmicas de grupo, rodas de conversa e atividades interativas; • Promoção de pelo menos 01 mutirão, com ações como plantio simbólico de espécies nativas, proteção de nascentes e recuperação de áreas degradadas; • Desenvolvimento da atividade “Adote uma Espécie” em todas as turmas participantes; • Produção e distribuição de materiais educativos acessíveis; • Envolvimento direto de estudantes, agricultores familiares, lideranças comunitárias, professores e agentes ambientais como multiplicadores locais. **Prazos** • 6 meses: Organização pedagógica da ação, formação inicial de educadores e monitores, elaboração dos conteúdos

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		didáticos, articulação institucional e seleção das comunidades e espaços de execução. • 12 meses: Execução regular das formações, oficinas, vivências ambientais, mutirões e atividades comunitárias, integradas ao calendário escolar e social do território. • 24 meses: Avaliação dos impactos educativos e socioambientais, ajustes metodológicos conforme a realidade local, consolidação da ação como programa permanente de educação ambiental e ampliação para novos territórios e públicos.
Dinâmica dos Ecossistemas da Caatinga: Aproximar a comunidade da realidade do semiárido como patrimônio natural e cultural.	Vivência educativa que apresenta, de forma clara e envolvente, como funcionam os ecossistemas da Caatinga, suas características únicas e sua biodiversidade resistente.	**Espaço** Escolas públicas, associações comunitárias, centros culturais, praças públicas, comunidades rurais e espaços de convivência do território. **Metodologia** • Realização de ciclos educativos com palestras temáticas sobre clima, solo, fauna e flora da Caatinga, destacando espécies emblemáticas como umbu, mandacaru, juazeiro, tatu-bola e asa-branca; • Execução de atividades práticas demonstrativas sobre adaptações das plantas à seca (folhas reduzidas, caules suculentos, raízes profundas);

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Desenvolvimento de oficinas interativas sobre alimentação, ciclos ecológicos e relações entre animais e plantas; • Aplicação de dinâmicas de grupo como "Teia da Caatinga" e "Sobrevivência no Semiárido" para simular o funcionamento integrado do ecossistema; • Produção de materiais educativos simples para apoio às atividades. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico, capacitação de facilitadores e produção de materiais educativos. • 12 meses: execução contínua das atividades em escolas e comunidades do território. • 24 meses: consolidação da ação como programa permanente de educação ambiental nos municípios.
TERRITÓRIO BAIXO SÃO FRANCISCO		
EIXO – Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade		
DIRETRIZ – Integrar ações educativas voltadas à conservação da biodiversidade associada aos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, fortalecendo a proteção da fauna, flora e serviços ecossistêmicos do território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Realizar oficinas educativas com pescadores sobre períodos de defeso	Promover a compreensão dos pescadores e comunidades costeiras e ribeirinhas sobre a importância do respeito ao período de defeso e do uso responsável dos recursos pesqueiros, fortalecendo a conservação da biodiversidade, a	**Espaço** Colônias de pescadores, associações comunitárias, comunidades ribeirinhas e costeiras, portos, entrepostos pesqueiros, escolas comunitárias e espaços públicos dos municípios do território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	segurança alimentar e a sustentabilidade da atividade pesqueira.	**Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de oficinas educativas sobre período de defeso, espécies protegidas e legislação pesqueira; • Rodas de conversa com pescadores e técnicos ambientais; • Produção e distribuição de materiais educativos sobre pesca sustentável; • Atividades práticas de identificação de espécies, tamanhos mínimos e técnicas seletivas de pesca; • Formação de multiplicadores ambientais nas comunidades pesqueiras; • Envolvimento direto de pescadores artesanais, jovens e lideranças comunitárias. **Prazos** • 6 meses: planejamento das oficinas, articulação com colônias de pesca e produção dos materiais educativos. • 12 meses: execução contínua das oficinas e atividades comunitárias. • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental e pesca sustentável no território.
Palestras sobre conservação da água	Disseminar conhecimentos sobre conservação da água, proteção da vegetação ribeirinha e impactos das atividades humanas nos ecossistemas aquáticos.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações, unidades de saúde, instituições públicas, áreas ribeirinhas e espaços institucionais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Metodologia • Palestras em escolas e centros comunitários abordando temas como poluição da água, importância da vegetação ribeirinha, espécies locais e impactos da ação humana; • Oficinas práticas com identificação de fauna e flora, demonstração de coleta de água e monitoramento da qualidade ambiental; • Produção de material educativo (cartilhas, folders e jogos) para fixar os conceitos aprendidos. **Prazos** • 6 meses: estruturação do material educativo e início das primeiras ações. • 12 meses: ampliação das oficinas e inserção do tema nos projetos pedagógicos das escolas. • 24 meses: consolidação das ações como política permanente de educação ambiental.
Prevenção e controle do desmatamento e queimadas e os demais usos nocivos aos ecossistemas florestais	Capacitação para os agricultores, pecuaristas, agentes de saúde, representantes de sindicatos, moradores da zona urbana e rural sobre legislação que proíbe o desmatamento e queimadas, sistemas alternativos de cultivos sem a prática do desmatamento e queimadas (roças cruas), as	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, áreas de produção agrícola e pecuária, associações de produtores, sindicatos rurais, unidades de conservação, escolas do campo, centros comunitários e municípios abrangidos pelo território.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	consequências das queimadas, proteção das matas ciliares, uso e conservação do solo, extrativismo e uso controlado do fogo considerando sempre a vegetação da região objetivando mudança de tecnologia em suas atividades agrícolas;	**Metodologia** • Aplicar as boas práticas de prevenção e incêndios florestais; • Incentivar a participação social na prevenção e controle do desmatamento e queimada; • Entender os danos nocivos causados pelas queimadas e desmatamentos; **Prazos** • 6 meses: articulação institucional, diagnóstico territorial e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução permanente das capacitações, campanhas educativas e ações de mobilização comunitária; • 24 meses: consolidação das boas práticas produtivas, fortalecimento da cultura de prevenção de incêndios florestais e redução contínua dos índices de desmatamento e queimadas no território.
Recuperação de Florestas, Água, Fauna e Áreas Protegidas no Baixo São Francisco	Uma formação prática e inspiradora que apresenta estratégias e ações reais para restaurar e proteger a Mata Atlântica.	**Espaço** Áreas de preservação, fragmentos florestais, nascentes, margens de rios, Unidades de Conservação, escolas do entorno, trilhas ecológicas e espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de mutirões ambientais periódicos de restauração ecológica; • Execução de plantios simbólicos e educativos com espécies nativas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Implantação de trilhas educativas em áreas naturais e espaços restaurados; • Realização de rodas de conversa sobre nascentes, rios, matas ciliares, corredores ecológicos e biodiversidade; • Demonstração prática de técnicas simples de restauração (plantio, proteção de nascentes, manejo de espécies invasoras, recuperação de canteiros); • Atividades educativas sobre o papel das Unidades de Conservação, parques e reservas na proteção da biodiversidade; • Formação de grupos comunitários de apoio à conservação local. **Prazos** • 6 meses: planejamento técnico-pedagógico, seleção das áreas prioritárias e mobilização comunitária. • 12 meses: execução contínua dos mutirões, plantios, trilhas e formações práticas; • 24 a 36 meses: consolidação das ações como programa permanente de educação ambiental e expansão para novos territórios e comunidades.
Conhecendo a flora da Mata Atlântica: Oficina introdutória sobre plantas típicas do bioma	Promover o reconhecimento das plantas típicas da Mata Atlântica e sua importância ecológica, cultural e econômica, fortalecendo o vínculo das comunidades com o bioma e incentivando sua conservação.	**Espaço** Escolas, áreas verdes urbanas, viveiros, praças públicas, espaços comunitários. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realização de oficinas introdutórias sobre plantas típicas do bioma; • Exposição interativa de folhas, frutos, sementes, mudas e painéis ilustrativos; • Rodas de conversa sobre usos medicinais, alimentares e culturais das plantas; • Aplicação de jogos educativos de identificação de espécies; • Produção de materiais didáticos simples sobre a flora local; • Envolvimento direto de estudantes, educadores e moradores nas atividades. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico, produção de materiais e formação de monitores; • 12 a 24 meses: execução contínua das oficinas, exposições e atividades educativas; • 24 a 36 meses: consolidação da ação como programa permanente de educação ambiental.
Conhecendo as espécies endêmicas: Apresentação das espécies únicas do bioma.	Valorizar as espécies exclusivas do bioma, promovendo consciência ambiental, empatia e senso de pertencimento ao território.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, bibliotecas públicas, espaços culturais e áreas de visitação ambiental. **Metodologia** • Apresentações educativas sobre espécies endêmicas e ameaçadas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Montagem de painéis ilustrados e exibição de vídeos curtos; • Desenvolvimento da atividade “Adote uma Espécie”, com acompanhamento pedagógico por turma; • Produção de conteúdos educativos sobre conservação da biodiversidade; • Integração das atividades ao calendário escolar e comunitário. **Prazos** • 6 meses: organização dos conteúdos e materiais pedagógicos; • 12 meses: execução regular das atividades nas escolas e comunidades; • 24 a 36 meses: consolidação e expansão da ação no território.
Conhecendo a fauna da Mata Atlântica: Exposição e atividades sobre animais característicos do bioma.	Estimular o conhecimento das relações ecológicas e fortalecer a sensibilização para a proteção da fauna silvestre do bioma.	**Espaço** Escolas, trilhas ecológicas, áreas verdes, Unidades de Conservação e espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de exposições educativas sobre animais característicos do bioma; • Atividades práticas de identificação de pegadas, penas, sons e ninhos; • Estudos guiados sobre espécies como mico-leão-dourado, jaguatirica, sabiá-laranjeira, entre outras; • Jogos de cadeia alimentar e teia ecológica; • Produção de materiais educativos e registros das atividades.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: planejamento e capacitação de educadores e monitores; • 12 a 24 meses: execução contínua das exposições, oficinas e trilhas; • 24 a 36 meses: consolidação da ação como componente permanente da educação ambiental no território.
Apoio e ampliação de projetos de refloresta- mento já existentes no território	Contribuir para a recuperação de áreas degradadas, proteção da biodiversidade e fortalecimento dos serviços ecossistêmicos por meio do reflorestamento com espécies nativas.	**Espaço** Escolas, comunidades locais, unidades de conservação e demais áreas prioritárias para recuperação ambiental. **Metodologia** • Identificar e apoiar projetos de reflorestamento em execução no território; • Ampliar ações de plantio de espécies nativas em áreas prioritárias; • Envolver comunidades, escolas, agricultores e instituições locais nas ações de reflorestamento; • Sensibilizar a população sobre a importância das florestas para o equilíbrio ambiental, a conservação da água e a qualidade de vida. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico territorial, identificação dos projetos existentes, definição das áreas prioritárias e articulação com parceiros locais.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução contínua das ações de apoio, ampliação dos plantios, realização dos mutirões, produção de mudas e atividades educativas. • 24 meses: consolidação do programa de reflorestamento, monitoramento das áreas recuperadas, fortalecimento das redes comunitárias e ampliação das áreas restauradas.
TERRITÓRIO CENTRO SUL		
EIXO – Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade		
DIRETRIZ – Consolidar ações educativas voltadas à conservação da biodiversidade, restauração ecológica e proteção dos remanescentes de Mata Atlântica e áreas naturais do território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
A Mochila do Educador Ambiental de Sergipe	Tem como objetivo dar apoio a professores rurais, coordenadores pedagógicos, agentes comunitários, técnicos agrícolas e agricultores familiares, oferecendo materiais educativos contextualizados às realidades ecológicas e produtivas do estado, do manguezal ao sertão. A proposta visa: • Sensibilizar, formar e mobilizar educadores e agricultores familiares; • Difundir práticas de produção sustentável, convivência com a seca e manejo responsável dos recursos naturais; • Fortalecer o vínculo entre escola, família e território;	**Espaço** Escolas do campo, comunidades rurais e assentamentos. **Metodologia** • Diálogo e troca de saberes; • Problematização da realidade local; • Rodas de experiências com agricultores; • Oficinas práticas com tecnologias sociais; • Trilhas interpretativas e leitura da paisagem; • Estudo prático com os materiais da mochila; • Planejamento participativo escola–comunidade;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	• Valorizar o saber tradicional, a cultura rural e a agroecologia.	• A lógica pedagógica orientadora é: ver – refletir – agir – transformar. **Prazos** • 6 meses: Planejamento pedagógico da formação, elaboração e produção dos materiais da Mochila do Educador Ambiental e seleção dos territórios e mobilização das comunidades. • 12 meses: Realização do 1º ciclo formativo, acompanhamento inicial das ações escola–comunidade. • 24 meses: Consolidação do programa como política permanente de Educação Ambiental do campo.
Sabores da Caatinga: Educação Ambiental e Conservação por meio da alimentação	Promover a valorização da biodiversidade da Caatinga e o fortalecimento da identidade cultural regional por meio da culinária tradicional, utilizando a alimentação como ferramenta de Educação Ambiental para incentivar o uso sustentável dos recursos naturais, a conservação das espécies nativas e a segurança alimentar das comunidades.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas, cozinhas comunitárias, associações, feiras livres, eventos culturais e espaços comunitários dos municípios do território centro Sul. **Metodologia** • Oficinas culinárias educativas com preparo de receitas utilizando produtos da Caatinga (umbú, licuri, palma, mandacaru etc.); • Rodas de conversa sobre alimentação sustentável, conservação da biodiversidade e saberes tradicionais; • Desenvolvimento de encontros intergeracionais com cozinheiras(os)

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		tradicionais e estudantes para resgate de receitas e saberes locais; • Envolvimento de agricultoras(es), cozinheiras(os), estudantes e comunidades locais; • Produção de material educativo simples sobre a relação entre alimentação e conservação da Caatinga. **Prazos** • 6 meses: articulação comunitária e levantamento de saberes culinários locais. • 12 a 24 meses: realização contínua das oficinas e ações educativas. • 24 a 36 meses: consolidação "sabores da Caatinga" como ação permanente de educação ambiental e fortalecimento cultural.
O uso do Artesanato como ferramenta para a conservação	Promover a conservação da biodiversidade da Caatinga por meio do artesanato sustentável, valorizando matérias-primas locais, saberes tradicionais e geração de renda aliada à proteção ambiental.	**Espaço** Comunidades rurais e tradicionais, associações de artesãos, escolas, centros comunitários e feiras culturais. **Metodologia** • Oficinas de produção artesanal com uso de materiais naturais da Caatinga de forma sustentável (palha, sementes, fibras, madeira reaproveitada); • Capacitação em técnicas artesanais e design simples voltado à valorização da biodiversidade local;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Produção de peças artesanais temáticas da fauna e flora da Caatinga; • Organização de exposições comunitárias e participação em feiras regionais; • Envolvimento de jovens, mulheres e comunidades tradicionais. **Prazos** • 6 meses: diagnóstico cultural e organização das primeiras oficinas; • 12 a 24 meses: execução contínua das capacitações e eventos; • 24 a 36 meses: consolidação do artesanato sustentável da Caatinga como estratégia permanente de conservação da biodiversidade e desenvolvimento local.
Somos a Caatinga	Promover uma formação acessível e participativa para a comunidade, trazendo conhecimentos, vivências e reflexões sobre a Caatinga, o único bioma exclusivamente brasileiro e um dos mais resilientes do mundo. A campanha busca desconstruir estereótipos, valorizar a riqueza socioecológica do semiárido e incentivar práticas comunitárias de conservação e convivência sustentável.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, associações rurais, áreas abertas das comunidades, propriedades agrícolas familiares, praças públicas, espaços culturais. **Metodologia** • Execução de oficinas práticas e vivências ambientais com demonstrações de adaptações das plantas à seca, jogos ecológicos, dinâmicas de grupo, rodas de conversa e atividades interativas; • Promoção de pelo menos 01 mutirão, com ações como plantio simbólico de espécies

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		nativas, proteção de nascentes e recuperação de áreas degradadas; • Desenvolvimento da atividade “Adote uma Espécie” em todas as turmas participantes; • Produção e distribuição de materiais educativos acessíveis; • Envolvimento direto de estudantes, agricultores familiares, lideranças comunitárias, professores e agentes ambientais como multiplicadores locais. **Prazos** • 6 meses: Organização pedagógica da ação, formação inicial de educadores e monitores, elaboração dos conteúdos didáticos, articulação institucional e seleção das comunidades e espaços de execução. • 12 meses: Execução regular das formações, oficinas, vivências ambientais, mutirões e atividades comunitárias, integradas ao calendário escolar e social do território. • 24 meses: Avaliação dos impactos educativos e socioambientais, ajustes metodológicos conforme a realidade local, consolidação da ação como programa permanente de educação ambiental e ampliação para novos territórios e públicos.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Dinâmica dos Ecossistemas da Caatinga: Aproximar a comunidade da realidade do semiárido como patrimônio natural e cultural.	Vivência educativa que apresenta, de forma clara e envolvente, como funcionam os ecossistemas da Caatinga, suas características únicas e sua biodiversidade resistente.	**Espaço** Escolas públicas, associações comunitárias, centros culturais, praças públicas, comunidades rurais e espaços de convivência do território. **Metodologia** • Realização de ciclos educativos com palestras temáticas sobre clima, solo, fauna e flora da Caatinga, destacando espécies emblemáticas como umbu, mandacaru, juazeiro, tatu-bola e asa-branca; • Execução de atividades práticas demonstrativas sobre adaptações das plantas à seca (folhas reduzidas, caules suculentos, raízes profundas); • Desenvolvimento de oficinas interativas sobre alimentação, ciclos ecológicos e relações entre animais e plantas; • Aplicação de dinâmicas de grupo como "Teia da Caatinga" e "Sobrevivência no Semiárido" para simular o funcionamento integrado do ecossistema; • Produção de materiais educativos simples para apoio às atividades. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico, capacitação de facilitadores e produção de materiais educativos.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução contínua das atividades em escolas e comunidades do território. • 24 meses: consolidação da ação como programa permanente de educação ambiental nos municípios.
Conservação da Caatinga: água, fauna, flora e territórios protegidos	Formação que apresenta práticas sustentáveis e iniciativas de proteção voltadas para o bioma, reforçando seu papel na vida das comunidades do semiárido.	**Espaço** Comunidades rurais, escolas, espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de formações comunitárias sobre desafios ambientais da Caatinga (desmatamento, desertificação, queimadas, caça ilegal e perda de nascentes); • Rodas de conversa sobre soluções práticas de convivência com o semiárido; • Apresentações educativas sobre espécies ameaçadas, com destaque para o tatu-bola; • Encontros formativos sobre o papel das áreas protegidas (RPPNs, parques, APAs); • Execução de mutirões participativos de plantio de espécies nativas e ações simples de recuperação ambiental; • Produção de material educativo de apoio. **Prazos** • 6 meses: mobilização comunitária e articulação institucional.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: implementação contínua das formações, mutirões e rodas de conversa. • 24 meses: fortalecimento das práticas comunitárias de conservação e institucionalização da ação.
Conhecendo a fauna da Caatinga	Atividades de conhecimento dos animais que vivem no bioma semiárido.	**Espaço** Escolas, áreas abertas, comunidades rurais, centros comunitários e espaços culturais. **Metodologia** • Oficinas educativas sobre animais da Caatinga (tatu-bola, asa-branca, calango, mocó, jararaca-da-caatinga); • Contação de histórias e resgate da cultura sertaneja relacionada à fauna; • Jogos educativos sobre cadeias alimentares e relações ecológicas. **Prazos** • 6 meses: preparação metodológica e formação de educadores. • 12 meses: realização contínua das oficinas e atividades nas comunidades e escolas. • 24 meses: consolidação como ação permanente de educação ambiental.
Conhecendo as espécies endêmicas	Apresentação das espécies únicas do bioma.	**Espaço** Escolas, centros culturais, associações comunitárias e eventos públicos. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Montagem de painéis ilustrativos e exibição de vídeos curtos sobre espécies endêmicas; • Realização da atividade “Adote uma Espécie” com turmas escolares; • Trilhas interpretativas; • Oficinas de sensibilização sobre espécies ameaçadas e seu papel ecológico. **Prazos** • 6 meses: desenvolvimento dos materiais educativos. • 12 meses: execução das ações educativas. • 24 meses: ampliação para novos públicos e municípios.
Conhecendo a flora da Caatinga	Oficina introdutória sobre plantas típicas do bioma.	**Espaço** Escolas, comunidades rurais e áreas abertas. **Metodologia** • Aulas práticas sobre adaptações das plantas ao clima semiárido; • Oficinas introdutórias sobre flora da Caatinga com exposição de folhas, frutos, sementes e imagens; • Discussões sobre usos medicinais, alimentares e culturais das plantas; • Jogos educativos de identificação de espécies nativas. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: preparação dos conteúdos e formação de monitores. • 6 a 18 meses: execução contínua das oficinas e atividades práticas. • 18 a 36 meses: consolidação das ações como programa territorial de educação
TERRITÓRIO GRANDE ARACAJU		
EIXO – Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade		
DIRETRIZ – Fortalecer a Educação Ambiental voltada à conservação da biodiversidade urbana e periurbana, promovendo proteção de áreas verdes, fauna silvestre e ecossistemas naturais no contexto metropolitano.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Somos a Mata Atlântica	Promover uma formação aberta e acessível à comunidade, oferecendo conteúdos, vivências e reflexões sobre os principais conceitos ligados à Mata Atlântica, o bioma mais ameaçado do Brasil. A campanha busca fortalecer a consciência ambiental, valorizar o território e incentivar ações coletivas de defesa da natureza**.**	**Espaço** Unidades escolares municipais e estaduais, associações comunitárias e sedes de bairros, praças públicas e áreas verdes urbanas, fragmentos florestais e unidades de conservação do território. **Metodologia** • Implantação do programa em todas as escolas da rede pública do território, iniciando pelas localizadas próximas a áreas de Mata Atlântica; • Realização de no mínimo 01 ciclo formativo por semestre em cada município; • Envolvimento direto de professores e estudantes; • Fortalecer o vínculo da população com a Mata Atlântica do próprio território, despertando pertencimento,

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		responsabilidade e capacidade de atuação na defesa do bioma. **Prazos** • 6 meses: mapeamento territorial das áreas de Mata Atlântica, articulação com escolas e elaboração do material pedagógico local. • 12 meses: execução dos ciclos formativos e primeiras ações comunitárias. • 24 meses: consolidação do programa como política permanente de educação ambiental municipal.
Dinâmica dos Ecossistemas da Mata Atlântica:	Atividade interativa que explica, de maneira simples e envolvente, como os ecossistemas da Mata Atlântica funcionam e se conectam	**Espaço** Salas de aula, áreas verdes urbanas, fragmentos de mata e trilhas locais e espaços comunitários abertos. **Metodologia** • Exposição dialogada sobre florestas, restingas, manguezais e matas de altitude; • Atividades práticas mostrando teias alimentares, ciclos da água, polinização, dispersão de sementes e relações entre fauna e flora; • Comparação entre áreas conservadas e áreas degradadas para evidenciar impactos ambientais; • Demonstrar a importância da Mata Atlântica para a qualidade de vida das pessoas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Tornar conceitos ecológicos acessíveis a qualquer faixa etária; • Incentivar a percepção do bioma como parte do território e da identidade local. **Prazos** • 6 meses: Planejamento e estruturação das ações, elaboração dos conteúdos educativos, formação inicial de educadores e monitores, e articulação dos espaços de execução (escolas, áreas verdes, fragmentos de mata, trilhas e espaços comunitários). • 12 meses: Execução contínua das atividades educativas (exposições, práticas ecológicas e análises de áreas conservadas e degradadas), com integração ao calendário escolar e comunitário, garantindo a consolidação das ações. • 24 meses: Avaliação e aperfeiçoamento das ações, consolidação como programa permanente de educação ambiental e ampliação para novos públicos, instituições e territórios.
Realizar oficinas educativas com pescadores sobre períodos de defeso	Promover a compreensão dos pescadores e comunidades costeiras e ribeirinhas sobre a importância do respeito ao período de defeso e do uso responsável dos recursos pesqueiros, fortalecendo a conservação da biodiversidade, a segurança alimentar e a sustentabilidade da atividade pesqueira.	**Espaço** Colônias de pescadores, associações comunitárias, comunidades ribeirinhas e costeiras, portos, entrepostos pesqueiros, escolas comunitárias e espaços públicos dos municípios do território. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realização de ciclos contínuos de oficinas educativas sobre período de defeso, espécies protegidas e legislação pesqueira; • Rodas de conversa com pescadores e técnicos ambientais; • Produção e distribuição de materiais educativos sobre pesca sustentável; • Atividades práticas de identificação de espécies, tamanhos mínimos e técnicas seletivas de pesca; • Formação de multiplicadores ambientais nas comunidades pesqueiras; • Envolvimento direto de pescadores artesanais, jovens e lideranças comunitárias. **Prazos** • 6 meses: planejamento das oficinas, articulação com colônias de pesca e produção dos materiais educativos. • 12 meses: execução contínua das oficinas e atividades comunitárias. • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental e pesca sustentável no território.
Conhecendo a flora da Mata Atlântica: Oficina introdutória sobre plantas típicas do bioma	Promover o reconhecimento das plantas típicas da Mata Atlântica e sua importância ecológica, cultural e econômica, fortalecendo o vínculo das comunidades com o bioma e incentivando sua conservação.	**Espaço** Escolas, áreas verdes urbanas, viveiros, praças públicas, espaços comunitários. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realização de oficinas introdutórias sobre plantas típicas do bioma; • Exposição interativa de folhas, frutos, sementes, mudas e painéis ilustrativos; • Rodas de conversa sobre usos medicinais, alimentares e culturais das plantas; • Aplicação de jogos educativos de identificação de espécies; • Produção de materiais didáticos simples sobre a flora local; • Envolvimento direto de estudantes, educadores e moradores nas atividades. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico, produção de materiais e formação de monitores; • 12 a 24 meses: execução contínua das oficinas, exposições e atividades educativas; 24 a 36 meses: consolidação da ação como programa permanente de educação ambiental.
Conhecendo as espécies endêmicas: Apresentação das espécies únicas do bioma.	Valorizar as espécies exclusivas do bioma, promovendo consciência ambiental, empatia e senso de pertencimento ao território.	**Espaço** Escolas, centros comunitários, bibliotecas públicas, espaços culturais e áreas de visitação ambiental. **Metodologia** • Apresentações educativas sobre espécies endêmicas e ameaçadas; • Montagem de painéis ilustrados e exibição de vídeos curtos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Desenvolvimento da atividade “Adote uma Espécie”, com acompanhamento pedagógico por turma; • Produção de conteúdos educativos sobre conservação da biodiversidade; • Integração das atividades ao calendário escolar e comunitário. **Prazos** • 6 meses: organização dos conteúdos e materiais pedagógicos; • 12 meses: execução regular das atividades nas escolas e comunidades; 24 a 36 meses: consolidação e expansão da ação no território.
Conhecendo a fauna da Mata Atlântica: Exposição e atividades sobre animais característicos do bioma.	Estimular o conhecimento das relações ecológicas e fortalecer a sensibilização para a proteção da fauna silvestre do bioma.	**Espaço** Escolas, trilhas ecológicas, áreas verdes, Unidades de Conservação e espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de exposições educativas sobre animais característicos do bioma; • Atividades práticas de identificação de pegadas, penas, sons e ninhos; • Estudos guiados sobre espécies como mico-leão-dourado, jaguatirica, sabiá-laranjeira, entre outras; • Jogos de cadeia alimentar e teia ecológica; • Produção de materiais educativos e registros das atividades. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: planejamento e capacitação de educadores e monitores; • 12 a 24 meses: execução contínua das exposições, oficinas e trilhas; 24 a 36 meses: consolidação da ação como componente permanente da educação ambiental no território.
Recuperação de Florestas, Água, Fauna e Áreas Protegidas na Grande Aracaju	Uma formação prática e inspiradora que apresenta estratégias e ações reais para restaurar e proteger a Mata Atlântica.	**Espaço** Áreas de preservação, fragmentos florestais, nascentes, margens de rios, Unidades de Conservação, escolas do entorno, trilhas ecológicas e espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de mutirões ambientais periódicos de restauração ecológica; • Execução de plantios simbólicos e educativos com espécies nativas; • Implantação de trilhas educativas em áreas naturais e espaços restaurados; • Realização de rodas de conversa sobre nascentes, rios, matas ciliares, corredores ecológicos e biodiversidade; • Demonstração prática de técnicas simples de restauração (plantio, proteção de nascentes, manejo de espécies invasoras, recuperação de canteiros); • Atividades educativas sobre o papel das Unidades de Conservação, parques e reservas na proteção da biodiversidade;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Formação de grupos comunitários de apoio à conservação local. **Prazos** • 6 meses: planejamento técnico-pedagógico, seleção das áreas prioritárias e mobilização comunitária. • 12 meses: execução contínua dos mutirões, plantios, trilhas e formações práticas. • 24 a 36 meses: consolidação das ações como programa permanente de educação ambiental e expansão para novos territórios e comunidades.
Apoio e ampliação de projetos de refloresta- mento já existentes no território	Contribuir para a recuperação de áreas degradadas, proteção da biodiversidade e fortalecimento dos serviços ecossistêmicos por meio do reflorestamento com espécies nativas.	**Espaço** Escolas, comunidades locais, unidades de conservação e demais áreas prioritárias para recuperação ambiental. **Metodologia** • Identificar e apoiar projetos de reflorestamento em execução no território; • Ampliar ações de plantio de espécies nativas em áreas prioritárias; • Envolver comunidades, escolas, agricultores e instituições locais nas ações de reflorestamento; • Sensibilizar a população sobre a importância das florestas para o equilíbrio ambiental, a conservação da água e a qualidade de vida.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: diagnóstico territorial, identificação dos projetos existentes, definição das áreas prioritárias e articulação com parceiros locais. • 12 meses: execução contínua das ações de apoio, ampliação dos plantios, realização dos mutirões, produção de mudas e atividades educativas. • 24 meses: consolidação do programa de reflorestamento, monitoramento das áreas recuperadas, fortalecimento das redes comunitárias e ampliação das áreas restauradas.
Prevenção e controle do desmatamento e queimadas e os demais usos nocivos aos ecossistemas florestais	Capacitação para os agricultores, pecuaristas, agentes de saúde, representantes de sindicatos, moradores da zona urbana e rural sobre legislação que proíbe o desmatamento e queimadas, sistemas alternativos de cultivos sem a prática do desmatamento e queimadas (roças cruas), as consequências das queimadas, proteção das matas ciliares, uso e conservação do solo, extrativismo e uso controlado do fogo considerando sempre a vegetação da região objetivando mudança de tecnologia em suas atividades agrícolas;	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, áreas de produção agrícola e pecuária, associações de produtores, sindicatos rurais, unidades de conservação, escolas do campo, centros comunitários e municípios abrangidos pelo território. **Metodologia** • Aplicar as boas práticas de prevenção e incêndios florestais; • Incentivar a participação social na prevenção e controle do desmatamento e queimada; • Entender os danos nocivos causados pelas queimadas e desmatamentos; **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: articulação institucional, diagnóstico territorial e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução permanente das capacitações, campanhas educativas e ações de mobilização comunitária; • 24 meses: consolidação das boas práticas produtivas, fortalecimento da cultura de prevenção de incêndios florestais e redução contínua dos índices de desmatamento e queimadas no território.
TERRITÓRIO LESTE SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade		
DIRETRIZ – Integrar ações educativas voltadas à conservação da Mata Atlântica, manguezais e ecossistemas costeiros, fortalecendo a proteção da biodiversidade e o uso sustentável do território.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Capacitação para comunidades ribeirinhas sobre a pesca predatória, conservação dos manguezais e das matas nas nascentes dos rios	Fortalecer o conhecimento e o engajamento das comunidades ribeirinhas na adoção de práticas sustentáveis de pesca e na proteção dos manguezais e das matas ciliares, contribuindo para a conservação da biodiversidade, a segurança alimentar e a manutenção da qualidade dos recursos hídricos.	**Espaço** Comunidades ribeirinhas colônias de pescadores, escolas comunitárias e espaços públicos das comunidades do território. **Metodologia** • Realização contínua de cursos, oficinas e palestras educativas sobre pesca sustentável, períodos de defeso e legislação ambiental; • Desenvolvimento de atividades práticas sobre conservação dos manguezais e proteção das matas das nascentes;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Produção e distribuição de materiais educativos acessíveis às comunidades ribeirinhas; • Formação de multiplicadores ambientais comunitários; • Promoção de campanhas locais de sensibilização sobre preservação dos recursos naturais e combate à pesca predatória. **Prazos** • 6 meses: planejamento participativo, mobilização comunitária e definição dos conteúdos formativos. • 12 meses: execução contínua das capacitações e atividades educativas nas comunidades. • 24 meses: consolidação da ação como programa permanente de educação ambiental ribeirinha no território.
Realizar oficinas educativas com pescadores sobre períodos de defeso	Promover a compreensão dos pescadores e comunidades costeiras e ribeirinhas sobre a importância do respeito ao período de defeso e do uso responsável dos recursos pesqueiros, fortalecendo a conservação da biodiversidade, a segurança alimentar e a sustentabilidade da atividade pesqueira.	**Espaço** Colônias de pescadores, associações comunitárias, comunidades ribeirinhas e costeiras, portos, entrepostos pesqueiros, escolas comunitárias e espaços públicos dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de oficinas educativas sobre período de defeso, espécies protegidas e legislação pesqueira; • Rodas de conversa com pescadores e técnicos ambientais;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Produção e distribuição de materiais educativos sobre pesca sustentável; • Atividades práticas de identificação de espécies, tamanhos mínimos e técnicas seletivas de pesca; • Formação de multiplicadores ambientais nas comunidades pesqueiras; • Envolvimento direto de pescadores artesanais, jovens e lideranças comunitárias. **Prazos** • 6 meses: planejamento das oficinas, articulação com colônias de pesca e produção dos materiais educativos. • 12 meses: execução contínua das oficinas e atividades comunitárias. • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental e pesca sustentável no território.
Recuperação de Florestas, Água, Fauna e Áreas Protegidas no Leste Sergipano	Uma formação prática e inspiradora que apresenta estratégias e ações reais para restaurar e proteger a Mata Atlântica.	**Espaço** Áreas de preservação, fragmentos florestais, nascentes, margens de rios, Unidades de Conservação, escolas do entorno, trilhas ecológicas e espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de mutirões ambientais periódicos de restauração ecológica; • Execução de plantios simbólicos e educativos com espécies nativas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Implantação de trilhas educativas em áreas naturais e espaços restaurados; • Realização de rodas de conversa sobre nascentes, rios, matas ciliares, corredores ecológicos e biodiversidade; • Demonstração prática de técnicas simples de restauração (plantio, proteção de nascentes, manejo de espécies invasoras, recuperação de canteiros); • Atividades educativas sobre o papel das Unidades de Conservação, parques e reservas na proteção da biodiversidade; • Formação de grupos comunitários de apoio à conservação local. **Prazos** • 6 meses: planejamento técnico-pedagógico, seleção das áreas prioritárias e mobilização comunitária. • 12 meses: execução contínua dos mutirões, plantios, trilhas e formações práticas. • 24 meses: consolidação das ações como programa permanente de educação ambiental e expansão para novos territórios e comunidades.
Conhecendo a flora da Mata Atlântica: Oficina introdutória sobre plantas típicas do bioma	Promover o reconhecimento das plantas típicas da Mata Atlântica e sua importância ecológica, cultural e econômica, fortalecendo o vínculo das comunidades com o bioma e incentivando sua conservação.	**Espaço** Escolas, áreas verdes urbanas, viveiros, praças públicas, espaços comunitários. **Metodologia**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Realização de oficinas introdutórias sobre plantas típicas do bioma; • Exposição interativa de folhas, frutos, sementes, mudas e painéis ilustrativos; • Rodas de conversa sobre usos medicinais, alimentares e culturais das plantas; • Aplicação de jogos educativos de identificação de espécies; • Produção de materiais didáticos simples sobre a flora local; • Envolvimento direto de estudantes, educadores e moradores nas atividades. **Prazos** • 6 meses: planejamento pedagógico, produção de materiais e formação de monitores; • 12 a 24 meses: execução contínua das oficinas, exposições e atividades educativas; 24 a 36 meses: consolidação da ação como programa permanente de educação ambiental.
Conhecendo a fauna da Mata Atlântica: Exposição e atividades sobre animais característicos do bioma.	Estimular o conhecimento das relações ecológicas e fortalecer a sensibilização para a proteção da fauna silvestre do bioma.	**Espaço** Escolas, trilhas ecológicas, áreas verdes, Unidades de Conservação e espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de exposições educativas sobre animais característicos do bioma; • Atividades práticas de identificação de pegadas, penas, sons e ninhos;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• Estudos guiados sobre espécies como mico-leão-dourado, jaguatirica, sabiá-laranjeira, entre outras; • Jogos de cadeia alimentar e teia ecológica; • Produção de materiais educativos e registros das atividades. **Prazos** • 6 meses: planejamento e capacitação de educadores e monitores; • 12 a 24 meses: execução contínua das exposições, oficinas e trilhas; 24 a 36 meses: consolidação da ação como componente permanente da educação ambiental no território.
Apoio e ampliação de projetos de refloresta- mento já existentes no território	Contribuir para a recuperação de áreas degradadas, proteção da biodiversidade e fortalecimento dos serviços ecossistêmicos por meio do reflorestamento com espécies nativas.	**Espaço** Escolas, comunidades locais, unidades de conservação e demais áreas prioritárias para recuperação ambiental. **Metodologia** • Identificar e apoiar projetos de reflorestamento em execução no território; • Ampliar ações de plantio de espécies nativas em áreas prioritárias; • Envolver comunidades, escolas, agricultores e instituições locais nas ações de reflorestamento; • Sensibilizar a população sobre a importância das florestas para o equilíbrio ambiental, a conservação da água e a qualidade de vida.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: diagnóstico territorial, identificação dos projetos existentes, definição das áreas prioritárias e articulação com parceiros locais. • 12 meses: execução contínua das ações de apoio, ampliação dos plantios, realização dos mutirões, produção de mudas e atividades educativas. • 24 meses: consolidação do programa de reflorestamento, monitoramento das áreas recuperadas, fortalecimento das redes comunitárias e ampliação das áreas restauradas.
Prevenção e controle do desmatamento e queimadas e os demais usos nocivos aos ecossistemas florestais	Capacitação para os agricultores, pecuaristas, agentes de saúde, representantes de sindicatos, moradores da zona urbana e rural sobre legislação que proíbe o desmatamento e queimadas, sistemas alternativos de cultivos sem a prática do desmatamento e queimadas (roças cruas), as consequências das queimadas, proteção das matas ciliares, uso e conservação do solo, extrativismo e uso controlado do fogo considerando sempre a vegetação da região objetivando mudança de tecnologia em suas atividades agrícolas;	**Espaço** Comunidades rurais e urbanas, áreas de produção agrícola e pecuária, associações de produtores, sindicatos rurais, unidades de conservação, escolas do campo, centros comunitários e municípios abrangidos pelo território. **Metodologia** • Aplicar as boas práticas de prevenção e incêndios florestais; • Incentivar a participação social na prevenção e controle do desmatamento e queimada; • Entender os danos nocivos causados pelas queimadas e desmatamentos; **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: articulação institucional, diagnóstico territorial e elaboração do plano de ação participativo; • 12 meses: execução permanente das capacitações, campanhas educativas e ações de mobilização comunitária; • 24 meses: consolidação das boas práticas produtivas, fortalecimento da cultura de prevenção de incêndios florestais e redução contínua dos índices de desmatamento e queimadas no território.
TERRITÓRIO MÉDIO SERTÃO		
EIXO – Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade		
DIRETRIZ – Desenvolver ações educativas voltadas à conservação da biodiversidade do semiárido, recuperação ambiental e fortalecimento de práticas sustentáveis no meio rural.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Incentivar o reflorestamento: • Realização de oficinas e palestras explicando a importância do reflorestamento; • Mobilização de escolas, associações e produtores rurais para adesão ao plantio; • Produção e distribuição de mudas nativas adequadas ao bioma; • Criação de "dia do plantio" envolvendo estudantes e comunidade.	Campanhas educativas e ações práticas para aumentar áreas verdes, restaurar ecossistemas e reduzir degradação ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas, rurais e escolares do Território Centro Sul, em parceria com associações comunitárias e produtores rurais. **Metodologia** Serão plantadas, de forma gradual, milhares de mudas nativas ao longo de 03 anos, envolvendo escolas, associações e comunidades, com implantação de sistema de monitoramento das áreas reflorestadas. **Prazo**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		A execução ocorrerá entre 2026 e 2028, com metas anuais de plantio e acompanhamento ambiental.
Desenvolvimento de programa denominado “Aprendendo com a Catinga e a Mata Atlântica”, que contempla exposições, caminhadas orientadas e trilhas interpretativas.	Promover a educação ambiental por meio da vivência, sensibilização e valorização dos biomas Mata Atlântica e Caatinga, integrando estudantes, professores e comunidade ao conhecimento da biodiversidade, da ecologia e da importância da conservação.	**Espaço** Áreas de preservação, fragmentos florestais, nascentes, margens de rios, Unidades de Conservação, escolas do entorno, trilhas ecológicas e espaços comunitários. **Metodologia** • Exposições e atividades sobre a fauna e flora dos Biomas; • Caminhadas orientadas em áreas (parques, fragmentos de mata, trilhas ecológicas); • Execução de plantios simbólicos e educativos com espécies nativas; • Atividades educativas sobre o papel das Unidades de Conservação, parques e reservas na proteção da biodiversidade; • Formação de grupos comunitários de apoio à conservação local; • Trilhas interpretativas: Aproximar estudantes da natureza e desenvolver percepção ambiental. **Prazos** • 6 meses: planejamento técnico-pedagógico, seleção das áreas prioritárias e mobilização comunitária; • 12 meses: execução contínua dos mutirões, plantios, trilhas e formações práticas;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 a 36 meses: consolidação das ações como programa permanente de educação ambiental e expansão para novos territórios e comunidades.
Criação de campanha denominada “Fogo zero na Caatinga”.	Campanha permanente de educação ambiental voltada à prevenção de queimadas e incêndios florestais no bioma Caatinga, por meio de estratégias educativas, comunicacionais e participativas junto às comunidades rurais, escolas e produtores locais.	**Espaço** Comunidades rurais, áreas agrícolas, escolas do campo. **Metodologia** • Teatro educativo itinerante em escolas e comunidades, abordando causas e consequências das queimadas; • Instalação de placas informativas em áreas estratégicas das comunidades rurais e estradas; • Execução de oficinas comunitárias sobre prevenção de queimadas **Prazos** • 6 meses: planejamento, capacitação e início das ações; • 12 meses: execução contínua e fortalecimento permanente da campanha.
TERRITÓRIO SUL SERGIPANO		
EIXO – Educação Ambiental em Conservação da Biodiversidade		
DIRETRIZ – Fortalecer ações educativas voltadas à conservação da biodiversidade costeira e marinha, proteção de manguezais e ecossistemas associados, integrando turismo sustentável e conservação ambiental.		
AÇÕES	OBJETIVOS	METAS
Realização de oficinas educativas com pescadores sobre períodos de defeso.	Promover a compreensão dos pescadores e comunidades costeiras e ribeirinhas sobre a importância do respeito ao período de defeso e do	**Espaço** Colônias de pescadores, associações comunitárias, comunidades ribeirinhas e costeiras, portos,

TERRITÓRIOS/EIXOS		
	uso responsável dos recursos pesqueiros, fortalecendo a conservação da biodiversidade, a segurança alimentar e a sustentabilidade da atividade pesqueira.	entrepostos pesqueiros, escolas comunitárias e espaços públicos dos municípios do território. **Metodologia** • Realização de ciclos contínuos de oficinas educativas sobre período de defeso, espécies protegidas e legislação pesqueira; • Rodas de conversa com pescadores e técnicos ambientais; • Produção e distribuição de materiais educativos sobre pesca sustentável; • Atividades práticas de identificação de espécies, tamanhos mínimos e técnicas seletivas de pesca; • Formação de multiplicadores ambientais nas comunidades pesqueiras; • Envolvimento direto de pescadores artesanais, jovens e lideranças comunitárias. **Prazos** • 6 meses: planejamento das oficinas, articulação com colônias de pesca e produção dos materiais educativos; • 12 meses: execução contínua das oficinas e atividades comunitárias; • 24 meses: consolidação do programa como ação permanente de educação ambiental e pesca sustentável no território.
Implementação de programa de educação ambiental intitulado “Recuperação de Florestas,	Apresentar estratégias e ações reais para restaurar e proteger fragmentos florestais da Mata Atlântica.	**Espaço**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
Água, Fauna e Áreas Protegidas no Sul Sergipano".		Áreas de preservação, fragmentos florestais, nascentes, margens de rios, Unidades de Conservação, escolas do entorno, trilhas ecológicas e espaços comunitários. **Metodologia** • Realização de mutirões ambientais periódicos de restauração ecológica; • Execução de plantios simbólicos e educativos com espécies nativas; • Implantação de trilhas educativas em áreas naturais e espaços restaurados; • Realização de rodas de conversa sobre nascentes, rios, matas ciliares, corredores ecológicos e biodiversidade; • Demonstração prática de técnicas simples de restauração (plantio, proteção de nascentes, manejo de espécies invasoras, recuperação de canteiros); • Atividades educativas sobre o papel das Unidades de Conservação, parques e reservas na proteção da biodiversidade; • Formação de grupos comunitários de apoio à conservação local. **Prazos** • 6 meses: planejamento técnico-pedagógico, seleção das áreas prioritárias e mobilização comunitária.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 12 meses: execução contínua dos mutirões, plantios, trilhas e formações práticas. • 24 a 36 meses: consolidação das ações como programa permanente de educação ambiental e expansão para novos territórios e comunidades.
Implementação de programa de formação intitulado “Somos a Mata Atlântica”.	Promover uma formação aberta e acessível à comunidade, oferecendo conteúdos, vivências e reflexões sobre os principais conceitos ligados à Mata Atlântica, o bioma mais ameaçado do Brasil. A campanha busca fortalecer a consciência ambiental, valorizar o território e incentivar ações coletivas de defesa da natureza**.**	**Espaço** Unidades escolares municipais e estaduais, associações comunitárias e sedes de bairros, praças públicas e áreas verdes urbanas, fragmentos florestais e unidades de conservação do território. **Metodologia** • Implantação do programa em todas as escolas da rede pública do território, iniciando pelas localizadas próximas a áreas de Mata Atlântica; • Realização de no mínimo 01 ciclo formativo por semestre em cada município; • Envolvimento direto de professores e estudantes; • Fortalecer o vínculo da população com a Mata Atlântica do próprio território, despertando pertencimento, responsabilidade e capacidade de atuação na defesa do bioma. **Prazos**

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 6 meses: mapeamento territorial das áreas de Mata Atlântica, articulação com escolas e elaboração do material pedagógico local. • 12 meses: execução dos ciclos formativos e primeiras ações comunitárias. • 24 meses: consolidação do programa como política permanente de educação ambiental municipal.
Realização de palestras e atividades práticas interativas que que busquem apresentar conceitos ecológicos e a importância do bioma Mata Atlântica.	Explicar, de maneira simples e envolvente, como os ecossistemas da Mata Atlântica funcionam e se conectam.	**Espaço** Salas de aula, áreas verdes urbanas, fragmentos de mata e trilhas locais e espaços comunitários abertos. **Metodologia** • Exposição dialogada sobre florestas, restingas, manguezais e matas de altitude; • Atividades práticas mostrando teias alimentares, ciclos da água, polinização, dispersão de sementes e relações entre fauna e flora; • Comparação entre áreas conservadas e áreas degradadas para evidenciar impactos ambientais; • Demonstrar a importância da Mata Atlântica para a qualidade de vida das pessoas; • Tornar conceitos ecológicos acessíveis a qualquer faixa etária; • Incentivar a percepção do bioma como parte do território e da identidade local.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazos • 6 meses: Planejamento e estruturação das ações, elaboração dos conteúdos educativos, formação inicial de educadores e monitores, e articulação dos espaços de execução (escolas, áreas verdes, fragmentos de mata, trilhas e espaços comunitários). • 12 meses: Execução contínua das atividades educativas (exposições, práticas ecológicas e análises de áreas conservadas e degradadas), com integração ao calendário escolar e comunitário, garantindo a consolidação das ações. • 24 meses: Avaliação e aperfeiçoamento das ações, consolidação como programa permanente de educação ambiental e ampliação para novos públicos, instituições e territórios.
Incentivar o reflorestamento através das seguintes atividades: • Realização de oficinas e palestras explicando a importância do reflorestamento; • Mobilização de escolas, associações e produtores rurais para adesão ao plantio; • Produção e distribuição de mudas nativas adequadas ao bioma; • Criação de "dia do plantio" envolvendo estudantes e comunidade.	Campanhas educativas e ações práticas para aumentar áreas verdes, restaurar ecossistemas e reduzir degradação ambiental.	**Espaço** As ações ocorrerão em áreas urbanas, rurais e escolares do Território Centro Sul, em parceria com associações comunitárias e produtores rurais. **Metodologia** Serão plantadas, de forma gradual, milhares de mudas nativas ao longo de 03 anos, envolvendo escolas, associações e comunidades, com implantação de sistema de monitoramento das áreas reflorestadas.

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		Prazo A execução ocorrerá entre 2026 e 2028, com metas anuais de plantio e acompanhamento ambiental.
Promover um conjunto de ações de conscientização e atividades práticas incorporadas a um programa intitulado “A Mochila do Educador Ambiental de Sergipe”.	Tem como objetivo dar apoio a professores rurais, coordenadores pedagógicos, agentes comunitários, técnicos agrícolas e agricultores familiares, oferecendo materiais educativos contextualizados às realidades ecológicas e produtivas do estado, do manguezal ao sertão.	**Espaço** Escolas do campo, comunidades rurais e assentamentos. **Metodologia** • Diálogo e troca de saberes; • Problematização da realidade local; • Rodas de experiências com agricultores; • Oficinas práticas com tecnologias sociais; • Trilhas interpretativas e leitura da paisagem; • Estudo prático com os materiais da mochila; • Planejamento participativo escola–comunidade; • A lógica pedagógica orientadora é: ver – refletir – agir – transformar. **Prazos** • 6 meses: Planejamento pedagógico da formação, elaboração e produção dos materiais da Mochila do Educador Ambiental e seleção dos territórios e mobilização das comunidades; • 12 meses: Realização do 1º ciclo formativo, acompanhamento inicial das ações escola–comunidade;

TERRITÓRIOS/EIXOS		
		• 24 meses: Consolidação do programa como política permanente de Educação Ambiental do campo.

Fonte: Elaboração Própria – FIA (2026).

8. ARTICULAÇÃO COM O PLANO ESTADUAL DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PEMAMC-SE)

O quarto capítulo do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), documento que, assim como o Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública, compõe o Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe (PEAC/SE), apresenta um conjunto de ações que visam à integração da Educação Ambiental ao enfrentamento das mudanças climáticas. Assim, existe uma clara articulação entre os documentos, a partir da construção de ações relacionadas em ambos os planos, conforme apresenta o Quadro 17, inserido a seguir.

Quadro 17: Ações relacionadas no PEACP-SE e PEMAMC-SE

AÇÃO RELACIONADA	DESCRIÇÃO	META
Criar um Programa de Capacitação em Mudanças Climáticas, contemplando as seguintes dimensões: ciência do clima, políticas de mitigação e adaptação, financiamento climático, monitoramento e avaliação, comunicação de riscos.	Desenvolvimento de 8 (oito) cursos temáticos, em modalidades presencial e virtual, para a capacitação de gestores públicos para a implementação do PEMAMC-SE e PEACP-SE.	Alcançar as seguintes marcas: • 6 meses: preparação do conteúdo didático dos cursos; • 12 meses: início da execução dos cursos de capacitação; • 48 meses: atingir a marca de 300 gestores públicos capacitados.
Inserção da Educação Ambiental nas diretrizes curriculares da educação básica.	Conjunto de ações que abrangem: • Capacitação de professores para a inserção da educação ambiental no Projeto Político-Pedagógico (PPP) das escolas públicas da rede estadual; • Elaboração de materiais didáticos, que contemplam cadernos temáticos e videoaulas; • Desenvolver ações de educação ambiental que incluem: o Desenvolvimento de projetos escolares; o Criação de um Prêmio Escola Sustentável; o Criação de uma Semana do Clima (no mês de junho); o Criação de uma biblioteca digital.	Alcançar as seguintes marcas: • 12 meses: Planejamento e divulgação do PPP reformulado, com a inserção das ações de educação ambiental; • 24 meses: Implementar a metodologia prevista em 100% das escolas públicas da rede estadual; • 36 meses: Implementar metodologia de acompanhamento e avaliação das ações de educação ambiental, assegurando a melhoria contínua do PPP.
Inserção de temáticas ambientais no Ensino Superior.	Conjunto de ações que incluem: • Inclusão de disciplinas obrigatórias ou optativas relacionadas a Mudanças Climáticas em cursos como Engenharias, Agronomia, Medicina, Enfermagem,	Assegurar a efetiva implementação, em até 24 meses, das seguintes atividades: • Inclusão de, no mínimo, 2 (duas) disciplinas obrigatórias ou optativas nos seguintes cursos de graduação: Engenharias, Agronomia, Medicina,

AÇÃO RELACIONADA	DESCRIÇÃO	META
	Arquitetura, Administração Pública, Direito e Comunicação Social; • Fomento a grupos de pesquisa sobre clima e sustentabilidade; • Oferta de cursos de extensão e especialização em Mudanças Climáticas, Energia Renovável, Gestão de Riscos, Desenvolvimento Sustentável.	Enfermagem, Arquitetura, Administração Pública, Direito, Comunicação Social; • Criar, no mínimo, 1 (um) grupo de pesquisa por ano; Ofertar, no mínimo, 4 (quatro) cursos de extensão e especialização.

Fonte: Elaboração Própria (FIA).

Nesse sentido, a implementação do PEACP-SE, não assegura apenas o alcance seus objetivos, como, também, o cumprimento de metas previstas no PEMAMC-SE, em face de sua integração no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC-SE). Ressalta-se, ainda, que as ações apresentadas no Quadro 17 estão estabelecidas para todos os territórios sergipanos, uma vez que também estão previstas no PEMAMC-SE, de âmbito estadual.

9. GOVERNANÇA E PARTICIPAÇÃO SOCIAL

A governança e a participação social constituem eixos estruturantes para a efetividade do Plano Estadual de Educação Ambiental e Conscientização Pública de Sergipe (PEACP/SE), reconhecendo que a educação ambiental e climática depende de processos colaborativos, intersetoriais e contínuos. A complexidade dos desafios socioambientais e climáticos exige arranjos institucionais capazes de articular diferentes escalas de governo, setores da Administração Pública e atores da sociedade civil, garantindo legitimidade, transparência e corresponsabilidade na implementação das ações previstas no plano.

No contexto do PEACP/SE, a governança é compreendida como um sistema de coordenação e cooperação entre órgãos governamentais, instituições de ensino, conselhos, comitês, organizações da sociedade civil, setor produtivo e comunidades locais. Essa abordagem busca superar modelos centralizados e fragmentados de gestão, promovendo a integração entre políticas públicas, a otimização de recursos e o fortalecimento da ação territorializada.

A participação social, por sua vez, é entendida como princípio e método da educação ambiental, conforme estabelecido pela Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795, de 1999), pela Política Estadual de Educação Ambiental (Lei nº 6.882, de 2010) e pela Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 9.364, de 2024). O PEACP/SE reconhece que a construção de uma cultura climática depende do envolvimento ativo da sociedade na formulação, implementação e aprimoramento das ações educativas, respeitando a diversidade sociocultural e territorial do Estado.

Nesse sentido, o processo de construção do PEACP/SE incorporou mecanismos formais de participação social, com destaque para a realização de consultas públicas, concebidas como instrumentos de escuta qualificada, transparência e legitimação democrática do plano. As consultas públicas permitiram ampliar o acesso da população às informações sobre o PEACP/SE e possibilitaram a apresentação de contribuições por

cidadãos, organizações da sociedade civil, instituições de ensino, setor produtivo, conselhos, comitês e demais atores interessados.

O processo de consulta pública foi estruturado de forma híbrida, contemplando, tanto a participação remota, quanto a participação presencial. A consulta pública online foi disponibilizada em formato aberto, por meio de plataforma digital, permanecendo acessível à população até o dia 10 de janeiro, garantindo maior alcance territorial e inclusão de diferentes públicos. Paralelamente, foram realizadas três consultas públicas presenciais, estrategicamente distribuídas nos territórios do Sertão, Agreste e Litoral, de modo a assegurar a escuta direta das especificidades regionais, das vulnerabilidades socioambientais e das demandas locais relacionadas à educação ambiental e à conscientização climática.

Além das consultas públicas, o PEACP/SE prevê a aplicação de questionários após cada ação de conscientização e capacitação pública, a fim de coletar a percepção dos participantes quanto à relevância do conteúdo apresentado e como este impactará suas práticas cotidianas. Tais contribuições servirão como subsídio para o monitoramento e avaliação da eficácia do PEACP/SE, de responsabilidade da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC e Secretaria de Estado da Educação – SEED, com o apoio da Comissão Interinstitucional de Educação Ambiental do Estado de Sergipe – CIEASE.

1.17 ARRANJOS INSTITUCIONAIS DE GOVERNANÇA DO PEACP/SE

A implementação do PEACP/SE será coordenada no âmbito do Poder Executivo Estadual, com protagonismo da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), em articulação com a Secretaria de Estado da Educação (SEED) e demais órgãos e entidades da Administração Pública estadual cujas políticas dialogam com os eixos temáticos do plano.

Essa coordenação intersetorial visa assegurar que a educação ambiental e climática esteja integrada às políticas de recursos hídricos, saneamento, biodiversidade, gerenciamento costeiro, licenciamento ambiental, combate à desertificação, defesa civil, planejamento urbano e desenvolvimento rural, fortalecendo a transversalidade do PEACP/SE e sua vinculação direta ao Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE).

No nível territorial, a governança do plano apoia-se nos oito Territórios de Planejamento do Estado de Sergipe, reconhecendo-os como espaços estratégicos para a articulação das ações educativas, a mobilização social e a adaptação das diretrizes do PEACP/SE às realidades locais.

1.18 INTEGRAÇÃO COM INSTÂNCIAS COLEGIADAS E MECANISMOS PARTICIPATIVOS

O PEACP/SE se articula às instâncias de participação social já existentes no Estado, evitando sobreposições institucionais e fortalecendo mecanismos consolidados de controle social e deliberação. Destacam-se, nesse contexto, os conselhos de meio ambiente, os conselhos de educação, os comitês de bacias hidrográficas, os conselhos gestores de unidades de conservação, os fóruns de povos e comunidades tradicionais e demais colegiados com atuação relevante na agenda ambiental e climática.

Essas instâncias constituem espaços privilegiados para o diálogo entre poder público e sociedade, contribuindo para a disseminação das diretrizes do PEACP/SE, o alinhamento de iniciativas locais, a troca de experiências e a identificação de demandas territoriais relacionadas à educação ambiental e climática. Sempre que pertinente, as ações do plano poderão ser apresentadas, debatidas e aprimoradas nesses fóruns, fortalecendo a legitimidade social do processo.

1.19 PARTICIPAÇÃO SOCIAL E PROTAGONISMO DOS ATORES LOCAIS

As contribuições oriundas das consultas públicas realizadas no processo de construção do Plano Estadual de Educação Ambiental e Conscientização Pública de Sergipe (PEACP/SE) constituem elemento fundamental para o aprimoramento, a legitimação social e o alinhamento territorial do plano. As manifestações recebidas por meio das consultas públicas virtuais e presenciais realizadas nas três regiões climáticas do Estado – Sertão, Agreste e Litoral – refletem percepções, demandas, sugestões e recomendações apresentadas por diferentes segmentos da sociedade.

As contribuições coletadas foram sistematizadas e analisadas pela equipe técnica responsável, considerando critérios de pertinência, viabilidade técnica, coerência normativa e articulação com as políticas públicas ambientais e climáticas vigentes. Esse processo visa assegurar que o PEACP/SE incorpore, de forma qualificada, os aportes da participação social, fortalecendo sua efetividade, legitimidade e aderência às realidades territoriais do Estado.

A participação social registrada nas consultas públicas revelou percepções distintas conforme as características territoriais de cada região climática. No Sertão, prevaleceu a preocupação com os efeitos diretos das mudanças climáticas sobre a segurança hídrica, a produção rural e as condições de vida das populações locais. As contribuições enfatizaram a necessidade de fortalecer o monitoramento climático por meio de estações meteorológicas operantes, de estruturar processos permanentes de

governança envolvendo agricultores familiares, pescadores e outros segmentos produtivos, e de utilizar o arcabouço legal já existente – incluindo normas sobre combate à desertificação e educação ambiental – como base concreta de atuação. As falas destacaram que a educação ambiental deve ser associada ao controle social, ao monitoramento e à cobrança por investimentos, superando a ideia de iniciativas pontuais e pouco institucionalizadas. Houve, também, defesa explícita da continuidade das consultas públicas como instrumento de inclusão e legitimidade. Adicionalmente, foi reiterada a importância de que a educação ambiental alcance não apenas o público escolar, mas toda a população, com enfoque em práticas cotidianas que impactam diretamente o território.

Um exemplo recorrente foi o desmatamento e o uso do fogo para "limpeza do terreno", prática muitas vezes adotada sem conhecimento dos seus efeitos negativos, tais como a degradação do solo, o risco de incêndios de maiores proporções e o aumento das emissões atmosféricas. As contribuições sugerem que ações educativas contínuas, articuladas a assistência técnica e extensão rural voltadas a agricultores e demais moradores, podem reduzir significativamente esses impactos e fortalecer uma cultura de prevenção.

No Agreste, as manifestações reforçaram que o Estado já dispõe de legislação relevante para educação ambiental e mudanças climáticas, mas que é indispensável fazê-la valer na prática. Além disso, surgiram contribuições diretamente relacionadas a iniciativas já em curso no território, com destaque para a atuação do programa Florestar-SE na arborização de diversos municípios. As falas sugeriram, de maneira objetiva, a arborização e adequação de escolas, bem como o planejamento da arborização urbana com critérios técnicos, incluindo a verificação de índice mínimo de área verde por habitante.

Também ganhou relevância a ampliação do alcance da educação ambiental, contemplando jovens, crianças, adultos, empresários e tomadores de decisão, com formação específica voltada à gestão pública e ao setor produtivo. Em paralelo, reiterou-se que dois pilares permanecem decisivos para a implementação: suporte jurídico e financiamento, sem os quais propostas tendem a não se materializar. Houve ainda forte crítica ao negacionismo e apelo por comunicação baseada em evidências científicas, vinculando educação ambiental à cidadania, fiscalização e estímulo para que municípios elaborem seus próprios planos climáticos.

Na região do Litoral, as falas convergiram em torno de três eixos: comunicação, conservação e governança. Primeiramente, observou-se que ainda há dificuldade

generalizada em diferenciar mitigação, adaptação e resiliência, bem como outros termos técnicos associados às mudanças climáticas. Essa constatação reforça a necessidade de estratégias educativas contínuas, que expliquem tais conceitos de forma clara, contextualizada e acessível, incluindo conteúdos como sumidouros de carbono, serviços ambientais e princípios como o poluidor-pagador, de modo a apoiar processos decisórios mais qualificados.

Entre as propostas apresentadas, destacou-se a criação de bolsas de iniciação científica para estudantes do ensino médio, voltadas ao aprendizado prático sobre cálculo e interpretação de emissões de gases de efeito estufa, favorecendo a formação de capacidades locais e o engajamento juvenil em temas climáticos. As contribuições também reforçaram a importância de valorização e continuidade de programas de educação ambiental já existentes, como o "Raízes do Amanhã", inicialmente desenvolvido nas escolas e atualmente integrados ao CRAS, ampliando seu alcance comunitário.

Foi igualmente citada a experiência do Município de São Cristóvão, onde tramita projeto de lei que trata a educação ambiental como política pública transversal, integrando diferentes setores da gestão municipal e fortalecendo sua institucionalização. Paralelamente, destacou-se a necessidade de reforçar a educação ambiental voltada à agricultura e pecuária, manejo do solo, capacitação sobre serviços ambientais e estímulo à geração de empregos verdes.

As falas trouxeram, ainda, referências diretas a princípios como justiça climática e ao poluidor-pagador, incluindo menção a iniciativas legislativas em discussão. Em complemento, emergiu a defesa da proteção de manguezais, áreas de preservação permanente e unidades de conservação como importantes sumidouros de carbono, associando educação ambiental à gestão costeira, erosão e ocupação de áreas de inundação, bem como à necessidade de maior integração entre órgãos estaduais, municípios, comitês de bacia e consórcios de resíduos, com melhor divulgação dos espaços de participação.

As contribuições colhidas reforçam que a educação ambiental climática no Estado de Sergipe deve assumir caráter estruturante, participativo e orientado à ação, articulando prevenção de riscos, fortalecimento das capacidades locais e promoção de uma cultura de corresponsabilidade socioambiental. A incorporação dessas percepções no PEACP/SE permite maior aderência territorial e contribui para a consolidação de processos educativos permanentes, integrados e socialmente legitimados.

1.20 TRANSPARÊNCIA, ARTICULAÇÃO INTERGOVERNAMENTAL E APRENDIZAGEM INSTITUCIONAL

A governança do PEACP/SE se baseia, ainda, nos princípios da transparência, da comunicação pública e da aprendizagem institucional contínua. A divulgação sistemática das ações, campanhas e resultados do plano contribui para ampliar o acesso à informação, fortalecer o controle social e estimular a participação de novos atores.

Para tanto, o progresso da execução do PEACP/SE será acompanhado e divulgado por meio da plataforma de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), a ser implementada no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE). A plataforma reunirá as ações previstas no Plano, os órgãos responsáveis e o andamento de sua execução, garantindo a transparência do PEACP/SE. Ademais, serão disponibilizados os contatos de cada órgão e instituição envolvidos na execução do Plano, possibilitando que a população apresente sugestões, contribuições e encaminhe demandas.

Ao promover a articulação entre Estado, municípios e sociedade, o PEACP/SE cria condições para o intercâmbio de experiências, a disseminação de boas práticas e o aprimoramento progressivo das estratégias educativas. Essa dinâmica favorece a construção de capacidades institucionais e sociais voltadas à mitigação e adaptação às mudanças climáticas, à conservação da biodiversidade e à promoção do desenvolvimento sustentável no território sergipano.

10. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

Em consonância com as disposições da Lei Estadual n° 6.882, de 08 de abril de 2010, que trata da Política Estadual de Educação Ambiental, o monitoramento e a avaliação da execução do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública, como elemento integrante da Política, fica a cargo da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC e da Secretaria de Estado da Educação – SEED, com o apoio da Comissão Interinstitucional de Educação Ambiental do Estado de Sergipe – CIEASE.

O monitoramento deverá ser iniciado a partir da implementação efetiva do Plano, considerando o **cumprimento das metas estabelecidas em cada ação, programa e projeto** propostos para os eixos temáticos, considerando o prazo determinado em cada eixo temático. A avaliação deverá ser realizada anualmente, e consolidada por meio de um **Relatório de Monitoramento e Avaliação**. Este Relatório deverá incluir, além da

atualização das metas, uma síntese do conteúdo e registro das ações de conscientização e capacitação realizadas.

Para complementar o processo de avaliação da eficácia do PEACP/SE, as ações de conscientização pública e capacitação técnica deverão ser acompanhadas das seguintes medidas de monitoramento:

- Registro dos participantes em listas de presença para cada ação, incluindo informações acerca do Município de residência e entidades que representam;
- Realizar questionários com os participantes após as ações, obtendo o retorno dos envolvidos acerca de como as campanhas e capacitações impactaram positivamente sua percepção sobre o tema e em suas atividades cotidianas, bem como sobre a relevância do conteúdo apresentado.

A partir dessas medidas, deverão ser criados indicadores de avaliação da eficácia de cada ação, que incluem:

- Taxa de reincidência dos participantes das campanhas de conscientização e capacitação, através da análise comparativa das listas de presença;
- Índice de aprovação do conteúdo apresentado, considerando sua relevância em cinco classificações (muito relevante, relevante, indiferente, pouco relevante, nada relevante);
- Índice de incorporação do conteúdo apresentado, considerando o grau de interesse dos participantes em aplicar as boas práticas (muito alto, alto, moderado, baixo, muito baixo).

Os indicadores quantitativos acima, aliados ao conteúdo programático e os materiais didáticos, servirão como subsídio para que os órgãos gestores e a CIEASE procedam à avaliação da eficácia do PEACP/SE, considerando seu papel como elemento transformador da sociedade e instrumento de mitigação e adaptação climática.

Ressalta-se que o Relatório de Monitoramento e Avaliação deverá conter uma análise crítica da execução do PEACP/SE, com a finalidade de assegurar a melhoria contínua do conteúdo apresentado, dos materiais didáticos distribuídos e o alcance dos objetivos propostos.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP/SE) foi elaborado com o objetivo primordial de direcionar a educação ambiental no Estado de Sergipe para o combate ao agravamento das mudanças climáticas, acrescentando ao Plano anterior, que já abordava temas relacionados, novas ações

voltadas às temáticas previstas pela Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei n° 9.364, de 2024.

A construção do PEACP/SE considerou a literatura especializada, as disposições das legislações pertinentes, as especificidades dos territórios sergipanos, bem como as contribuições oriundas das consultas públicas realizadas presencialmente nas três regiões climáticas do Estado (Sertão, Agreste e Litoral) e virtualmente, através do preenchimento de formulários digitais.

Entende-se, no entanto, que o alcance dos objetivos previstos neste Plano somente será possível através de um processo de melhoria contínua, exercido por meio da avaliação crítica do andamento do PEACP/SE a partir da elaboração de Relatórios anuais de Monitoramento e Avaliação, de que trata o item 10.

Além disso, é de fundamental importância a articulação dos entes responsáveis pela coordenação do PEACP/SE, bem como a busca por parcerias com secretarias municipais de educação e meio ambiente, instituições de ensino, associações de produtores, povos e comunidades tradicionais e demais representantes da sociedade civil para assegurar que as ações de conscientização e capacitação atinjam o público-alvo desejado e transformem a percepção climática da sociedade sergipana.

Nesse contexto, o Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE) apresentará, como um de seus produtos, um documento destinado a estruturar a governança climática do Estado de Sergipe, incluindo os mecanismos de articulação institucional necessários à execução do PEACP/SE e os demais planos e programas que o compõem.

12. REFERÊNCIAS

- BARBIERI, Edison. Biodiversidade: **a variedade de vida no planeta Terra – o conhecimento atual sobre biodiversidade**. São Paulo, abril 2010.
- BARCELOS, V; NOAL, F. **Educação Ambiental e Cidadania – Cenários Brasileiros**. Ed. Edunisc. 2ª ed. Santa Cruz do Sul, 2010.
- BIASOLI, S.; BRIANEZI, T. **Enfrentar a emergência climática inclui investir em educação ambiental de qualidade.** Brasília: Centro Soberania e Clima, 2024.
- BRASIL. **Constituição (1988), Artigo 225**. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Brasília, DF: Senado Federal, 5 out. 1988.
- BRASIL. **Decreto nº 96.999, de 20 de outubro de 1988**. Cria, no litoral do Estado de Sergipe, a Reserva Biológica de Santa Isabel e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 out. 1988.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Guia para elaboração dos programas de educação ambiental no licenciamento ambiental federal (LAF)**. Brasília: Ibama, 2019.
- BRASIL. **Lei 12.727 de outubro de 2012**. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº s 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nº s 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 out. 2012.
- BRASIL. **Lei n.º 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, 30 dez. 2009.
- BRASIL. **Lei n.º 14.926, de 17 de julho de 2024**. Altera a Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, para assegurar atenção às mudanças do clima, à proteção da biodiversidade e aos riscos e vulnerabilidades a desastres socioambientais no âmbito da Política Nacional de Educação Ambiental. Diário Oficial da União: Brasília, 18 jul. 2024.
- BRASIL. **Lei n.º 15.180, de 14 de janeiro de 2025**. Institui a Política Nacional de Incentivo à Visitação a Unidades de Conservação e autoriza o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e

os órgãos estaduais e municipais executores do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) a contratar instituição financeira oficial para criar e gerir fundo privado com os objetivos de financiar e de apoiar a visitação a unidades de conservação. Diário Oficial da União: Brasília, 15 jan. 2025.

- BRASIL. **Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, 02 set. 1981.
- BRASIL. Lei n.º 7.661, de 16 de maio de 1988. **Dispõe sobre a proteção da zona costeira e dá outras providências.** Diário Oficial da União: Brasília, 17 mai. 1988.
- BRASIL. **Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União: Brasília, 9 jan. 1997.
- BRASIL. **Lei n.º 9.795, de 27 de abril de 1999.** Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, 28 abr. 1999.
- BRASIL. **Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, 19 jul. 2000.
- BRASIL. **Lei nº 12.651 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mai. 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Uma proposta de política pública: parâmetros e diretrizes para a educação ambiental no contexto das mudanças climáticas causadas pela ação humana**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Documento descritivo contendo proposta de campanha sobre educação ambiental e mudanças climáticas, incluindo estratégia de execução.** Produto n.º 02 do Projeto BRA/00/011. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; PNUD, 2010.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil. **Livro da UNCCD: Desertificação e Terras Secas**. Brasília, DF: MMA, 2004.
- BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de Ação Nacional de **Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**, PAN-Brasil. Brasília: MMA, 2004, 242 p.
- CASTELHANO, F. J.; PINTO, J. E. S. de S. **Tendências e alterações climáticas no Estado de Sergipe, nordeste do Brasil**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 42, e185565, 2022. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.185565.
- CASTELHANO, Francisco Jablinski; PINTO, Josefa Eliane Santana de Siqueira. **Tendências e alterações climáticas no Estado de Sergipe, nordeste do Brasil.** Revista do Departamento de Geografia, v. 42, 2022. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.185565.
- CHEEK, M., LUGHADHA, E. N., KIRK P., LINDON H., CARRETERO J., LOONEY B., DOUGLAS B., HAELEWATERS D., GAYA E., LLEWELLYN T., AINSWORTH A. M., GAFFOROV Y., HYDE K., CROUS P., HUGHES M., WALKER B. E., FORZZA R. C., WONG K. M. & NISKANEN T. 2020. ***New scientific discoveries*: Plants and fungi**. PPP 2: 371-388.
- COSENZA, A. & MARTINS, I. **Educação ambiental para justiça ambiental no contexto escolar: discursos e práticas docentes**. *Pesquisa em Educação Ambiental*, v. 13, número especial, p. 115–127, 2018. DOI: 10.18675/2177-580X.vol13.Especial.p115-127.
- FAITH, D. (2021) ***Biodiversity, The Stanford Encyclopedia of Philosophy***, Edward N. Zalta (ed.), Spring Edition.
- GABELINI, S. M. **Manual Prático de Unidades de Conservação: Ministério Público do Estado de Goiás**. ESMP, 2011, 79 p.
- GIDDENS, A. **A política da mudança climática**. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.
- LAYRARGUES, P. P.; LIMA, G. F. da C. **As macrotendências político-pedagógicas da educação ambiental brasileira**. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 23–40, jan./mar. 2014. DOI: 10.1590/1809-44220003500.
- LIMA, G. F. C. **Educação Ambiental e Mudança Climática: convivendo em contextos de incerteza e complexidade**. Ambiente & Educação, v. 18, 2013.
- LOUREIRO, C. **Educação ambiental no contexto de medidas mitigadoras e compensatórias: o caso do licenciamento**. Capítulo 1: Educação ambiental no licenciamento: aspectos legais e teórico-metodológicos. Ed. IMA. Salvador, 2009.

- MACHADO, S; LOUREIRO, C; LEITE, R; BRITO, T; VASCONCELOS, F. **Educação Ambiental no processo de licenciamento**. Revista Educação Ambiental em Ação, 2012.
- MARANHÃO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Plano de Educação Ambiental do Estado do Maranhão**. São Luís: Governo do Estado do Maranhão, 2018.
- MARTINS, J. P. A.; SCHNETZLER, R. P. **Formação de Professores em educação ambiental crítica centrada na investigação-ação e na parceria colaborativa.** Revista Ciência e Educação, Bauru, v. 24, n. 3, p. 581-598, 2018.
- MATALLO JÚNIOR, H.; SCHENKEL, C. S. *Desertificação*. Brasília: UNESCO, 1999.
- MORTATTI, Maria do Rosário Longo. **Cartilha de alfabetização e cultura escolar: um pacto secular.** Cad. CEDES, Campinas, v. 20, n. 52, p. 41-54, Nov. 2000.
- OBSERVATÓRIO DE SERGIPE. **Panorama dos municípios sergipanos**. Aracaju: Observatório de Sergipe, Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão, Governo do Estado de Sergipe, 2026.
- OLIVEIRA, D.R.M. **Educação Ambiental: Uma Contribuição para a Análise da Crise Climática**. Pleiade, 17(38): 22-33, Jan.-Mar., 2023 DOI: 10.32915/pleiade.v17i38.903.
- OLIVEIRA, N. C. R. de., OLIVEIRA, F. C. S., & CARVALHO, D. B.2021. **Educação ambiental e mudanças climáticas: análise do Programa Escolas Sustentáveis.** Ciência & Educação (bauru), 27, e21068. https://doi.org/10.1590/1516-731320210068
- RABY, M. (2017) ***American Tropics: The Caribbean roots of biodiversity science.*** The University of North Carolina Press, Chapel Hill.
- SERGIPE. **Decreto Estadual nº 24.922 de 21 de dezembro de 2007.** Dispõe sobre a criação MONA Grota do Angico.
- SERGIPE. **Decreto nº 13.468 de 22 de janeiro de 1993.** Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Litoral Sul.
- SERGIPE. **Decreto nº 13.713 de 16 de junho de 1993.** Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Morro do Urubu.
- SERGIPE. **Decreto nº 15.405 de 14 de julho de 1995.** Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Morro do Urubu.
- SERGIPE. **Decreto nº 24.944 de 26 de dezembro de 2007.** Dispõe sobre a criação do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco.
- SERGIPE. **Decreto nº 30.523 de 2017.** Dispõe sobre a criação ARIE Mata do Cipó.

- SERGIPE. **Decreto nº 40.515 de 21 de janeiro de 2020.** Dispõe sobre a criação do Parque Estadual Marituba.
- SERGIPE. **Lei n.º 6.882, de 22 de dezembro de 2010**. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Estadual de Educação Ambiental, e dá providências correlatas. Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe.
- SERGIPE. **Lei n.º 8.497, de 2018**. Dispõe sobre o Procedimento de Licenciamento Ambiental no Estado de Sergipe e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe.
- SERGIPE. **Lei n.º 8.785, de 06 de novembro de 2020**. Institui a Política Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe.
- SERGIPE. **Lei nº 8.793 de 17 de dezembro de 2020**. Altera o inciso II do parágrafo único do art. 1º, o art. 16, os Anexos I e II, bem como insere o art. 8º-A e o parágrafo único do art. 18 da Lei nº 8.635, de 27 de dezembro e 2019, que institui o Cadastro Técnico Estadual de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais e a Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental - TCFA/SE, e dá providências correlatas. Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe.
- SERGIPE**. Lei Ordinária n.º 9.364, de 05 de janeiro de 2024: institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe – PEMC/SE, e dá providências correlatas.** Diário Oficial do Estado de Sergipe, Aracaju, 5 jan. 2024.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade. **Plano de Educação Ambiental do Estado de Sergipe**. Aracaju: Governo do Estado de Sergipe, 2022.
- STROHAECKER. Tânia Marques. **A Urbanização no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul: contribuição para a gestão urbana ambiental do município de Capão da Canoa.** 2v.il. Tese de Doutorado em Geociências. Porto Alegre: UFRGS, 2007.
- TOZONI-REIS, Marília Freitas de C.; CAMPOS, Luciana Maria Lunardi. **Educação ambiental escolar, formação humana e formação de professores: articulações necessárias**. Educar em Revista, v. 30, n. especial 3, p. 145-162, 2014.
- TRAVASSOS, Ibrahim; CUNHA, Tássio; LINHARES, Franklin; SANTOS, José Yure; COELHO, Victor. (2009). **Notas sobre o conceito de desertificação no brasil e no mundo**. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada At: Viçosa – MG.
- VIEGAS, Patrícia de Lourdes; NEIMAN, Zysman. **A prática de educação ambiental no âmbito do ensino formal: estudos publicados em revistas acadêmicas brasileiras.** Pesquisa em Educação Ambiental, v. 10, n. 2, p. 45-62, 2015.

- ZEZZO, L. V.; COLTRI, P. P. **Educação em mudanças climáticas no contexto brasileiro: uma revisão integrada**. Terra e Didática, v. 18, e022039, 2022.

13. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: FLUXO METODOLÓGICO DE ELABORAÇÃO DO PEACP/SE 13
FIGURA 2: FLUXO METODOLÓGICO DAS CAMPANHAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO.... 14
FIGURA 3: EIXOS TEMÁTICOS DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CLIMÁTICA 31

14. LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: PÚBLICOS-ALVO E ESTRATÉGIAS DE ALFABETIZAÇÃO CLIMÁTICA DO PEACP/SE..... 8
QUADRO 2: CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE INSTITUCIONALIZAÇÃO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL NOS MUNICÍPIOS 28
QUADRO 3: DISTRIBUIÇÃO DOS MUNICÍPIOS POR TERRITÓRIO DE PLANEJAMENTO SEGUNDO TIPOLOGIA INSTITUCIONAL ADOTADA PARA FINS DE PLANEJAMENTO DO PEACP/SE..... 30
QUADRO 4. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL FORMAL..... 34
QUADRO 5. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL NÃO-FORMAL 98
QUADRO 6. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL E EDUCOMUNICAÇÃO 142
QUADRO 7. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM SANEAMENTO 163
QUADRO 8. CATEGORIA DE UCS DE PROTEÇÃO INTEGRAL 200
QUADRO 9. CATEGORIA DE UCS DE USO SUSTENTÁVEL 201
QUADRO 10. CARACTERIZAÇÃO DAS SEIS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO ESTADUAIS DE SERGIPE. 203
QUADRO 11. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. 205
QUADRO 12. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO COMBATE À DESERTIFICAÇÃO 249
QUADRO 13. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL 284
QUADRO 14. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM RECURSOS HÍDRICOS E GERENCIAMENTO COSTEIRO..... 316
QUADRO 15. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS 378
QUADRO 16. DIRETRIZES POR TERRITÓRIO DO EIXO EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE 436
QUADRO 17: AÇÕES RELACIONADAS NO PEACP-SE E PEMAMC-SE..... 496

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Minutas de normativos, documentos, modelos, informações de apoio e diretrizes necessárias para viabilizar a adequação normativa da legislação estadual ao novo Plano de Ações Climáticas; (Produto 2.4)

São Paulo, janeiro/2026

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS 3

2. MARCO REGULATÓRIO DE REFERÊNCIA 3

3. MINUTAS APRESENTADAS 3

3.1. DECRETO REGULAMENTADOR 3
3.2. PORTARIA SEMAC 4

4. ANEXOS 5

4.1. ANEXO 1 - MINUTA DE DECRETO 5
4.2. ANEXO 2 – MINUTA PORTARIA 10

1. APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

A elaboração deste documento técnico integra o escopo do Contrato nº 08/2025, firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e a Fundação Instituto de Administração (FIA). O projeto tem como objeto a prestação de serviços especializados para a construção do Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe (PEAC/SE), visando orientar a transição do Estado para uma economia de baixo carbono e fortalecer sua resiliência frente aos impactos das mudanças do clima.

O Produto 2.4 constitui o suporte jurídico e institucional necessário para a plena operacionalização da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024). Sua finalidade é estabelecer a segurança jurídica para que o Estado de Sergipe possa implementar as metas de mitigação e adaptação desenhadas nos produtos anteriores, garantindo a integração entre o planejamento técnico e a execução normativa.

Para tal, são apresentadas, em anexo, minutas dos normativos necessários para viabilizar a adequação normativa da legislação estadual ao novo Plano de Ações Climáticas.

2. MARCO REGULATÓRIO DE REFERÊNCIA

A fundamentação deste Relatório pauta-se na Lei Estadual nº 9.364, de 2024, que determina a promoção de processos educativos e administrativos para a mitigação de emissões e adaptação climática. O arcabouço normativo proposto está em estrita conformidade com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187, de 2009) e com os compromissos brasileiros no âmbito do Acordo de Paris.

3. MINUTAS APRESENTADAS

3.1. DECRETO REGULAMENTADOR

A minuta regulamenta a criação do Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas, órgão de caráter consultivo e composição tripartite. A estrutura prevista contempla nove membros titulares, sendo seis representantes do Governo do Estado e três da sociedade civil, incluindo a ALESE e a UFS.

O normativo define, também, o PAC/SE como o instrumento central de efetivação da política ambiental, obrigando a consideração da dimensão climática em todos os processos decisórios de programas governamentais.

3.2. PORTARIA SEMAC

A minuta institui formalmente o Plano de Mitigação e Adaptação Climática de Sergipe, organizando a execução em cinco eixos estratégicos com metas definidas para 2030, 2035 e 2050. O texto formaliza a competência da SEMAC para coordenar a implementação de forma articulada com as demais secretarias setoriais, utilizando o sistema MRV (Monitoramento, Relato e Verificação) para assegurar a transparência das metas.

4. ANEXOS

4.1. ANEXO 1 - MINUTA DE DECRETO

Minuta de decreto que regulamenta a Política Estadual de Mudanças Climáticas, institui o Comitê Estadual de Mudanças Climáticas e dá outras providências.

GOVERNO DO ESTADO DE SERGIPE
DECRETO Nº ___, DE ___ DE NOVEMBRO DE 2025

Regulamenta a Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, que dispõe sobre a Política Estadual de Mudanças Climáticas, institui o Comitê Estadual de Mudanças Climáticas e dá outras providências.

O **GOVERNADOR DO ESTADO DE SERGIPE**, no uso das atribuições que lhe são conferidas nos termos do art. 84, incisos V, VII e XXI, da Constituição Estadual, e de acordo com a Lei nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024,

DECRETA:

Art. 1º Este Decreto regulamenta a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe, instituída pela Lei nº 9.364, de 2024.

Art. 2º O Plano de Ações Climáticas (PAC) de Sergipe é o instrumento de efetivação da Política Estadual de Mudanças Climáticas e será elaborado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC, com a finalidade de indicar estratégias e medidas destinadas à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e ao fortalecimento da capacidade de adaptação às mudanças climáticas no Estado de Sergipe.

Parágrafo único. Será obrigatória a consideração da dimensão climática nos processos decisórios relativos a políticas públicas e programas governamentais, de modo a incentivar e controlar a adoção de ações de pesquisa, adaptação e mitigação das emissões dos referidos gases.

Art. 3º Serão observadas as seguintes diretrizes para a elaboração do Plano de Ações Climáticas do Estado de Sergipe:

I – a identificação, avaliação e priorização de medidas para enfrentar desastres naturais recorrentes, reduzindo a vulnerabilidade e a exposição dos sistemas ambiental, social, econômico e de infraestrutura, em áreas rurais e urbanas, bem como os efeitos adversos atuais e futuros das mudanças climáticas nos âmbitos local, municipal e estadual;

II – a gestão e a redução do risco climático diante dos impactos negativos das mudanças do clima, de modo a estimar, minimizar ou evitar perdas e danos, bem como planejar e priorizar a gestão coordenada de investimentos, com base no grau de vulnerabilidade definido pela Política Estadual de Mudanças Climáticas;

III – o estabelecimento de instrumentos de políticas públicas de natureza econômica, financeira e socioambiental que garantam a viabilidade e a efetividade das ações de adaptação dos sistemas ambiental, social, econômico e de infraestrutura crítica;

IV – a integração entre as estratégias de mitigação e adaptação nos âmbitos local, municipal e estadual, em consonância com os compromissos assumidos no Acordo de Paris, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC);

V – a definição de prioridades com base nos setores e regiões mais vulneráveis, a partir da identificação das vulnerabilidades, mediante estudos de análise de riscos e vulnerabilidades climáticas;

VI – a adoção de soluções baseadas na natureza como parte das estratégias de adaptação, considerando seus benefícios adicionais e sua capacidade de integrar resultados de mitigação e adaptação simultaneamente;

VII – o monitoramento e a avaliação das ações previstas, bem como a implementação de processos de governança inclusivos para revisão dos planos a cada quatro anos, orientados pelo ciclo dos planos plurianuais;

VIII – a promoção da pesquisa, do desenvolvimento e da inovação, voltados:

a) à redução da vulnerabilidade dos sistemas naturais, humanos, produtivos e de infraestrutura, bem como à busca de novas tecnologias que favoreçam sua adaptação;
b) ao acompanhamento dos impactos das medidas de adaptação adotadas nos âmbitos local, municipal, estadual, regional e nacional;
c) à difusão de dados, informações, conhecimentos e tecnologias, promovendo o intercâmbio entre pesquisadores e técnicos;
d) à disseminação da informação, da educação, da capacitação e da conscientização pública acerca das medidas de adaptação e de seus benefícios, visando à resiliência dos ambientes vulneráveis às mudanças climáticas.

Art. 4º A identificação das vulnerabilidades e a gestão dos riscos climáticos deverão ser consideradas na formulação do Plano Estadual de Mudanças Climáticas, bem como nas políticas setoriais, de desenvolvimento e de ordenamento territorial.

Art. 5º O Plano de Ações Climáticas deverá ser implementado com base nos seguintes eixos de atuação:
I – diagnóstico climático, com o objetivo de fornecer estimativas das emissões de GEE no Estado, bem como informações detalhadas sobre as iniciativas em andamento;

II – elaboração de inventário estadual, com a finalidade de apresentar estimativas e identificar, de forma criteriosa, as principais atividades e setores que contribuem para as emissões de GEE no Estado;

III – desenvolvimento de plano integrado, alinhado às diretrizes nacionais e estaduais para mitigação das mudanças climáticas, definindo as estratégias e medidas necessárias à sua execução;

IV – criação de mecanismos de monitoramento contínuo, que possibilitem o acompanhamento da implementação do plano, assegurando que seus objetivos sejam efetivamente alcançados e que os resultados sejam mensuráveis, verificáveis e passíveis de revisão periódica;

V – instituição de estrutura de governança climática, eficiente, participativa e integrada, no âmbito do Governo do Estado de Sergipe, apta a coordenar e sustentar a execução do Plano de Ações Climáticas;

VI – definição das fontes de financiamento necessárias à efetiva implementação do Plano de Ações Climáticas de Sergipe.

Art. 6º Os órgãos e entidades da Administração Pública Estadual, sempre que solicitados, deverão fornecer as informações indispensáveis à execução e ao monitoramento do Plano de Ações Climáticas de Sergipe.

Art. 7º Fica criado, nos termos deste Decreto, o Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas, de caráter consultivo e composição tripartite, integrado por representantes do Governo do Estado, dos municípios e da sociedade civil, com a finalidade de acompanhar a implementação e monitorar a execução da Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC, nos termos do § 2º do art. 42 da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024.

Art. 8º O Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas será composto por 9 (nove) membros titulares e seus respectivos suplentes, na seguinte forma:

I – seis representantes do Governo do Estado, sendo:

a) um da Casa Civil;
b) um da Secretaria do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Mudanças Climáticas;
c) um da Secretaria de Desenvolvimento Econômico;
d) um da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação;
e) um da Secretaria de Agricultura e Abastecimento;
f) um da Secretaria de Estado da Saúde;

II – três representantes da sociedade civil, sendo:

a) um indicado pela Assembleia Legislativa;
b) um indicado pela Universidade Federal de Sergipe;
c) um representante de organização socioambiental atuante na área de mudanças climáticas.

§ 1º Os representantes do Governo do Estado serão indicados pelos titulares das Secretarias mencionadas no inciso I deste artigo.

§ 2º O representante da Universidade Federal de Sergipe será indicado pela autoridade máxima da instituição.

§ 3º O representante da organização socioambiental atuante na área de mudanças climáticas será escolhido mediante processo seletivo, conforme edital expedido pela SEMAC.

§ 4º Os membros titulares e suplentes do Comitê serão designados pelo Governador do Estado para exercer mandato de 2 (dois) anos, permitida uma recondução por igual período.

Art. 9º Compete ao Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas:

I – acompanhar as ações de implementação do PAC;

II – expedir recomendações sobre matérias relacionadas à execução do PAC;

III – promover, junto à sociedade civil, o debate acerca das mudanças climáticas, da conservação da diversidade biológica e do cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS;

IV – estabelecer diretrizes a serem observadas pelos órgãos e entidades estaduais na elaboração de seus planejamentos, programas e ações relativos ao PAC, após manifestação do Conselho Estadual do Meio Ambiente.

Art. 10. As reuniões do Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas poderão ser realizadas em formato remoto e serão coordenadas pelo representante da SEMAC.

§ 1º O Comitê deliberará por maioria de votos, cabendo ao Coordenador o voto de qualidade em caso de empate.

§ 2º Por decisão da maioria dos membros, o Comitê poderá convidar especialistas e representantes de outros órgãos ou instituições para participar das reuniões, sem direito a voto.

Art. 11. O Comitê reunir-se-á ordinariamente a cada três meses e, extraordinariamente, sempre que necessário, mediante convocação de seu Coordenador.

Art. 12. As metas de mitigação e de adaptação estabelecidas no Plano de Ações Climáticas serão incorporadas, de forma obrigatória, aos instrumentos de planejamento e orçamento do Estado, observado o disposto nos arts. 165 a 167 da Constituição Federal.

§ 1º O Poder Executivo, na elaboração das propostas do Plano Plurianual – PPA, da Lei de Diretrizes Orçamentárias – LDO e da Lei Orçamentária Anual – LOA, fará constar programas, ações e indicadores climáticos vinculados às metas do Plano de Ações Climáticas, com a respectiva previsão de dotações orçamentárias.

§ 2º O Plano Plurianual conterá indicadores de resultado relativos à redução das emissões de gases de efeito estufa e à adaptação climática, com metas físicas e financeiras aferíveis ao longo de seu período de vigência.

§ 3º A Lei de Diretrizes Orçamentárias incluirá, entre as prioridades e metas da administração pública estadual, as ações climáticas de execução prioritária no exercício, na forma do art. 165, § 2º, da Constituição Federal.

§ 4º A SEMAC, em articulação com a Secretaria de Estado da Fazenda e com o órgão central de planejamento e orçamento, fornecerá os subsídios técnicos e os indicadores climáticos necessários à observância deste artigo.

Art. 13. O Estado adotará instrumentos econômicos e tributários de estímulo à redução das emissões de gases de efeito estufa e à conservação ambiental, entre os quais:

I – o critério ambiental e climático na distribuição da parcela da cota-parte municipal do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – ICMS (ICMS Ecológico), observado o disposto no art. 158, § 1º, inciso II, da Constituição Federal;

II – a diferenciação de alíquotas do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores – IPVA em função do tipo e da utilização do veículo, com tratamento favorecido aos veículos de menor emissão (IPVA verde), na forma do art. 155, § 6º, inciso II, da Constituição Federal.

§ 1º A instituição, a majoração ou a concessão dos benefícios de que trata este artigo dependerá de lei específica, observados o art. 150, § 6º, da Constituição Federal, e o art. 14 da Lei Complementar federal nº 101, de 4 de maio de 2000.

§ 2º A SEMAC e a Secretaria de Estado da Fazenda editarão ato conjunto para definir os critérios, os indicadores e os parâmetros técnico-ambientais de aferição dos benefícios de que trata este artigo, bem como os respectivos procedimentos de monitoramento e de revisão periódica.

§ 3º O Poder Executivo encaminhará à Assembleia Legislativa as proposições legislativas necessárias à instituição ou à adequação dos instrumentos previstos neste artigo, acompanhadas da estimativa de impacto orçamentário-financeiro exigida pela legislação de responsabilidade fiscal.

Art. 14. Fica instituída, no âmbito da Política Estadual de Mudanças Climáticas, a diretriz de alfabetização climática, compreendida como o conjunto de ações educativas destinadas a promover o conhecimento sobre as causas, os impactos e as respostas às mudanças do clima.

§ 1º A alfabetização climática será promovida de forma transversal e permanente, mediante:

I – a integração de conteúdos sobre mudanças climáticas às ações de educação ambiental desenvolvidas na rede estadual de ensino, em articulação com a Secretaria de Estado da Educação e observada a Lei federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999;

II – a capacitação continuada dos agentes públicos estaduais em matéria de clima e sustentabilidade;

III – a realização de campanhas de comunicação e de conscientização pública, nos termos do art. 225, § 1º, inciso VI, da Constituição Federal.

§ 2º A SEMAC coordenará a execução da diretriz de que trata este artigo em articulação com os demais órgãos e entidades estaduais competentes.

Art. 15. O Secretário de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Mudanças Climáticas expedirá normas complementares para a fiel execução deste Decreto.

Art. 16. Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Governo do Estado de Sergipe, Aracaju, ___ de novembro de 2025.

FÁBIO MITIDIERI
Governador do Estado de Sergipe

4.2. ANEXO 2 – MINUTA PORTARIA

Minuta de portaria que institui formalmente o Plano de Mitigação e Adaptação Climática de Sergipe, organizando a execução em cinco eixos estratégicos com metas definidas para 2030, 2035 e 2050.

PORTARIA SEMAC Nº ___, DE 02 DE FEVEREIRO DE 2026

A SECRETÁRIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AÇÕES CLIMÁTICAS - SEMAC, no uso das atribuições que lhe são conferidas nos termos do art. 90 da Constituição Estadual e do art. 35, inciso XVI, da Lei nº 9.156, de 08 de janeiro de 2023; e:

CONSIDERANDO que compete à SEMAC a formulação e a gestão da política estadual de mudanças climáticas, conforme o art. 43 da Lei nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024;

CONSIDERANDO a Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima;

CONSIDERANDO o Decreto Federal nº 9.578, de 22 de novembro de 2018, que regulamenta a Política Nacional sobre Mudança do Clima;

CONSIDERANDO o disposto no art. 225, § 1º, inciso VI, da Constituição Federal, que incumbe ao Poder Público promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente;

CONSIDERANDO a necessidade de regulamentar a aplicação da política estadual de mudanças climáticas, visando diminuir os impactos ambientais, econômicos e sociais das ações antrópicas no meio ambiente;

CONSIDERANDO a importância da participação de todos os setores da sociedade na redução de Gases de Efeito Estufa (GEE) e na preservação do meio ambiente;

RESOLVE:

Art. 1º Instituir o Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe, conforme o Anexo I desta Portaria, nos termos do Decreto nº _____ e da Lei nº 9.364, de 2024.

§ 1º O Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas constitui um instrumento de planejamento e gestão, com o objetivo de promover a redução da emissão de gases de efeito estufa e o fortalecimento da capacidade adaptativa até 2050.

§ 2º A estratégia e o plano são compostos pelos seguintes eixos:

Eixo 1: Monitoramento Climático e Fortalecimento da Base Diagnóstica, com meta para 2030;

Eixo 2: Governança Climática Participativa, com metas para 2030, 2040 e 2050;

Eixo 3: Mitigação e Adaptação Climática, com metas para 2035 e 2050;

Eixo 4: Financiamento Climático e Incentivos Econômicos, com metas para 2030;

Eixo 5: Justiça Climática e Inclusão Socioambiental, com metas para 2032.

Art. 2º A Estratégia e o Plano de Mitigação e Adaptação frente às mudanças climáticas apresentam as medidas a serem executadas pelo Poder Executivo no período de 2026-2050, em alinhamento aos programas, planos e instrumentos planejados e existentes. O referencial estratégico baseia-se nas metas nacionais de redução de gases de efeito estufa recomendadas pela Comissão Interministerial sobre Mudança do Clima, por meio dos Decretos Federais nºs 11.550/2023 e 12.040/2024, com os seguintes objetivos:

I - Elaborar e atualizar periodicamente os inventários estaduais de emissões e remoções de GEE, estudos de vulnerabilidade climática e cenários climáticos futuros;

II - Estruturar mecanismos de coordenação interinstitucional e participação social, assegurando a integração entre órgãos públicos, academia, setor produtivo, comunidades tradicionais e sociedade civil organizada;

III - Promover a coerência e sinergia entre políticas setoriais (agricultura, energia, recursos hídricos, mobilidade, saúde e infraestrutura);

IV - Implantar um sistema estadual de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) das metas climáticas, com revisões quadrienais e estratégias de financiamento sustentável;

V - Priorizar políticas que reduzam desigualdades socioambientais, com foco em populações vulneráveis e transição justa entre as zonas do Sertão, Agreste e Litoral;

VI - Integrar programas de educação ambiental e comunicação pública para fortalecer a cultura climática no território sergipano.

Art. 3º A SEMAC coordenará a implementação da Estratégia e do Plano de Mitigação e Adaptação 2026-2050 de maneira articulada com as demais Secretarias e órgãos responsáveis pela execução do plano de ação.

§ 1º O Plano deverá ser avaliado e revisado em 2030, conforme o art. 2º, inciso IX, da Lei Federal nº 14.904, de 27 de junho de 2024.

§ 2º A implementação será acompanhada pelo Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas, nos termos do art. 42, inciso II, da Lei nº 9.364/2024.

§ 3º A execução dos projetos estratégicos é de competência da SEMAC, que poderá contar com apoio institucional e colaboração de entidades públicas, privadas e outros parceiros.

Art. 4º Deverá ser realizada, sempre que possível, a avaliação da dimensão climática nos processos decisórios de políticas públicas e programas, conforme o art. 49 da Lei nº 9.364/2024.

Art. 5º As atividades dos projetos estratégicos serão contínuas, visando à transição para uma economia de baixo carbono, a redução progressiva de emissões de GEE e a ampliação de sumidouros naturais.

Art. 6º O sistema estadual de Monitoramento, Relato e Verificação – MRV, previsto no art. 2º, inciso IV, será estruturado com desagregação territorial por bacia hidrográfica, de modo a permitir a mensuração das emissões e das remoções de gases de efeito estufa e o acompanhamento das medidas de adaptação em cada unidade de gestão de recursos hídricos do Estado.

§ 1º O monitoramento por bacia hidrográfica observará as unidades de planejamento e gestão definidas pela Política Estadual de Recursos Hídricos e será integrado aos inventários estaduais de emissões e aos estudos de vulnerabilidade climática.

§ 2º Os dados do MRV por bacia hidrográfica serão consolidados em base pública, com atualização periódica e revisões quadrienais, asseguradas a transparência e a comparabilidade das informações.

§ 3º A SEMAC definirá, em ato próprio, a metodologia, os indicadores e os prazos de reporte do monitoramento por bacia hidrográfica, em articulação com os órgãos gestores de recursos hídricos.

Art. 7º No âmbito do Eixo 5 – Justiça Climática e Inclusão Socioambiental, a SEMAC promoverá ações de alfabetização climática, com o objetivo de ampliar o conhecimento público sobre as causas e os efeitos das mudanças do clima e sobre as medidas de mitigação e de adaptação.

§ 1º As ações de alfabetização climática serão desenvolvidas em articulação com a Secretaria de Estado da Educação e demais órgãos competentes, observados a Lei federal nº 9.795, de 1999, e o art. 225, § 1º, inciso VI, da Constituição Federal.

§ 2º Serão priorizadas ações voltadas às populações mais vulneráveis e às zonas do Sertão, do Agreste e do Litoral, em consonância com o art. 2º, inciso V, desta Portaria.

Art. 8º As estratégias de monitoramento, financiamento, mitigação, adaptação e comunicação serão publicadas no sítio eletrônico da SEMAC em até 180 (cento e oitenta) dias, contados da data da publicação desta Portaria.

Art. 9º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

Gabinete da Secretária de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas, em Aracaju – Sergipe, 02 de fevereiro de 2026.

ANEXO I

Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas - PEMAMC

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Modelagem do Sistema de Alerta de Eventos Climáticos Extremos (Produto 2.5)

São Paulo, janeiro/2026

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 3

2. OBJETIVOS 3

3. METODOLOGIA 4

3.1. DEFINIÇÃO DAS PREMISSAS E RESTRIÇÕES 4
3.2. PROCESSO GERAL DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA 4

4. ESTRUTURA DO SISTEMA DE ALERTA PARA EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS 5

4.1. MODELAGEM DO SISTEMA DE ALERTA PARA EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS 6

4.1.1. ENTRADAS (INPUTS) 7
4.1.2. PROCESSOS E REGRAS DE TRANSFORMAÇÃO 8
4.1.3. SAÍDAS (OUTPUTS) 9
4.1.4. INTERAÇÕES 9
4.1.5. LIMITES DO SISTEMA 10

4.2. ARQUITETURA E LAYOUT DO SISTEMA 10

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 11

6. REFERÊNCIAS 11

7. LISTA DE FIGURAS 12

1. APRESENTAÇÃO

O presente Relatório consiste em uma apresentação do Produto 2.5, "Modelagem do Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos", pertinente ao Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE). Este produto visa à criação de uma representação abstrata e simplificada de um sistema voltado à divulgação de alertas para eventos climáticos extremos. Nesse sentido, esse documento conterá a descrição dos componentes e parâmetros a serem utilizados pelos desenvolvedores na construção do sistema.

O PEAC/SE corresponde a um conjunto de documentos, planos e ferramentas que buscam promover a redução dos efeitos adversos provocados pelas mudanças climáticas no Estado de Sergipe, ao prever ações de monitoramento, mitigação e adaptação climática.

Os demais produtos que compõem o PEAC/SE estão definidos no Contrato n° 8/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração (FIA) e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC).

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste produto consiste em fornecer a modelagem de um Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos, que, por sua vez, visará à divulgação de tais eventos, assegurando a transparência dos dados climáticos para a população do Estado de Sergipe.

Como objetivos específicos deste produto, têm-se:

- Fornecer o conjunto de parâmetros e componentes para viabilizar a construção do Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos;
- Estabelecer as premissas e limitações do Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos.

O sistema a ser desenvolvido, por outro lado, possui os seguintes objetivos específicos:

- Divulgar alertas para eventos climáticos extremos, em tempo real, em uma plataforma interativa e passível de acesso à população;
- Construir um banco de dados de eventos climáticos extremos para o Estado de Sergipe, através dos alertas inseridos na plataforma;

- Integrar as informações climáticas do Estado de Sergipe em uma única plataforma, o Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV).

3. METODOLOGIA

O presente tópico apresentará a metodologia que fundamentou a modelagem do Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos.

3.1. DEFINIÇÃO DAS PREMISSAS E RESTRIÇÕES

Para a elaboração do Produto 2.5, foram revisadas as diretrizes técnicas previstas nas normativas pertinentes à emissão de alertas para eventos climáticos extremos. Essa revisão foi direcionada por uma reunião prévia de alinhamento realizada entre a equipe técnica da FIA, a Defesa Civil do Estado de Sergipe e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC).

A reunião foi realizada com o intuito de alinhar as expectativas quanto ao sistema de alerta, assim como verificar o conjunto de normativas e padrões a serem seguidos na modelagem do sistema. Dessa forma, o encontro permitiu o conhecimento das classificações, nomenclaturas e padrões de cores adotados para a emissão de alertas.

Nesse sentido, a modelagem do Sistema de Alerta de Eventos Climáticos Extremos considerou as disposições da Portaria n° 2.216, de 4 de julho de 2023, do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional – MIDR, bem como o Guia Prático de Utilização de Alertas do Governo Federal para Ações de Preparação para Desastres, também de autoria do MIDR.

3.2. PROCESSO GERAL DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

A construção do Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos, a ser integrado na plataforma de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), deverá considerar o processo geral ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Processo de desenvolvimento do Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos

Modelagem de dados	Back-end Administrativo	Renderização dinâmica
• Estruturação de um banco de dados para mapeamento das categorias e níveis de severidade, considerando a padronização federal.	• Criação de uma interface de gestão personalizada que converte regras complexas em formulários simples para uso da equipe interna (Defesa Civil/SE e SEMAC).	• Programação da interface pública com lógica condicional, que processa os dados em tempo real para exibir, automaticamente, as cores, ícones e alertas ativos, assegurando que a população tenha acesso a informações continuamente atualizadas.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Ressalta-se que a alimentação contínua da plataforma dependerá da articulação entre o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), instituição vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCITIC) criada com a finalidade de monitorar e emitir alertas de desastres naturais, e a Defesa Civil do Estado de Sergipe, que, no âmbito estadual, visa orientar as ações de prevenção, mitigação, resposta e recuperação voltadas à mitigação de desastres naturais.

Nesse sentido, a articulação deverá viabilizar, por parte da Defesa Civil, o aproveitamento dos boletins preventivos e dados geoespaciais disponibilizados diariamente pela CEMADEN, a serem devidamente restringidos para o Estado de Sergipe e alimentados no Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos.

No tópico a seguir, será apresentada a modelagem do Sistema de Alerta resultante da metodologia supracitada.

4. ESTRUTURA DO SISTEMA DE ALERTA PARA EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

O Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos, que deverá ser integrado ao Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), será uma plataforma de atualização contínua dos alertas emitidos pela Defesa Civil do Estado de Sergipe, através das informações disponibilizadas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC).

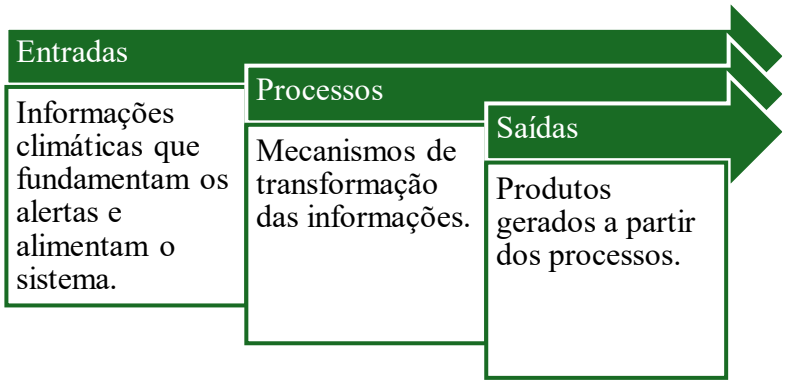
Por meio dessa ferramenta, os alertas são disponibilizados em tempo real, permitindo à sociedade civil e aos entes do Poder Público interessados o acesso a informações sobre a ocorrência de eventos climáticos extremos em todos os municípios sergipanos.

Nos tópicos a seguir, serão apresentados os componentes e processos destinados a orientar os desenvolvedores responsáveis pela construção do Sistema de Alerta.

4.1. MODELAGEM DO SISTEMA DE ALERTA PARA EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

De maneira geral, o sistema deverá ser desenvolvido em conformidade com o seguinte fluxograma:

Figura 2: Fluxograma geral para a modelagem do sistema



Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

A ilustração acima apresenta os três principais componentes do sistema, que são formados, ainda, por um conjunto de interações e de limites que permitirão o desenvolvimento do sistema em conformidade com as expectativas e necessidades da SEMAC.

As entradas serão obtidas por meio das informações fornecidas pela CEMADEN, filtradas para o Estado de Sergipe. Os processos, por sua vez, correspondem à interpretação e transformação desses dados, o que deverá ser realizado de maneira automática pelo sistema. Já as saídas, consistem nos produtos disponibilizados para os usuários do sistema, que constituem, principalmente, os alertas para eventos climáticos extremos.

4.1.1. ENTRADAS *(INPUTS)*

Os dados de entrada serão oriundos das informações climáticas fornecidas frequentemente pela CEMADEN, as quais serão armazenadas e transmitidas ao sistema por parte da Defesa Civil do Estado de Sergipe.

Assim, para a geração dos alertas/boletins/avisos no sistema, deverão ser inseridos os seguintes dados de entrada:

Quadro 1: Dados de entrada para o Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos

TIPO	DESCRIÇÃO
Título do Alerta	Tipo de produto + Tipo de evento
Tipo de Produto	Boletim
	Aviso
	Alerta
Tipo de Evento	Chuva intensa
	Vendaval
	Tempestade
	Granizo
	Seca/estiagem
	Incêndio florestal
	Deslizamento
	Corrida de massa
	Enxurrada
	Inundação
	Alagamento
	Outros
Severidade	Perigo potencial
	Perigo
	Grande perigo
Vigência	Data e hora de início
	Data e hora do fim
Localização	Municípios afetados
Cenário de risco	Descrever o risco atrelado ao tipo de evento.
Situação atual	Descrever a situação climática atual.
Tendência	Apresentar o provável cenário futuro.
Recomendações	Orientações gerais à população diante do tipo de evento.
	Ações promovidas pela Defesa Civil para a contenção das consequências do evento.

TIPO	DESCRIÇÃO
Fonte	Fonte das informações que subsidiaram a emissão do alerta/boletim/aviso.

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

Ressalta-se que a alimentação dos dados deverá ocorrer de maneira contínua pelos responsáveis pela operação do sistema.

4.1.2. PROCESSOS E REGRAS DE TRANSFORMAÇÃO

Os processos que constituem o sistema correspondem aos mecanismos de transformação dos dados de entrada, citados anteriormente, nos alertas/boletins/avisos disponibilizados na plataforma.

Para este sistema, está previsto o uso de um sistema semiautomatizado, que dependerá, em um primeiro momento, de alimentação manual por parte da Defesa Civil do Estado de Sergipe com os dados de entrada apresentados anteriormente. Para tanto, deverá ser desenvolvido uma interface administrativa, que permitirá a conversão de regras complexas de automatização em um formulário que torne prática e simplificada a inserção das informações. A interface deverá possibilitar, além da inserção, a modificação dos alertas no sistema.

Por meio da interface administrativa, haverá o controle dos acessos internos, de modo que os responsáveis pela operação deverão ter um acesso distinto aos demais usuários do sistema.

Após a inserção manual dos dados, serão acionados processos automatizados de tratamento e processamento das informações. Entre esses processos, destacam-se:

- Aplicação de regras condicionais e algoritmos de classificação, responsáveis por converter o nível de severidade informado em parâmetros visuais padronizados (cores, ícones e indicadores gráficos);
- Verificação automática da vigência temporal dos alertas, com atualização dinâmica de status (ativo, expirado, encerrado);
- Síntese quantitativa dos alertas de acordo com sua severidade (grande perigo, perigo, perigo potencial);
- Manutenção das informações em um banco de dados;
- Sincronização entre o banco de dados e a camada de apresentação (front-end), permitindo renderização dinâmica em tempo real;
- Atualização automática de metadados, como data e horário da última modificação.

4.1.3. SAÍDAS (*OUTPUTS*)

As saídas correspondem aos produtos gerados a partir dos processos descritos anteriormente, e que serão disponibilizados para os usuários da plataforma. A partir dos dados de entrada, o sistema terá as seguintes saídas:

- Painel de acesso público com a síntese quantitativa dos alertas ativos (conforme data de vigência);
- Síntese quantitativa dos alertas por nível de severidade (perigo, grande perigo, perigo potencial);
- Descrição ampliada dos alertas, que inclua:
    - Título do alerta;
    - Tipo do produto (alerta/aviso/boletim);
    - Grau de severidade (perigo, grande perigo, perigo potencial), com a cor do alerta modificada conforme o grau;
    - Lista de Municípios afetados;
    - Cenário de risco;
    - Descrição do alerta;
    - Situação atual e tendência;
    - Recomendações à população;
    - Ações de proteção.

4.1.4. INTERAÇÕES

As interações correspondem aos fluxos e trocas de informações entre determinados atores (usuários ou sistemas) que farão uso do sistema modelado. No Quadro 2, são apresentadas as interações previstas para o sistema, agrupadas conforme os atores envolvidos.

Quadro 2: Interações do Sistema

ATORES	INTERAÇÕES
Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos e Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV)	Integração e consolidação das informações em uma única plataforma de transparência.
Administradores e o Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos	Inserção, edição e gestão dos alertas/boletins/avisos.
Usuários e o Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos	Consulta e visualização dos alertas/boletins/avisos e dados para contato.

Fonte: elaboração própria - FIA (2026).

4.1.5. LIMITES DO SISTEMA

Para assegurar a compreensão da modelagem proposta neste Produto, faz-se necessário definir limites para o sistema que será desenvolvido. Nesse sentido, foram formuladas as seguintes restrições:

- O sistema não produz dados, apenas os torna públicos;
- O sistema não substitui os alertas emitidos por outros meios;
- O sistema não executa ações operacionais de resposta a desastres, apenas as torna públicas;
- O sistema deverá estar integrado à plataforma de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV).

4.2. ARQUITETURA E LAYOUT DO SISTEMA

O Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos deverá ser integrado ao Sistema MRV, que será consolidado no Módulo 3 – Monitoramento – do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE). Nesse sentido, o sistema deverá ser disponibilizado em uma aba exclusiva, que apresentará o painel de alertas.

A parte superior do painel de alertas contará com uma síntese quantitativa dos alertas, boletins e avisos emitidos, acompanhados de suas respectivas severidades. O painel deverá dispor de recursos gráficos que deem ênfase e facilitem a visualização dessas informações.

Na parte central, por sua vez, deverão ser apresentados os alertas ativos, conforme a data de vigência, com as seguintes informações mínimas:

- Nomenclatura do evento (deslizamentos, chuvas intensas, secas prolongadas, entre outros);
- Intensidade do evento, conforme classificações padronizadas nacionalmente;
- Lista de Municípios afetados pelo evento;
- Descrição do evento;
- Condições meteorológicas atuais;
- Tendências;
- Recomendações para a população;
- Ações a serem adotadas pela Defesa Civil.

Recomenda-se que cada alerta seja apresentado com preenchimento cromático associado ao respectivo grau de severidade, de modo a evidenciar visualmente esse atributo no painel e facilitar a rápida identificação do grau de risco pelo usuário.

Por fim, a parte inferir do painel deverá apresentar ao usuário os contatos da Defesa Civil do Estado de Sergipe. A divulgação dos contatos de emergência apresenta duas funções primordiais: informar à população os principais canais de comunicação com a Defesa Civil, permitindo que busquem orientações e solicitem ajuda, bem como otimizar a resposta do ente perante eventos climáticos extremos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Produto 2.5 apresenta a modelagem conceitual, os requisitos técnicos e os componentes estruturais necessários ao desenvolvimento do Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos, concebido como instrumento estratégico de comunicação de risco e apoio à gestão climática no Estado de Sergipe.

A modelagem do sistema considerou a sua integração com a plataforma de transparência do Sistema de Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV), a ser consolidado no Produto 3.1 do Módulo 3 – Monitoramento – do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE).

Ressalta-se que a efetividade operacional do sistema dependerá da alimentação contínua de dados por parte dos operadores, notadamente a Defesa Civil do Estado de Sergipe, responsável pela inserção, validação e atualização das informações. Ademais, cumpre mencionar o importante papel de coordenação das ações por parte da SEMAC, para assegurar o pleno funcionamento do sistema a ser desenvolvido.

6. REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Portaria nº 2.216, de 4 de julho de 2023**. Define procedimentos para o envio de alertas à população sobre a possibilidade de ocorrência de desastres, em articulação com os órgãos e entidades estaduais, distritais e municipais de proteção e defesa civil, e para utilização do sistema Interface de Divulgação de Alertas Públicos (IDAP). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 126, p. 62, 5 jul. 2023.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Guia prático de utilização de alertas do Governo Federal para ações de preparação para desastres**. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021.

7. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ALERTA PARA EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS.....5
FIGURA 2: FLUXOGRAMA GERAL PARA A MODELAGEM DO SISTEMA 6

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas– Governo do Estado de Sergipe

Relatório Técnico de Atividades
Produto 2.6

São Paulo, janeiro/2026

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 3

2. OBJETIVOS 4

3. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS 4

1.1 REUNIÕES TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO E ALINHAMENTO 5

1.1.1 REUNIÃO DE PLANEJAMENTO DO MÓDULO 2 5

1.1.2 REUNIÃO DE ALINHAMENTO COM A DEFESA CIVIL/SE 6

1.2 FORNECIMENTO DE ORIENTAÇÕES PARA OS PROCESSOS INTERNOS NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DO PEAC/SE 7

1.3 ELABORAÇÃO DE UM MANUAL DO USUÁRIO PARA A PLATAFORMA DE ALERTA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS (PRODUTO 2.5) 8

4. RESULTADOS OBTIDOS 9

5. LISTA DE FIGURAS 10

1. APRESENTAÇÃO

Este Relatório Técnico de Atividades corresponde a um dos documentos que compõem o Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE), elaborado com a finalidade de formalizar as ações executadas no âmbito do Produto 2.6: "*Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe na adoção das ações necessárias à implementação do Plano de Ações Climáticas"* e abrange as ações de apoio técnico realizadas entre os meses de novembro de 2025 e janeiro de 2026, correspondente ao Módulo 2 do Plano Estadual de Ações Climáticas.

O PEAC/SE consiste em um instrumento de planejamento e governança, composto por uma série de documentos técnicos estruturados em cinco módulos, que busca direcionar o Estado de Sergipe à mitigação dos Gases de Efeito Estufa (GEE) e à adaptação dos sistemas naturais e antrópicos frente às emergências climáticas.

O Produto 2.6 integra o Módulo 2 do PEAC/SE, denominado de Mitigação e Adaptação Climática. Os demais produtos que compõem o módulo estão apresentados na ilustração a seguir:

Figura 1: Produtos do Módulo 2 do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE)

Módulo 2 Mitigação e Adaptação	Produto 2.1 – Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (documento técnico).
	Produto 2.2 – Relatório de Custo-Benefício das medidas propostas.
	Produto 2.3 – Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública abrangendo campanhas e ações de capacitação de agentes locais.
	Produto 2.4 – Minutas de normativos, documentos, modelos, informações de apoio e diretrizes necessárias para viabilizar a adequação normativa da legislação estadual ao novo Plano de Ações Climáticas.
	Produto 2.5 – Modelagem do sistema de alerta para eventos climáticos extremos.
	Produto 2.6 – Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe na adoção das ações necessárias à implementação do Plano de Ações Climáticas, mediante entrega de Relatório Técnico de Atividades.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Os demais produtos associados ao PEAC/SE, assim como seus respectivos objetivos, prazos e escopos, estão estabelecidos no Contrato n° 08/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração (FIA) e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC).

2. OBJETIVOS

O objetivo do apoio objeto do Produto 2.6 é orientar a SEMAC, coordenadora do PEAC/SE, quanto às atividades necessárias para a plena execução do Plano, considerando a atual fase de execução, que corresponde ao Módulo 2 – Mitigação e Adaptação.

Como objetivos específicos do apoio fornecido, têm-se:

- Realizar o planejamento das ações que compõem o PEAC/SE, em seu segundo módulo, assegurando o atendimento à legislação federal e estadual sobre mudanças climáticas;
- Definir, em conjunto com as partes interessadas, o escopo dos produtos que compõem o Módulo 2 do PEAC/SE;
- Assegurar o alinhamento entre a Equipe Técnica e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) no processo de planejamento e elaboração do Módulo 2.

3. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

As atividades executadas no âmbito do Produto 2.6 podem ser divididas em três categorias:

- Planejamento das ações;
- Alinhamento do escopo;
- Fornecimento de apoio técnico.

As atividades de planejamento e alinhamento consistiram em reuniões técnicas realizadas entre membros da equipe técnica da Fundação Instituto de Administração (FIA), a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), bem como outras partes interessadas, a exemplo da Defesa Civil do Estado de Sergipe.

O apoio técnico, por sua vez, consistiu no fornecimento de orientações, à SEMAC, quanto aos processos internos necessários para a implementação do PEAC/SE e para utilizar a plataforma de alerta de eventos climáticos extremos.

O detalhamento dessas atividades será apresentado nos itens a seguir.

1.1 REUNIÕES TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO E ALINHAMENTO

No âmbito do Produto 2.6, foram realizadas duas reuniões técnicas entre a equipe técnica da FIA e da SEMAC. As reuniões foram convocadas com a finalidade de aperfeiçoar o planejamento e o escopo dos produtos pertinentes ao Módulo 2 do PEAC/SE, que trata da Mitigação e Adaptação Climática.

A seguir, serão apresentados os tópicos abordados ao longo das reuniões e suas principais implicações para o andamento do Módulo 2.

1.1.1 REUNIÃO DE PLANEJAMENTO DO MÓDULO 2

A reunião de planejamento do Módulo 2 foi realizada em 07 de novembro de 2025, com o comparecimento da Secretária de Meio Ambiente, do Coordenador de Mudanças Climáticas e a equipe técnica da Fundação Instituto de Administração (FIA). Na agenda preparada para a reunião, estavam contidos os seguintes tópicos:

- Alinhamento do escopo do Produto 2.3 – Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública;
- Planejamento das Consultas Públicas para o Produto 2.1 – Plano de Mitigação e Adaptação Climática e o Produto 2.2 – Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública.

O primeiro item foi apontado em razão da publicação recente de um Plano Estadual de Educação Ambiental, em dezembro de 2022. Nesse sentido, foi proposto à SEMACque o Produto 2.3 fosse elaborado com viés de revisão e complementação do Plano de Educação Ambiental anterior, em detrimento de uma substituição integral. A proposta foi acatada pela Secretaria, sem objeções, constituindo a primeira deliberação da reunião.

Alémdisso, a discussão foi ampliada para o compartilhamento, por parte da Secretaria, das ações de educação ambiental já desempenhadas no Estado, que incluem o Programa Dialogar, o Sergipe Recicla e o Conservar-SE.

O segundo item, por sua vez, resultou da obrigatoriedade prevista pela Política Estadual sobre Mudanças Climáticas – PEMC, instituída pela Lei Estadual n° 9.364, de 05 de janeiro de 2024, de que o Plano de Ações Climáticas seja precedido por consulta pública. Dessa forma, fez-se necessário definir, em conjunto, as datas, locais e

responsabilidades para as consultas públicas do Plano de Mitigação e Adaptação Climática e o Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública, dada a relevância de ambos no contexto do PEAC/SE.

Este item resultou nas seguintes deliberações:

- Realização de **três consultas públicas**, sendo uma, para cada região climática, nas seguintes datas e localidades:
  - 04/12/2025[1] – Litoral: Aracaju/SE;
  - 10/12/2025 – Sertão: Nossa Senhora da Glória/SE;
  - 16/12/2025 – Agreste: Lagarto/SE.
- As consultas que subsidiariam o escopo do Produto 2.1. e 2.3 deveriam ocorrersimultaneamente;
- Definiu-se como responsabilidade da equipe técnica a condução das consultas públicas e definição dos atores regionais que iriam comparecer, enquanto a Secretaria seria responsabilizada pela mobilização e disponibilização dos espaços.

1.1.2 REUNIÃO DE ALINHAMENTO COM A DEFESA CIVIL/SE

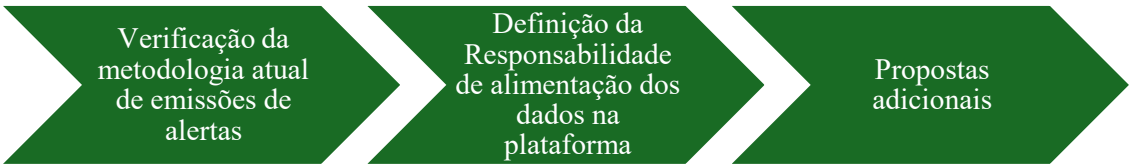
Esta reunião de alinhamento foi realizada em 09 de dezembro de 2025, com o comparecimento do Secretário Adjunto da SEMAC, a equipe da Gerência de Monitoramento e Alerta da Defesa Civil do Estado de Sergipe e membros da Equipe Técnica da FIA. O objetivo principal da reunião consistia em alinhar as expectativas entre as partes interessadas para a elaboração do Produto 2.5 – Modelagem do Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos. Diante da atuação da Defesa Civil nessa temática, a articulação para a construção conjunta deste produto tornou-se indispensável.

Para fins de contextualização, o Sistema de Alerta para Eventos Climáticos Extremos será anexado ao sistema MRV (Monitoramento, Relato e Verificação) pertinente ao Módulo 3, de modo que as informações climáticas do Estado de Sergipe possam ser visíveis em um único ambiente. O sistema contemplará o conjunto de alertas emitidos para cada um dos municípios sergipanos, incluindo suas respectivas classificações, graus de intensidade e orientações para a população.

[1]A data da consulta pública do Litoral sofreu alteração para o dia 18/12/2025.

Com o objetivo de viabilizar a concepção do Produto 2.5, a reunião de alinhamento apresentou as seguintes etapas:

Figura 2: Etapas da reunião de alinhamento com a Defesa Civil/SE.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Neste sentido, durante a primeira etapa da reunião, a Gerência de Monitoramento e Alerta apresentou, aos participantes,informações gerais sobre a forma de cadastramento e publicização dos alertas de eventos climáticos extremos. Na ocasião, também foi ressaltado que há padrõesdurante o cadastramento, que poderão ser utilizados para facilitar o preenchimento no Sistema.

Em seguida, fez-se necessário definir a responsabilidade pelo cadastramento dos alertas na nova plataforma, pertinente ao Sistema MRV. Em comum acordo, a Defesa Civil encarregou-se de realizar a alimentação dos dados no sistema. Para isso, a equipe técnica da FIA irá viabilizar o acesso da entidade ao sistema, bem como disponibilizar as orientações necessárias para o preenchimento dos dados.

Por fim, a reunião contou com proposições adicionais das partes interessadas, a exemplo da inclusão de mapeamentos de áreas de risco na aba destinada à Defesa Civil no Sistema MRV.

1.2 FORNECIMENTO DE ORIENTAÇÕES PARA OS PROCESSOS INTERNOS NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DO PEAC/SE

Para viabilizar a implementação do PEAC/SE, torna-se necessário o atendimento às exigências estabelecidas nos dispositivos legais aplicáveis, em especial aquelas previstas na Política Estadual sobre Mudanças Climáticas – PEMC/SE, instituída pela Lei nº 9.364, de 2024. Nesse contexto, a atividade teve início com a análise da legislação pertinente, com o objetivo de identificar exigências legais ainda não atendidas, indispensáveis à aprovação e à execução do PEAC/SE.

A partir das exigências identificadas, foi agendada reunião com a SEMAC, responsável pela execução do PEAC/SE, com a finalidade de apresentar e discutir os encaminhamentos necessários. A reunião, realizada em 15 de janeiro de 2026, contou

com a participação da equipe técnica da FIA, do Secretário Adjunto e da Assessoria Jurídica da SEMAC.

Na ocasião, foram tratados, de forma objetiva, os seguintes pontos centrais:

- A inexistência de Decreto Regulamentador da Lei Estadual nº 9.364, de 2024;
- A não instituição do Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas.

Apresentou-se, à SEMAC, a constatação de que a PEMC/SE não foi regulamentada no prazo legal de até um ano após a promulgação da lei, configurando-se como a principal pendência jurídica para a efetiva implementação do PEAC/SE. Além disso, destacou-se a necessidade de criação do Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas, previsto no inciso II do art. 42 da referida Lei, como instância essencial para a análise e aprovação dos produtos elaborados no âmbito do PEAC/SE.

Diante desse cenário, definiu-se como parte integrante do Produto 2.4 do PEAC/SE, voltado à elaboração de minutas de instrumentos normativos, a redação da Minuta do Decreto Regulamentador da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, contemplando, entre outros aspectos, a composição e as atribuições do Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas.

1.3 ELABORAÇÃO DE UM MANUAL DO USUÁRIO PARA A PLATAFORMA DE ALERTA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS (PRODUTO 2.5)

Entre as deliberações da reunião de alinhamento com a Defesa Civil/SE, mencionada no item 1.1.2, está a responsabilidade do ente em alimentar o Sistema MRV com alertas de eventos climáticos extremos, a fim de viabilizar o funcionamento do sistema previsto no Produto 2.5.

Com o objetivo de assegurar a operação adequada, a equipe técnica da FIA elaborou um Manual do Usuário (Produto 3.3), que busca apresentar os procedimentos necessários para a alimentação do Sistema de Alerta de Eventos Climáticos Extremos.

O Manual do Usuário não poderá ser disponibilizado ao público geral, sendo direcionado unicamente à SEMAC, à Defesa Civil e demais entidades que possuirão acesso interno ao Sistema MRV.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Por meio das atividades descritas anteriormente, foram obtidos os seguintes resultados:

- Esclarecimento acerca do escopo do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública – PEACP/SE;
- Definição do planejamento para as consultas públicas dos Produtos 2.1 (Plano de Mitigação e Adaptação Climática) e 2.3 (Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública);
- Alinhamento do escopo do Produto 2.5 – Modelagem do Sistema de Alerta de Eventos Climáticos Extremos;
- Definição de responsabilidades no âmbito da alimentação do Sistema de Alerta de Eventos Climáticos Extremos (Produto 2.5);
- Solução de pendências jurídicas no âmbito da implementação do PEAC/SE.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prestação de apoio técnico e operacional, relatada neste Produto, contribuiu diretamente para a elaboração dos demais produtos do Módulo 2 – Mitigação e Adaptação Climática – do PEAC/SE. O alinhamento prévio entre as partes interessadas acerca de decisões fundamentais para o andamento do projeto assegura o atendimento das expectativas da SEMAC e demais entidades envolvidas na implementação dos planos resultantes do Módulo 2.

Além da validação do escopo de documentos, ocorrida com os Produtos 2.3 e 2.5, as ações contemplaram, ainda, a prestação de apoio jurídico e o planejamento de consultas públicas, itens fundamentais para assegurar que o PEAC/SE seja implementado em conformidade com a Lei Estadual n° 9.364, de 2024, que institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas.

6. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PRODUTOS DO MÓDULO 2 DO PLANO ESTADUAL DE AÇÕES CLIMÁTICAS (PEAC/SE) 3
FIGURA 2: ETAPAS DA REUNIÃO DE ALINHAMENTO COM A DEFESA CIVIL/SE. 7

7. ANEXO – ATA

ATA DE REUNIÃO

Fundação Instituto de Administração – FIA.

1. INFORMAÇÕES PRINCIPAIS

TÍTULO:	Reunião de Alinhamento do Módulo 2		
DATA:	07/11/2025		
HORA DE INÍCIO:	08:30	HORA DE TÉRMINO:	9:30
LOCAL:	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Ações Climáticas – SEMAC		
OBJETIVO:	Deliberar acerca dos produtos do Módulo 2, incluindo o Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública.		

2. PARTICIPANTES

RESPONSÁVEL PELA CONVOCAÇÃO:	**FIA**
FACILITADOR DA REUNIÃO:	Francisco Sandro Holanda
RESPONSÁVEL PELA ATA:	Sabrine Ninim Maria da Silva
PARTICIPANTES CONFIRMADOS:	Deborah Cristina de Andrade Menezes Dias, Francisco Sandro Holanda, Sabrine Ninim Maria da Silva e Cleverton (Diretoria de Mudanças Climáticas).

3. ITENS DA AGENDA

- Deliberações acerca do Plano de Educação Ambiental: o Plano que será elaborado será uma segunda versão ou atualização deste? O último plano foi elaborado em dezembro de 2022, e contou com diversas campanhas de conscientização e uma consulta pública – 10 minutos;
- Obter informações acerca da apresentação que ocorrerá no dia 26/11: horário e tempo destinado à apresentação do PEAC/SE, qual o público, disponibilidade de infraestrutura, entre outros – 5 minutos;
- Quais são as expectativas para o Produto 3.2. (Apoio Técnico para a estruturação da plataforma de dados climáticos)? Consistirá em uma forma de integração dos dados do

FIA Business School
Avenida Doutora Ruth Cardoso, 7221 | Pinheiros, São Paulo
fia.com.br
Quem sabe Lidera.

INMET e da ANA? A SEMAC irá articular com essas instituições para o fornecimento dos dados? As novas estações já estão em operação?

- Definição das responsabilidades e datas das consultas públicas: reforçar a necessidade de realizar a consulta, no máximo, no mês de janeiro, mencionando-a como Produto 4.1., e elaborando uma versão final do Produto 2.1. a partir de seus resultados.

4. DELIBERAÇÕES

4.1. DELIBERAÇÕES ACERCA DO PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA

- Foi proposto e acatado pela SEMAC a revisão/atualização/complementação do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública em detrimento da elaboração de um Plano do zero;
- A revisão buscará a exequibilidade das ações previstas no Plano, propondo novos programas de educação ambiental e a elaboração de materiais didáticos para conscientização e capacitação;
- Atualizações acerca das ações de educação ambiental já implementadas pela SEMAC:
- Programa **Dialogar** – já em execução. Escola itinerante. Grupo de teatro. Barco escola – em processo de licitação. Fantoche. Capacitações feitas nas escolas.
- Sergipe **Recicla** e **Conservar-SE** (reflorestamento e manutenção das florestas) – 10 dias de lançado. Florestar-SE (dentro do Conservar-SE). Florestar-SE Velho Chico em parceria com os estados da Bahia e de Alagoas e em parceria também com a ANA (termo de cooperação a ser assinado).
- Recicla condomínio.
- Implementação da logística reversa – já iniciou o cadastramento de empresas.
- A SEMAC se comprometeu a enviar os materiais produzidos nessas campanhas, sendo necessário solicitá-los por e-mail;
- As consultas públicas para o Plano de Educação Ambiental ocorrerão no mesmo dia das consultas planejadas para o Plano de Ações Climáticas.

4.2. INFORMAÇÕES ACERCA DA APRESENTAÇÃO DO DIA 26/11

- Serão convidadas as Secretarias de Agricultura, Meio Ambiente e Educação;
- O nome do evento é **Adapta Cidades**;
- Devemos apresentar os resultados obtidos até o momento em linguagem acessível e explicar ao público do que se trata o Plano de Ações Climáticas;

FIA Business School
Avenida Doutora Ruth Cardoso, 7221 | Pinheiros, São Paulo
fia.com.br
Quem sabe Lidera.

- As datas das consultas públicas serão divulgadas neste evento, ao fim da apresentação.

4.3. EXPECTATIVAS PARA O PRODUTO 3.2. – APOIO TÉCNICO PARA O DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA INTEGRADORA DE DADOS CLIMÁTICOS

- A SEMAC afirma que o Sistema de Monitoramento (SIMESE) está para rodar. Nesse sentido, será preciso articular com Cleverton, que está capitaneando o projeto, para definir como ocorrerá o apoio técnico;
- Definir se será necessário buscar apoio do INMET e da ANA para viabilizar esse produto;
- É de interesse da SEMAC unir a Defesa Civil ao Plano Estadual de Ações Climáticas, o que poderá ocorrer no Produto 2.5 – Modelagem do sistema de alerta para eventos climáticos extremos.

4.4. DEFINIÇÃO DAS RESPONSABILIDADES DAS CONSULTAS PÚBLICAS

- Na reunião, foram definidas as datas das consultas públicas, que serão 3, uma para cada região climática (Litoral, Sertão e Agreste):
- 4 de dezembro de 2025: Aracaju/SE;
- **10 de dezembro de 2025**: Nossa Senhora da Glória/SE;
- 16 de dezembro de 2025: Lagarto/SE.
- As consultas públicas para o Plano de Educação Ambiental serão realizadas no mesmo dia, separando o tempo adequado para os produtos;
- Será necessário enviar um e-mail para o Cleverton que contenha os atores regionais que precisam ser mobilizados (sociedade civil, instituições, secretarias, entre outros).

5. ITENS DE AÇÃO

ITEM	RESPONSÁVEL	PRAZOS	DEPENDÊNCIA
Disponibilização do e-mail do projeto para viabilizar a articulação com a SEMAC	FIA	12/11/2025	-
Elaborar a apresentação para o evento dia 26/11	Sandro e Sabrine	19/11/2025	-
Solicitar por e-mail os materiais produzidos pela SEMAC em suas ações e campanhas de	Sabrine	14/11/2025	Disponibilização do e-mail do projeto

FIA Business School
Avenida Doutora Ruth Cardoso, 7221 | Pinheiros, São Paulo
fia.com.br
Quem sabe Lidera.

ITEM	RESPONSÁVEL	PRAZOS	DEPENDÊNCIA
conscientização e capacitação pública			
Definir os atores regionais a serem mobilizados para a consulta pública e encaminhar por e-mail a Cleverton	Sandro e Sabrine	14/11/2025	Disponibilização do e-mail do projeto
Preparação do material para as consultas públicas do Plano de Educação Ambiental e do Plano de Mitigação e Adaptação Climática	Sandro e Sabrine	24/11/2025	-
Aprovação do material preparatório para as consultas públicas	FIA	26/11/2025	Preparação do material para as consultas públicas
Realização de ajustes (se couber) no material das consultas públicas	Sandro e Sabrine	01/11/2025	Feedback acerca do material elaborado
1ª Consulta Pública – Litoral: Aracaju/SE	Apresentação: Sandro	04/12/2025 (terça-feira)	-
2ª Consulta Pública – Sertão: Nossa Senhora da Glória/SE.	Apresentação: Sandro	10/12/2025 (quarta-feira)	-
3ª Consulta Pública – Agreste: Lagarto/SE.	Apresentação: Sandro	16/12/2025 (terça-feira)	-

FIA Business School
Avenida Doutora Ruth Cardoso, 7221 | Pinheiros, São Paulo
fia.com.br
Quem sabe Lidera.

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Modelagem do Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV)
(Produto 3.1)

São Paulo, março/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 4

2 OBJETIVOS 5

3 PREMISSAS CONCEITUAIS 5

3.1 ALINHAMENTO COM MARCOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS 5

3.2 DIRETRIZES DO PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PEMAMC-SE) 6

4 METODOLOGIA 7

5 ARQUITETURA CONCEITUAL DO SISTEMA MRV 9

5.1 GOVERNANÇA CLIMÁTICA NO SISTEMA MRV 9

5.2 SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE EMISSÕES E ESTATÍSTICAS – SISGEE 14

5.2.1 Emissões de Gases de Efeito Estufa 15

5.2.2 Indicadores-chave de Monitoramento 16

5.2.3 Parâmetros meteorológicos 29

5.2.4 Reporte Obrigatório para Empreendimentos de Grande Impacto 30

5.3 SISTEMA DE REPORTE (RELATO) 31

5.3.1 Relatórios de Reporte de Progresso 32

5.3.2 Inventários Bienais de Gases de Efeito Estufa – GEE 32

5.3.3 Relatórios de Verificação Externa 33

5.3.4 Sistema Meteorológico de Sergipe – SIMESE 34

5.4 SISTEMA DE VERIFICAÇÃO 34

5.4.1 Consultas Públicas 34

5.4.2 Revisão anual do Sistema MRV 35

5.4.3 Auditoria do PEAC/SE 36

5.4.4 Revisão quinquenal do Sistema MRV 37

5.5 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES 37

6 ARQUITETURA FUNCIONAL DO SISTEMA MRV 38

6.1 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS E ESTATÍSTICAS 38

6.1.1 Protocolos de coleta e gestão de dados 38

6.1.2 Recursos tecnológicos 39

6.1.3 Quadro síntese dos indicadores-chave 41

6.2 ELABORAÇÃO BIENAL DO INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA 48

6.3 PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA 50

6.3.1 Requisitos da Plataforma de Transparência Climática 51

6.3.2 Layout da Plataforma de Transparência Climática 53

6.4 AVALIAÇÃO PERIÓDICA DO SISTEMA MRV 54

6.4.1 Reuniões ordinárias e extraordinárias do Comitê de Enfrentamento das Mudanças Climáticas – CEEMC-SE 54

6.4.2 Reuniões trimestrais do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas – GTMC 55

6.4.3 Reuniões bimestrais das Câmaras Temáticas 55

6.4.4 Reuniões trimestrais do Painel Científico 55

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 56

8 REFERÊNCIAS 57

9 LISTA DE SIGLAS 58

10 LISTA DE FIGURAS 60

11 LISTA DE QUADROS 60

1 APRESENTAÇÃO

A Modelagem do Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) corresponde a um dos documentos elaborados no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE), e visa à apresentação das diretrizes, componentes e requisitos necessários para a operacionalização de um sistema integrado de avaliação periódica das ações climáticas. Este documento vincula-se, portanto, ao Contrato n° 08/2025, firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e a Fundação Instituto de Administração (FIA).

A elaboração da modelagem considerou as diretrizes estabelecidas em marcos nacionais e internacionais, com destaque para a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira e o Artigo 13 do Acordo de Paris, que define regras comuns para o monitoramento, reporte e verificação das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, foram incorporadas as metas estratégicas definidas no Produto 2.1 do PEAC/SE, referente ao Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE).

A estrutura do documento está organizada a partir de dois pilares fundamentais: a arquitetura conceitual e a arquitetura funcional do sistema. Dessa forma, serão apresentados, inicialmente, a estrutura organizacional e o conjunto de ações a serem realizadas na operacionalização do sistema MRV, com uma breve descrição dos indicadores-chave e sua categorização em dimensões climáticas. Em seguida, aborda-se a operacionalização do sistema, contemplando a metodologia de coleta, tratamento e reporte dos indicadores, bem como os requisitos mínimos para a estruturação da plataforma integradora de dados climáticos.

A implementação do sistema MRV permitirá ao Estado de Sergipe acompanhar de forma contínua o progresso do PEMAMC-SE em relação às metas estabelecidas, além de proporcionar à sociedade uma visão integrada, dinâmica e transparente das ações e estudos desenvolvidos no âmbito do PEAC/SE. Por fim, a previsão de verificação externa assegurará a conformidade das informações produzidas com as normativas nacionais e internacionais aplicáveis, conferindo maior credibilidade ao sistema.

2 OBJETIVOS

Em consonância com as disposições do Termo de Referência, o presente documento tem por objetivo principal fornecer as diretrizes, componentes e requisitos mínimos para a implementação de um sistema integrado de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), de classe internacional, que permita mensurar, reportar e submeter à verificação externa os avanços do Estado de Sergipe no cumprimento das metas de mitigação, adaptação, governança, financiamento e justiça climática.

Os objetivos específicos deste produto são:

- Estabelecer orientações para o monitoramento contínuo dos 48 indicadores-chave definidos no Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas – PEMAMC-SE;
- Definir ações para a avaliação periódica de progresso do PEMAMC-SE em relação às metas progressivas de cada eixo;
- Determinar a arquitetura funcional da plataforma integradora de dados climáticos, a fim de assegurar a transparência das informações relacionadas ao PEAC/SE;
- Assegurar o subsídio à tomada de decisões no âmbito do Plano de Ação, a ser elaborado bienalmente;
- Definir a periodicidade da prestação de contas aos órgãos de controle, à sociedade civil e à Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe;
- Prever e possibilitar a submissão de dados a auditoria independente, para fins de verificação externa da conformidade da implementação do sistema MRV e do PEMAMC-SE;
- Incluir atividades destinadas à melhoria contínua do sistema MRV, por meio de revisões quinquenais.

3 PREMISSAS CONCEITUAIS

Este item abordará as premissas conceituais que nortearam o desenvolvimento da modelagem do Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE).

3.1 ALINHAMENTO COM MARCOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

Para o desenvolvimento da modelagem do Sistema MRV foram revisados os marcos e normativas, nacionais e internacionais, que dialogam diretamente com o monitoramento, relato e verificação de emissões de GEE e indicadores climáticos.

No que se refere aos marcos nacionais, torna-se fundamental a menção ao Sistema de Registro Nacional de Emissões – SIRENE, principal instrumento de transparência do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. O sistema foi instituído através do Decreto Federal n° 9.172/2017 e desenvolvido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). De maneira análoga à determinação para os inventários estaduais, a periodicidade de produção do inventário nacional é bienal.

No âmbito da elaboração dos Inventários Bienais de Gases de Efeito Estufa, torna-se fundamental a adoção dos padrões e metodologias fornecidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, acrônimo em inglês). Em específico, deverão ser considerados os IPCC Guidelines (IPCC, 2006) e seu respectivo refinamento realizado em 2019 (IPCC, 2019), em que foram atualizados determinados parâmetros e orientações para ampliação da precisão e robustez dos inventários. Para fins de verificação externa, a auditoria independente que irá validar os inventários produzidos deverá realizar a verificação com base nos critérios estabelecidos na ISO 14064-3:2019.

Para atendimento das metas relacionadas à transparência das ações, o principal marco internacional a ser considerado corresponde à Estrutura de Transparência Aprimorada (Enhanced Transparency Framework – ETF), instituída a partir do artigo 13 do Acordo de Paris, um tratado global adotado em dezembro de 2015, na COP21[1], pelos países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas – UNFCCC (SIRENE, 2021).

3.2 DIRETRIZES DO PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PEMAMC-SE)

O Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe (PEMAMC-SE) constitui o principal instrumento de planejamento para a definição de ações e metas climáticas no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE). O documento encontra-se estruturado em eixos estratégicos, organizados conforme a natureza das ações propostas:

1. Monitoramento Climático e Fortalecimento da Base Diagnóstica;
2. Governança Climática Participativa;
3. Mitigação e Adaptação Climática Integradas;

[1] 21ª Conferência das Partes – COP21.

4. Financiamento Climático e Instrumentos Econômicos;
5. Justiça Climática e Inclusão Socioambiental.

Diante da inserção do monitoramento climático como eixo estruturante do Plano, a modelagem do Sistema MRV, objeto do presente documento, foi fundamentada nas diretrizes estabelecidas pelo PEMAMC-SE para a obtenção, tratamento e gestão dos indicadores de monitoramento. Tais indicadores foram definidos em alinhamento às metas climáticas associadas a cada eixo estratégico, bem como àquelas de caráter transversal, que abrangem múltiplas dimensões do Plano.

Além disso, foram incorporadas as definições relativas às instâncias de governança climática e às respectivas atribuições institucionais no âmbito do monitoramento, reporte e verificação. O PEMAMC-SE estabelece o conjunto de órgãos públicos e representantes do setor privado no Estado de Sergipe responsáveis pela operacionalização do sistema MRV, bem como define diretrizes quanto à periodicidade de atualização dos indicadores-chave, à elaboração de relatórios de progresso, à realização de consultas públicas e a outros procedimentos essenciais à implementação e revisão do sistema.

A observância às diretrizes do PEMAMC-SE visa assegurar a coerência e a integração entre os instrumentos do PEAC/SE, de modo que as informações produzidas no âmbito do monitoramento climático representem, de forma fidedigna, o progresso na implementação das ações e metas estabelecidas.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a modelagem do Sistema MRV foi organizada em seis etapas sequenciais e interdependentes, que contemplaram o levantamento de referenciais até a consolidação da arquitetura conceitual e funcional do sistema. A Figura 1 apresenta o conjunto de atividades executadas para fins de modelagem do sistema:

Figura 1: Metodologia de elaboração do Produto 3.1



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A primeira etapa consistiu na revisão de marcos normativos, abrangendo instrumentos legais, regulatórios e metodológicos em âmbito nacional e internacional relacionados às mudanças climáticas e aos sistemas de monitoramento, relato e verificação (MRV). Foram considerados referenciais como o Acordo de Paris, a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), normativas federais e diretrizes do IPCC, com o objetivo de assegurar que o sistema proposto estivesse alinhado às exigências de transparência e às melhores práticas internacionais.

Em seguida, procedeu-se à análise dos documentos técnicos do PEAC/SE. Os principais documentos revisados correspondem ao PEMAMC-SE (Produto 2.1) e ao Inventário Estadual de GEE (Produto 1.3), que subsidiaram a definição de diversos elementos do sistema, a exemplo da sistematização dos indicadores climáticos, definição de procedimentos de coleta, alinhamento de cronogramas de atividades e referenciais metodológicos.

A terceira etapa corresponde à definição e sistematização dos indicadores climáticos, componentes fundamentais do processo de monitoramento. Para tanto, realizou-se o levantamento das metas e indicadores climáticos do PEMAMC-SE, com o consequente agrupamento por dimensão climática. Por fim, definiu-se o protocolo de coleta e gestão dos indicadores climáticos.

Na quarta etapa, foi construída a arquitetura conceitual do sistema MRV, que consiste na concepção geral dos componentes, relações e fluxos de informação que integram o sistema. Para tanto, também foram observadas as disposições do Produto 2.1, sobretudo em relação à criação de um Sistema Integrado de Monitoramento de Emissões e Estatísticas – SISGEE.

Na sequência, foi definido o conjunto de responsabilidades para os distintos níveis hierárquicos da governança climática, instituída, inicialmente, no Produto 2.1. A governança assume papel primordial no sistema MRV, ao permitir a operacionalização do sistema, bem como a articulação entre os diversos atores institucionais.

Por fim, foi desenvolvida a arquitetura funcional do sistema MRV, que contempla os processos operacionais necessários à sua implementação. Nesse sentido, foram detalhados os procedimentos de coleta, processamento, validação e reporte de dados, assim como os requisitos para o desenvolvimento da plataforma integradora de dados climáticos.

5 ARQUITETURA CONCEITUAL DO SISTEMA MRV

Neste tópico, será descrita a concepção geral do sistema MRV, com foco nos fundamentos que orientam a organização lógica do sistema, definindo seus principais componentes, relações e fluxos de informação.

De maneira geral, o sistema MRV do PEAC/SE será estruturado em uma tríade que representa, respectivamente, o Monitoramento, Relato e Verificação das ações climáticas: Sistema Integrado de Monitoramento de Emissões e Estatísticas – SISGEE, Sistema de Reporte (Relato) e o Sistema de Verificação.

Nos tópicos a seguir, serão detalhados os componentes, requisitos e diretrizes para a operacionalização de cada um dos sistemas, bem como a Governança Climática que permitirá a implementação do sistema MRV em sua completude.

5.1 GOVERNANÇA CLIMÁTICA NO SISTEMA MRV

A execução do Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC/SE exige a constituição de uma estrutura organizacional bem definida, com atribuições específicas no âmbito das responsabilidades de cada entidade e representantes da sociedade civil.

Em consonância com o Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas – PEMAMC-SE, a Governança Climática do PEAC/SE, abordada no Eixo 2 do referido documento, contempla quatro níveis hierárquicos: deliberativo, técnico, consultivo e consultivo-científico. A composição de cada nível está ilustrada no fluxograma a seguir:

Figura 2: Estrutura organizacional do PEAC/SE



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Dessa forma, o Nível Deliberativo apresenta, no âmbito do Sistema MRV, a incumbência de aprovar os relatórios de progresso elaborados trimestralmente e anualmente, bem como a revisão quinquenal do Sistema MRV. Este nível hierárquico é materializado no Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas – CEEMC-SE, composto por 9 representantes, sendo 6 oriundos do Governo do Estado e 3 representantes da sociedade civil.

Ressalta-se que a nomeação dos representantes do CEEMC-SE, assim como suas respectivas finalidades, deverá ocorrer por meio de regulamento próprio. No âmbito do Produto 2.4[2] do PEAC/SE, foi apresentada uma minuta de Decreto Regulamentar para a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC, em que foram definidas diretrizes para a composição do CEEMC-SE.

O Nível Técnico, representado pelo Grupo Técnico de Mudanças Climáticas – GTMC, por sua vez, consiste no núcleo executivo das ações de coleta, processamento e reporte de dados climáticos. Será formado por 18 órgãos estaduais e uma Secretaria Executiva no âmbito da SEMAC, a qual deverá contar com até 10 profissionais dedicados em tempo integral à execução das ações do PEAC/SE. Os 18 órgãos estaduais correspondem a:

- SEMAC – Coordenação geral;
- ADEMA – Licenciamento e fiscalização ambiental;
- SEAGRI – Agricultura e pecuária;

[2] Produto 2.4 – Minutas de normativos, documentos, modelos, informações de apoio e diretrizes necessárias para viabilizar a adequação normativa da legislação estadual ao novo Plano de Ações Climáticas.

- EMDAGRO – Assistência técnica e rural;
- SEDURBI – Cidades e Infraestrutura;
- SEDETEC – Indústria e Tecnologia;
- Concessionárias de Abastecimento de Água;
- CODERSE – Irrigação e barragens;
- SES – Saúde Pública;
- SEPLAG – Planejamento e orçamento;
- SEFAZ – Financiamento;
- SEDUC – Educação ambiental;
- EMGETIS – Tecnologia da informação;
- Defesa Civil – Gestão de Riscos;
- Polícia Ambiental – Fiscalização;
- BANESE – Financiamento;
- Representante das 9 Câmaras Temáticas (rotativo).

A definição dos órgãos responsáveis pelo monitoramento de cada dado, estatística e indicador-chave que compõe o sistema MRV apresenta relação direta com as temáticas listadas acima.

A Secretaria Executiva, por sua vez, é formada por 3 coordenações: Monitoramento, Articulação setorial e Comunicação. Cada coordenação presta funções essenciais para as fases de coleta, processamento e divulgação de dados:

a) **Coordenação de Monitoramento**: responsável pela obtenção de dados, atualização de indicadores de responsabilidade da SEMAC e elaboração do Inventário de GEE;

b) **Coordenação de Articulação setorial**: responsável por coordenar e assegurar o envio de dados e indicadores atualizados por parte dos demais órgãos estaduais que compõem o Grupo Técnico de Mudanças Climáticas;

c) **Coordenação de Comunicação**: responsável por assegurar o funcionamento da plataforma de transparência climática, dar publicidade aos relatórios e inventários produzidos, bem como coordenar a participação da sociedade civil no progresso do PEAC/SE, através da realização de consultas públicas periódicas e por meio dos formulários contidos na plataforma.

O Quadro 1 apresenta uma proposta de estruturação para a Secretaria Executiva do PEAC/SE. Considerando a natureza mais técnica e a maior complexidade das atividades atribuídas à Coordenação de Monitoramento, recomenda-se a alocação de um

quantitativo de profissionais superior ao das demais coordenações. Ademais, a equipe deverá ser composta por especialistas de diferentes áreas do conhecimento, de modo a assegurar a adequada cobertura de todos os setores estabelecidos pelos referenciais metodológicos do IPCC para a elaboração de Inventários de GEE.

Quadro 1: Composição recomendada para a Secretaria Executiva do Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC/SE

COORDENAÇÃO	N° DE MEMBROS
Monitoramento (MRV)	6
Articulação setorial	2
Comunicação	2

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Para o Nível Consultivo, deverão ser instituídas 9 (nove) Câmaras Temáticas, que terão como finalidade a elaboração de estudos técnicos que subsidiarão a tomada de decisões estratégicas, que deverão ocorrer nas reuniões ordinárias do CEEMC-SE, bem como após a entrega e aprovação dos Relatórios Trimestrais e Anuais. No âmbito do Sistema MRV, importa mencionar a participação de um representante das Câmaras Temáticas, de caráter rotativo, no GTMC. Cada câmara deverá ser composta por 8 a 12 membros, e seus respectivos focos e coordenações serão indicados a seguir:

Quadro 2: Focos e coordenação de cada Câmara Temática

CÂMARA TEMÁTICA	COORDENAÇÃO	FOCO
CT de Agropecuária e Uso da Terra	SEAGRI	ILPF, biodigestores, restauração florestal, controle de desmatamento.
CT de Energia e Transporte	SEDETEC	Solar distribuída, mobilidade elétrica, eficiência energética.
CT de Recursos Hídricos	SEMAC	Segurança hídrica, perdas em abastecimento, recarga de aquíferos.
CT de Resíduos e Economia Circular	SEMAC/ADEMA	Reciclagem, biogás, compostagem, aterros sanitários.
CT de Adaptação Urbana	SEDURBI	Infraestrutura verde, drenagem, habitação climático-resiliente.
CT de Saúde e Clima	SES	Alerta de calor, vigilância epidemiológica, infraestrutura de saúde.
CT de Zonas Costeiras	SEMAC	Manguezais, erosão costeira, pesca artesanal, elevação do mar.
CT de Financiamento Climático	SEFAZ	Captação de recursos, fundos climáticos, instrumentos econômicos.

CÂMARA TEMÁTICA	COORDENAÇÃO	FOCO
CT de Justiça Climática	SEMAC e sociedade civil	Populações vulneráveis, comunidades tradicionais, equidade.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Por fim, o coordenador de cada CT deverá ser indicado pelo GTMC, e terá mandato de 2 anos, renovável por igual período.

O Nível Consultivo-Científico contempla o Painel Científico, que representa um elo de integração entre a implementação do PEAC/SE e a inovação técnico-científica no âmbito das Mudanças Climáticas. A composição do Painel será de 15 a 20 pesquisadores, que deverão apresentar especializações nas seguintes áreas do conhecimento:

- Climatologia e modelagem climática;
- Engenharia ambiental e recursos hídricos;
- Agronomia e sistemas agroflorestais;
- Energia renovável;
- Saúde pública e epidemiologia ambiental;
- Economia ecológica;
- Ciências sociais e justiça ambiental.

A institucionalização do Painel Científico dependerá da criação de Acordos de Cooperação Técnica (ACT) entre a SEMAC e instituições de pesquisa, como a Universidade Federal de Sergipe (UFS), o Instituto Federal de Sergipe (IFS), a Universidade Tiradentes (UNIT), a Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica (FAPITEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). O Painel terá como atribuições a realização de reuniões trimestrais que apresentam os seguintes objetivos:

- Propor aprimoramentos técnicos e a incorporação de avanços científicos no sistema MRV;
- Validar a metodologia adotada para os inventários de GEE, seja em elaboração ou finalizados;
- Avaliar projeções climáticas e projetar cenários futuros;
- Desenvolver estudos de vulnerabilidade climática, com a construção de cenários futuros;
- Prestar assessoria técnica às Câmaras Temáticas, no âmbito de suas atribuições;
- Avaliar a efetividade das políticas climáticas implementadas.

Diante da presença de diversos níveis hierárquicos e instituições distintas, o desenvolvimento de um Plano de Governança Climática que dialogue com as atividades previstas no PEAC/SE é fundamental. Torna-se imprescindível a modelagem de uma estrutura de governança que estabeleça, de maneira clara, as atribuições, fluxos de comunicação e a integração entre as bases de dados dos órgãos e instituições envolvidas.

5.2 SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE EMISSÕES E ESTATÍSTICAS – SISGEE

O Sistema Integrado de Monitoramento de Emissões e Estatísticas – SISGEE foi inicialmente instituído no Produto 2.1 – PEMAMC-SE – e compreende a estrutura organizacional e tecnológica que permitirá a compilação e atualização dos indicadores-chave, bem como a produção e aprovação periódica dos Inventários de Gases de Efeito Estufa – GEE.

Figura 3: Estrutura do Sistema Integrado de Monitoramento de Emissões e Estatísticas – SISGEE



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Os módulos de coleta, validação e análise apresentam relação direta com os indicadores-chave de monitoramento e a elaboração bienal do Inventário de Gases de

Efeito Estufa. O módulo de publicação, por sua vez, dialoga com o Sistema de Reporte, ao tratar da Plataforma Integradora de Dados Climáticos.

Importa mencionar que a aquisição dos dados e estatísticas, sobretudo a previsão de conectores API entre os sistemas corporativos, reforça a importância da articulação institucional entre a Secretaria Executiva do PEAC/SE e os 18 órgãos líderes, que, juntos, compõem o Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC). O monitoramento climático apresenta interseções em diversos setores da administração pública, de forma que a aquisição de informações somente será possível mediante a contribuição de cada setor.

Nos tópicos subsequentes, serão detalhados os pilares do monitoramento climático que nortearão a operacionalização do SISGEE: as emissões de GEE e os indicadores-chave do PEMAMC-SE.

5.2.1 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

A estimativa de emissões de GEE deverá ocorrer em consonância com as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC), publicadas originalmente em 2006 (IPCC, 2006) e atualizadas em 2019 (IPCC, 2019). Essas revisões incorporam aprimoramentos técnicos voltados à maior robustez, consistência e transparência dos inventários, abrangendo a atualização de fatores de emissão, o fortalecimento das boas práticas de coleta e tratamento de dados e o refinamento das metodologias aplicáveis a setores-chave, como energia, agropecuária, uso da terra e resíduos.

Além disso, deverão ser considerados os padrões utilizados em inventários nacionais, previstos nas análises do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). A adoção dessas diretrizes metodológicas assegura a compatibilidade entre os inventários nacionais, elaborados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI e com os compromissos climáticos do Brasil, previstos no “United Nations Framework Convention on Climate Change” – UNFCCC. Ressalta-se, ainda, que a abordagem metodológica ora proposta mantém coerência com aquela adotada no Produto 1.3 – Inventário Estadual de Gases de Efeito Estufa, desenvolvido no Módulo 1 – Diagnóstico Climático do PEAC/SE, garantindo padronização e continuidade técnica entre os produtos.

Dessa forma, em consonância com o inventário anterior e os marcos nacionais e internacionais pertinentes, a estimativa das emissões para os anos de referência deverá considerar os setores adotados no SEEG, que são:

1. Energia;
2. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU);
3. Agropecuária;
4. Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF);
5. Resíduos.

Em relação aos gases a serem inventariados, têm-se como exigência mínima:

- Dióxido de carbono (CO_2);
- Metano (CH_4);
- Óxido nitroso (N_2O);
- Hexafluoreto de enxofre (SF_6);
- Hidrofluorcarbonetos (HFCs); e
- Perfluorcarbonetos (PFCs).

Ressalta-se que a exigência mínima reflete apenas os principais gases inventariados no Produto 1.3, de forma que a lista prevista no IPCC (2024) é significativamente mais ampla, e deverá ser considerada para a melhoria contínua das estimativas.

As estimativas de emissões obtidas no âmbito dos Inventários Bienais de GEE deverão ser compatibilizadas com as estimativas do SEEG. Além disso, deverão ser acompanhadas de projeções que considerem cenários pessimistas e otimistas em relação à implementação das ações climáticas propostas no PEMAMC-SE.

Por fim, é importante mencionar que a elaboração dos inventários, desde o processo de aquisição e compilação de dados à aplicação das diretrizes metodológicas, deverá ser realizada pelo GTMC. Para tanto, a Coordenação de Monitoramento, vinculada à Secretaria Executiva do GTMC, deverá contar com uma equipe de caráter multidisciplinar, preferencialmente composta por especialistas com domínio técnico em cada um dos setores inventariados.

5.2.2 INDICADORES-CHAVE DE MONITORAMENTO

A definição dos indicadores de monitoramento esteve em consonância com as metas progressivas definidas no Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE). Dessa forma, os indicadores qualitativos e quantitativos deverão ser mensuráveis, a fim de verificar o cumprimento das metas e, por consequência, a implementação das ações propostas no PEMAMC-SE.

Os indicadores foram estruturados em dimensões hierárquicas, que são: mitigação, adaptação, monitoramento, governança, financiamento climático, justiça climática e integração sistêmica. A divisão justifica-se pela natureza das metas e, portanto, pela temática abordada pelos indicadores. Nesse sentido, as dimensões poderão ser definidas da seguinte maneira:

a) **Mitigação**: abrange os indicadores voltados ao monitoramento das ações voltadas à redução das emissões e ao aumento dos sumidouros de gases de efeito estufa (GEE);

b) **Adaptação**: contempla os indicadores voltados ao monitoramento das ações relacionadas à redução da vulnerabilidade e aumento da resiliência climática dos sistemas naturais e humanos;

c) **Monitoramento**: está relacionado ao acompanhamento do progresso de implementação de sistemas contínuos de monitoramento, reporte e verificação das ações climáticas;

d) **Governança**: inclui os indicadores-chave responsáveis pela verificação da articulação institucional entre os órgãos líderes, colaboradores, setores privados e a sociedade civil;

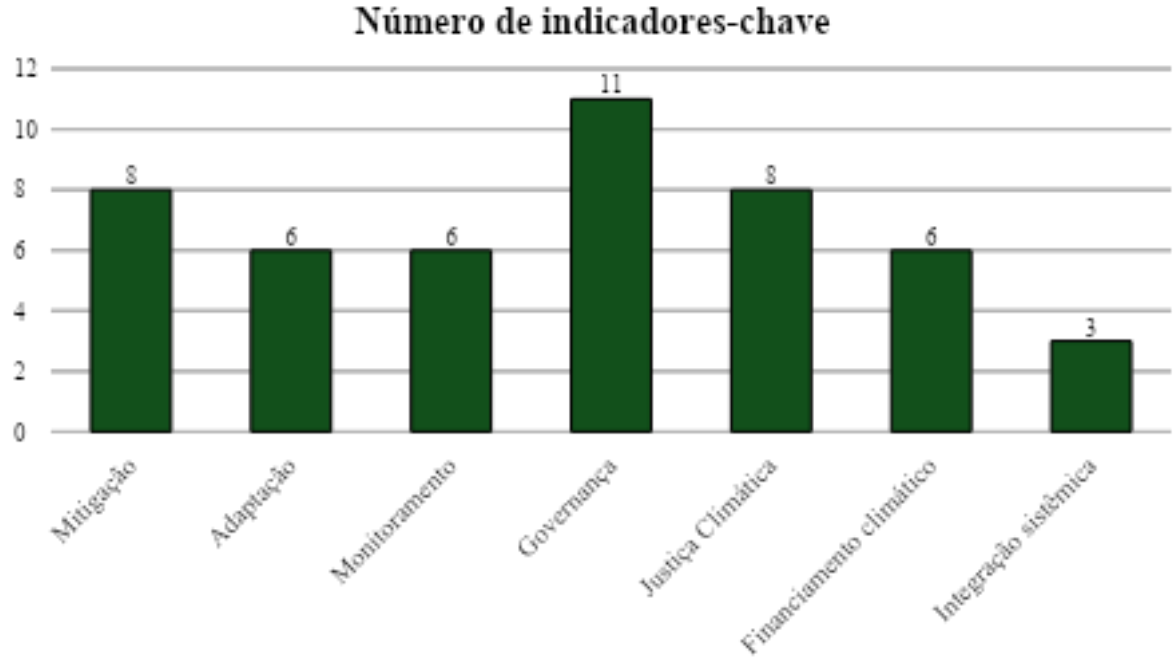
e) **Financiamento Climático**: relaciona-se aos indicadores-chave voltados ao monitoramento da captação e alocação de recursos financeiros para viabilizar ações climáticas;

f) **Justiça Climática**: esta dimensão contempla os indicadores-chave destinados ao acompanhamento das metas que priorizam populações vulneráveis;

g) **Integração Sistêmica**: apresenta os indicadores-chave que expressam a sinergia entre os eixos temáticos do PEMAMC-SE.

O número de indicadores por dimensão pode ser visualizado na Figura 4, em que é possível notar a predominância dos indicadores relacionados à governança climática. Esse aspecto evidencia a relevância da governança na implementação efetiva do PEMAMC-SE.

Figura 4: Número de indicadores por dimensão



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Nos itens a seguir, serão descritos os indicadores-chave de cada dimensão definida neste documento.

5.2.2.1 Indicadores para metas de Monitoramento

A dimensão de Monitoramento, que corresponde ao Eixo 1 do PEMAMC-SE, abrange os indicadores-chave que buscam mensurar a efetividade de implementação do sistema MRV. Nesse sentido, correlaciona-se diretamente às metas desse eixo. O Quadro 3, inserido a seguir, apresenta as metas e respectivos indicadores-chave para essa dimensão.

Quadro 3: Metas e respectivos indicadores-chave de Monitoramento

METAS DE CURTO PRAZO (2030)	INDICADORES-CHAVE
48 indicadores MRV atualizados bienalmente	N° de indicadores atualizados bienalmente
Ampliação da rede de estações meteorológicas de 9 para 22 unidades operacionais, vinculando sua expansão à criação de mecanismo de financiamento contínuo	N° de estações meteorológicas operacionais
Portal clima.se.gov.br 100% operacional até 2027	Situação do portal clima.se.gov.br (Não operacional/Operacional)
3 inventários de GEE publicados	N° de Inventários de GEE publicados
2 verificações externas realizadas (2027, 2029)	N° de verificações externas
90 pontos em índice nacional de transparência	N° de pontos conforme nota metodológica (Escala Brasil Transparente da CGU)

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Observa-se que a maior parte dos indicadores é facilmente mensurável pela própria operação do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas, a exemplo da atualização dos indicadores-chave, operacionalização do Portal de Transparência Climática e publicação do Inventário de GEE.

Para o acompanhamento das metas correlatas, o Quadro 4, inserido abaixo, apresenta os órgãos pertencentes ao Grupo Técnico de Mudanças Climáticas responsáveis por cada indicador, as fontes de dados e possíveis órgãos colaboradores para a sua obtenção, bem como a periodicidade máxima de coleta.

Quadro 4: Detalhamento dos indicadores-chave para metas de Monitoramento

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
N° de indicadores atualizados bienalmente	SEMAC	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	Bienal
N° de estações meteorológicas operacionais	Defesa Civil	Defesa Civil	Trimestral
Situação do portal clima.se.gov.br (Não operacional/Operacional)	SEMAC	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	Trimestral
N° de Inventários de GEE publicados	SEMAC	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	Bienal (anos pares)
N° de verificações externas	SEMAC	Auditoria independente	Bienal (anos ímpares)
N° de pontos conforme nota metodológica (Escala Brasil Transparente)	SEMAC	Controladoria Geral do Estado - CGE e Controladoria Geral da União - CGU	Trimestral

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Nota-se que a maior parte dos indicadores-chave poderá ser atualizada a partir de dados obtidos internamente pela Secretaria Executiva do PEAC/SE e, portanto, apresenta alta facilidade de mensuração. Importa mencionar a intercalação existente entre os indicadores que mensuram a meta de publicação bienal dos Inventários de GEE e a verificação externa por auditorias independentes. Essa correlação objetiva que a auditoria independente possa realizar a análise do Inventário, a fim de verificar sua conformidade com os padrões metodológicos internacionais.

5.2.2.2 Indicadores para metas de Mitigação

As metas de Mitigação foram apresentadas no Eixo 3 – Mitigação e Adaptação Climática – do PEMAMC-SE. Para a definição das metas, foram consideradas as atividades cruciais do documento, e estão apresentadas no quadro a seguir.

Quadro 5: Metas e respectivos indicadores-chave de Mitigação

METAS DE CURTO PRAZO (2030)	INDICADORES-CHAVE
~33% redução de emissões GEE (8,9 → ~6,0 $MtCO_2e$)	Emissões totais GEE ($MtCO_2e$/ano)
350 MW de energia solar distribuída	Potência de geração de energia solar
50.000 hectares de vegetação nativa restaurados	Área restaurada acumulada (ha)
Desmatamento ilegal zero	Hectares de fragmentos de vegetação nativa suprimidos
2.500 veículos elétricos (crescimento 8x vs 2025)	N° de veículos elétricos
125.100 em sistemas ILPF (Expansão de 4.600 até 2030 e 15.000 até 2050)	Área com implantação de sistemas ILPF
120 biodigestores operacionais	N° de biodigestores
40% de resíduos urbanos reciclados	% de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Devido à diversidade dos setores compreendidos na mitigação climática, a aquisição dos dados para a atualização dos indicadores dependerá do fortalecimento da articulação institucional entre os órgãos líderes e colaboradores. A depender do nível de disponibilidade de informações, será possível aprimorar o sistema MRV para que diversos dados sejam concedidos por meio da integração de APIs entre os sistemas dos órgãos setoriais.

Os indicadores-chave para acompanhamento das metas de mitigação, acompanhados de seus respectivos órgãos responsáveis e prováveis fontes de dados, serão detalhados no Quadro 6, inserido abaixo.

Quadro 6: Detalhamento dos indicadores-chave para metas de Mitigação

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
Emissões totais GEE ($MtCO_2e$/ano)	SEMAC	Grupo Técnico e Painel Científico - Inventários de GEE	Bienal
Potência de geração de energia solar	SEDETEC	SEDURB, SEDETEC, ANEEL, SETC, ARSET	Trimestral
Área restaurada acumulada (ha)	SEMAC	Sensoriamento remoto e Monitoramento in loco	Trimestral
Hectares de fragmentos de vegetação	SEMAC	Sensoriamento remoto e Monitoramento in loco/ADEMA/INPE/EMDAGRO	Trimestral

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
nativa suprimidos			
N° de veículos elétricos	SEMAC	Ministério dos Transportes/SEDETEC/DETRAN	Trimestral
Área com implantação de sistemas ILPF	SEAGRI	Monitoramento in loco e sensoriamento remoto, EMDAGRO e CODERSE	Trimestral
N° de biodigestores	SEMAC	ADEMA (Empreendimentos), Concessionárias e SEDURBI	Trimestral
% de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos	SEMAC	ADEMA (Empreendimentos), SINISA, SEDURBI e Secretarias Municipais, cooperativas	Trimestral

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A atualização bienal do indicador relacionado às emissões totais de GEE relaciona-se diretamente à periodicidade prevista para a publicação dos inventários. Para os demais indicadores, admite-se a periodicidade padrão trimestral. Observa-se, ainda, que essa dimensão apresenta maior diversidade de órgãos envolvidos, aspecto já evidenciado anteriormente.

Para essa dimensão climática, importa mencionar a existência de metas de médio e longo prazo, que se correlacionam às NDC brasileiras. O Quadro 7, inserido abaixo, descreve as metas de curto, médio e longo prazo para a redução da emissão de GEE.

Quadro 7: Metas de redução de emissões de GEE de curto, médio e longo prazo

PRAZO	REDUÇÃO DE EMISSÕES	INDICADOR-CHAVE	EMISSÕES LÍQUIDAS ($MTCO_{2E}$)
Curto Prazo – 2030	Reduzir 33% das emissões (6,0 $MtCO_2e$)	% de redução de emissões	6,00
Médio Prazo – 2035	Reduzir 60% das emissões (de 8,96 para 3,58 $MtCO_2e$/ano)		3,58
Longo Prazo – 2050	Neutralidade climática (0 emissões líquidas de GEE).		0,00

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Assim, o Sistema MRV deverá incorporar o acompanhamento contínuo das metas de redução de emissões nos horizontes de médio e longo prazo, as quais deverão ser periodicamente reavaliadas no âmbito de revisões quinquenais do sistema.

5.2.2.3 Indicadores para metas de Adaptação

As metas de adaptação foram formuladas para o acompanhamento das ações que buscam adaptar os sistemas antrópicos e naturais aos efeitos das mudanças climáticas. Os indicadores-chave, por sua vez, correspondem a métricas que permitem mensurar o

cumprimento das metas. O Quadro 8 apresenta as metas e respectivos indicadores de Adaptação.

Quadro 8: Metas e respectivos indicadores-chave de Adaptação

METAS DE CURTO PRAZO (2030)	INDICADORES-CHAVE
Vulnerabilidade reduzida de 60% para 30% da população	Vulnerabilidade climática (% pop.)
Zero mortes evitáveis por ondas de calor	N° de mortes evitáveis por ondas de calor
Segurança hídrica para 95% da população	% da população com acesso a água
1.800 ha de manguezais restaurados	Área de manguezais restaurados
100% das UBS climatizadas	% de UBS climatizadas
Perdas hídricas reduzidas de 42% para 25%	Perdas hídricas (%)

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A seguir, os indicadores-chave de adaptação serão detalhados quanto ao órgão coordenador, prováveis fontes de dados e órgãos colaboradores, bem como a periodicidade de coleta.

Quadro 9: Detalhamento dos indicadores-chave para metas de Adaptação

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
Vulnerabilidade climática (% pop.)	SEMAC	Grupo Técnico (Metodologia prevista no Produto 1.4)/SEDURBI/IBGE/ Defesa Civil/Painel Científico	Anual
N° de mortes evitáveis por ondas de calor	SES	DATASUS	Trimestral
% da população com acesso a água	SEMAC	SINISA/Concessionárias de abastecimento/CODERSE/DNOCS	Anual
Área de manguezais restaurados	SEMAC	Monitoramento in loco e sensoriamento remoto/INPE/EMDAGRO/ADEMA	Trimestral
% de UBS climatizadas	SES	SES	Trimestral
Perdas hídricas (%)	SEMAC	Concessionárias de abastecimento	Trimestral

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Observa-se que a obtenção de informações dependerá de fontes externas ao Governo do Estado, de modo que a articulação setorial não se restringirá às esferas governamentais. Nesse contexto, será necessário estabelecer articulação com órgãos federais e com empresas responsáveis pelos serviços de abastecimento, a fim de assegurar a adequada coleta de dados.

5.2.2.4 Indicadores para metas de Governança

Conforme apresentado anteriormente, os indicadores de Governança predominam em relação às demais dimensões climáticas. Esse aspecto reforça a necessidade de sua priorização, uma vez que, sem a definição clara de responsabilidades e de fluxos de comunicação, a implementação das demais ações climáticas será comprometida.

A seguir, no Quadro 10, serão apresentadas as metas e indicadores-chave correlatos de Governança.

Quadro 10: Metas e respectivos indicadores-chave de Governança

METAS DE CURTO PRAZO (2030)	INDICADORES-CHAVE
75 Planos Municipais de Mudanças Climáticas elaborados (100%)	N° de Planos Municipais elaborados
75 Comitês Municipais criados e ativos	N° de Comitês Municipais criados e ativos
12 reuniões ordinárias/ano do CEEMC-SE realizadas	N° de reuniões do CEEMC-SE realizadas no período
12 reuniões/ano do GTMC + Secretaria Executiva operacional	N° de reuniões do GTMC + Secretaria Executiva realizadas no período
1.500 gestores estaduais/municipais capacitados	N° de gestores estaduais/municipais capacitados
75 municípios (100% obrigados) com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática	N° de Municípios com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática
Mínimo 5 consultas periódicas realizadas (2026-2030) até 2030	N° de consultas periódicas realizadas no período
2 conferências estaduais realizadas (2027, 2029) até 2030	N° de conferências realizadas no período
9 Câmaras Temáticas funcionando regularmente	N° de câmaras temáticas em operação
4-5 consórcios intermunicipais criados	N° de consórcios intermunicipais criados
50% de representação não-governamental em todas as instâncias	% de representação não-governamental nas instâncias de governança climática

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

As metas evidenciam a intenção de descentralizar a ação climática para os Municípios, com o objetivo de ampliar o alcance das iniciativas e adequá-las às especificidades das realidades locais. Essa estratégia também facilitará o acesso a informações essenciais à revisão periódica de estudos técnicos, como os mapas de vulnerabilidade climática e os próprios inventários de GEE.

No Quadro 11, serão detalhados os indicadores-chave que buscam mensurar as metas de Governança, acompanhados de seus respectivos órgãos coordenadores, possíveis fontes de dados e a periodicidade de coleta.

Quadro 11: Detalhamento dos indicadores-chave para metas de Governança

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
N° de Planos Municipais elaborados	SEMAC	Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Anual
N° de Comitês Municipais criados e ativos	SEMAC	Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Anual
N° de reuniões do CEEMC-SE realizadas no período	SEMAC	CEEMC-SE	Trimestral
N° de reuniões do GTMC + Secretaria Executiva realizadas no período	SEMAC	GTMC	Trimestral
N° de gestores estaduais/municipais capacitados	SEMAC	GTMC	Trimestral
N° de Municípios com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática	SEMAC	Secretarias Municipais de Planejamento/Desenvolvimento Urbano	Anual
N° de consultas periódicas realizadas no período	SEMAC	CEEMC-SE	Trimestral
N° de conferências realizadas no período	SEMAC	CEEMC-SE	Trimestral
N° de câmaras temáticas em operação	SEMAC	Representantes das Câmaras Temáticas	Trimestral
N° de consórcios intermunicipais criados	SEMAC	Secretarias Municipais de Meio Ambiente ou correlatas (se não houver)	Trimestral
% de representação não-governamental nas instâncias de governança climática	SEMAC	CEEMC-SE e Comitês Intermunicipais	Trimestral

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A atualização periódica dos indicadores-chave é de responsabilidade da SEMAC, no âmbito de seu papel na implementação do PEAC/SE. Contudo, o alcance das metas estará diretamente condicionado à iniciativa dos Municípios, bem como ao fomento por parte do Governo do Estado, especialmente no que se refere à elaboração dos Planos Municipais de Ações Climáticas e à institucionalização de instâncias de governança climática em seus territórios.

5.2.2.5 Indicadores para metas de Financiamento Climático

Para viabilizar a implementação das ações climáticas previstas no PEMAMC-SE, torna-se fundamental a captação de recursos financeiros. Nesse contexto, foram estabelecidas metas de curto prazo voltadas ao acompanhamento do progresso na execução de iniciativas destinadas à mobilização de financiamento, apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12: Metas e respectivos indicadores-chave de Financiamento Climático

METAS DE CURTO PRAZO (2030)	INDICADORES-CHAVE
Operacionalizar a capitalização do FEMC-SE até 2027 e consolidá-lo até 2030	Situação da capitalização do FEMC-SE (Não operacional/Operacional)
Aprovar de 5 a 8 projetos externos até 2027 e de 15 a 20 projetos até 2030	N° de projetos externos aprovados
Manutenção de taxa de execução orçamentária superior a 70% até 2027 e 85% até 2030	Taxa de execução orçamentária (%)
Diversificar as fontes de recursos assegurando um percentual de 30% não estadual até 2027 e 50% não estadual até 2030	% de fontes de recurso não-estaduais
Manutenção de um índice de custo-efetividade de mitigação inferior a R$ 100,00/tCO2e até 2027 e inferior a R$ 80/tCO2e até 2030	Índice de custo-efetividade das medidas de mitigação (R$/tCO2e)
Assegurar um investimento igual ou superior a 20% em populações vulneráveis até 2027 e a 30% até 2030	% de investimento para populações vulneráveis

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

O Quadro 13, inserido abaixo, apresenta um detalhamento dos indicadores-chave relacionados ao Financiamento Climático, com seus respectivos órgãos coordenadores, periodicidade de coleta e fontes de informações.

Quadro 13: Detalhamento dos indicadores-chave para metas de Financiamento Climático

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
Situação da capitalização do FEMC-SE (Não operacional/Operacional)	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Gestão de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral
N° de projetos externos aprovados	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Unidade de Gestão de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral
Taxa de execução orçamentária (%)	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE	Trimestral
% de fontes de recurso não-estaduais	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
Índice de custo-efetividade das medidas de mitigação (R$/tCO2e)	SEMAC (GTMC)	Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Bienal
% de investimento para populações vulneráveis	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A atualização dos indicadores-chave será centralizada na Diretoria de Administração Financeira da SEMAC, que terá acesso facilitado a essas informações. O cumprimento das metas, por sua vez, estará diretamente relacionado à articulação da SEMAC com os órgãos setoriais pertinentes.

5.2.2.6 Indicadores para metas de Justiça Climática

Reconhece-se que as populações em situação de vulnerabilidade são as mais afetadas pelos impactos das mudanças climáticas. Fatores como a ocupação de áreas de risco, a baixa cobertura arbórea e a precariedade dos serviços de saneamento básico contribuem para o agravamento desse cenário. Nesse contexto, o PEMAMC-SE estabelece metas voltadas à mensuração do progresso de ações climáticas orientadas à promoção da justiça climática, listadas no Quadro 14.

Quadro 14: Metas e respectivos indicadores-chave de Justiça Climática

METAS DE CURTO PRAZO (2030)	INDICADORES-CHAVE
45% dos recursos de adaptação para populações vulneráveis	% dos recursos de adaptação destinados a populações vulneráveis
Gap de mortalidade por calor reduzido de 2,8x para <1,5x	Mortalidade por calor de populações de baixa renda em relação à Mortalidade por calor de populações de alta renda
100% agricultores familiares com seguro-safra	% de agricultores com seguro-safra
Assegurar um percentual de representação de mulheres em instâncias de governança climática de 50% até 2030	% de representação feminina nas instâncias de governança climática
75% territórios quilombolas regularizados	% de territórios quilombolas regularizados
2.500 sistemas solares em habitações de baixa renda	N° de sistemas solares em habitações de baixa renda
8.500 moradias precárias adaptadas para calor	N° de moradias precárias adaptadas para calor
8.500 empregos verdes gerados	N° de empregos verdes gerados

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Os indicadores-chave que permitirão mensurar o cumprimento das metas de justiça climática estão apresentados no Quadro 15.

Quadro 15: Detalhamento dos indicadores-chave para metas de Justiça Climática

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
% dos recursos de adaptação destinados a populações vulneráveis	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	SEFAZ/SEPLAG	Trimestral
Mortalidade por calor de populações de baixa renda em relação à Mortalidade por calor de populações de alta renda (Gap)	SES	DATASUS	Trimestral
% de agricultores com seguro-safra	SEAGRI	SEAGRI e EMDAGRO	Anual
% de representação feminina nas instâncias de governança climática	SEMAC	CEEMC-SE/GTMC/Painel Científico e Câmaras Temáticas	Trimestral
% de territórios quilombolas regularizados	SEMAC	INCRA/Comunidades quilombolas	Trimestral
N° de sistemas solares em habitações de baixa renda	SEMAC	SEDETEC/ANEEL/SETC	Trimestral
N° de moradias precárias adaptadas para calor	SEDURBI	Municípios/SEMA	Trimestral
N° de empregos verdes gerados	SEMAC	SETEEM	Trimestral

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

No âmbito das revisões quinquenais do Sistema MRV, será fundamental, para a avaliação dessa dimensão climática, a escuta qualificada das populações vulneráveis do território sergipano, de modo a assegurar que suas necessidades sejam devidamente consideradas diante das constantes e crescentes mudanças climáticas.

5.2.2.7 Indicadores para metas de Integração Sistêmica

As metas de integração sistêmica buscam quantificar a efetividade das ações climáticas propostas no PEMAMC-SE em atingir múltiplas dimensões do enfrentamento às mudanças climáticas. Portanto, apresentam caráter quali-quantitativo, sendo necessário um aprofundamento nos protocolos de coleta e validação das informações. Os

indicadores-chave relacionados a cada meta foram apresentados no Quadro 16, inserido a seguir.

Quadro 16: Metas e respectivos indicadores-chave de Integração Sistêmica

METAS DE CURTO PRAZO (2030)	INDICADORES-CHAVE
60% de ações com benefícios em múltiplos eixos	% de ações com benefícios em múltiplos eixos
100% das decisões com participação de grupos vulneráveis	% de decisões tomadas com participação de grupos vulneráveis
<90 dias para ajuste de política após identificação de desvio	N° de dias necessários para ajuste de política

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A seguir, serão detalhados os indicadores-chave dessa dimensão quanto à periodicidade de coleta, à responsabilidade por sua atualização, às prováveis fontes de dados e possíveis órgãos colaboradores para a sua mensuração.

Quadro 17: Detalhamento dos indicadores-chave para metas de Integração Sistêmica

INDICADOR-CHAVE	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTE DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIODICIDADE
% de ações com benefícios em múltiplos eixos	SEMAC	Secretaria Executiva do PEAC/SE/Unidade de Gestão de Projetos	Trimestral
% de decisões tomadas com participação de grupos vulneráveis	SEMAC	CEEMC-SE/GTMC e Câmaras Temáticas	Trimestral
N° de dias necessários para ajuste de política	SEMAC	CEEMC-SE e GTMC	Trimestral

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Diferentemente de outras dimensões, a responsabilidade pela mensuração dos indicadores-chave propostos neste tópico está centralizada na SEMAC. Entretanto, a obtenção do subsídio técnico para validar as informações, sobretudo no que se refere à medição dos benefícios em múltiplos eixos, dependerá da articulação com os órgãos responsáveis por indicadores-chave de outras dimensões climáticas.

5.2.2.8 Metas integradas de curto, médio e longo prazo

Em consonância com as disposições da Lei n° 9.364/2024, bem como a NDC brasileira e demais compromissos firmados pelo Brasil no Acordo de Paris, torna-se necessária a definição de metas de médio e longo prazo para o PEAC/SE. O Quadro 18, inserido abaixo, apresenta as metas sugeridas e as classifica de acordo com a dimensão climática.

Quadro 18: Metas integradas de curto, médio e longo prazo (2030, 2035 e 2050)

DIMENSÃO	INDICADOR	BASELINE (2022)	META 2030	META 2035	META 2050
Mitigação	Emissões totais de GEE ($MtCO_2$)	8,9	~6,0	3,6	0
	Energia renovável na matriz (%)	42%	45%	55%	100%
	Área restaurada acumulada (ha)	0	30.000	50.000	150.000
Adaptação	Vulnerabilidade climática (%pop.)	60%	30%	20%	<10%
	Perdas hídricas (%)	42%	25%	15%	<10%
	Agricultores com seguro (%)	8%	25%	60%	100%
Governança	Municípios com estruturas climáticas (%)	0%	100%	100%	100%
	Transparência climática (pontos)	A definir	90	95	100
Justiça Climática	Gap mortalidade por calor entre ricos e pobres	2,8x	<1,5x	<1,2x	~1,0x

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Os órgãos coordenadores, prováveis fontes de dados e periodicidade de coleta são similares aos apresentados anteriormente.

5.2.3 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

A obtenção contínua de dados meteorológicos será fundamental para a gestão de riscos climáticos e a construção de cenários climáticos e de vulnerabilidade. Embora tais parâmetros não se configurem, necessariamente, como indicadores-chave, a disponibilidade de um banco de dados meteorológico será essencial para subsidiar as atividades do GTMC, das Câmaras Temáticas, do Painel Científico e para o fortalecimento da produção técnico-científica no Estado de Sergipe.

Conforme destacado, diversas atribuições das Câmaras Temáticas estão diretamente relacionadas à elaboração de estudos técnicos voltados à tomada de decisão. No âmbito do Painel Científico, essa relação se torna ainda mais evidente, dada a

necessidade de desenvolver cenários climáticos prospectivos, com e sem a implementação de políticas climáticas públicas, bem como estudos de vulnerabilidade que incorporem projeções futuras e análises comparativas.

A qualidade e a precisão desses estudos estão diretamente condicionadas à consistência e abrangência do banco de dados meteorológicos disponível. Dessa maneira, ao fornecer aos pesquisadores um arcabouço histórico de informações acerca de parâmetros meteorológicos, eleva-se o grau de confiabilidade do estudo, o que, por sua vez, enriquece o sistema MRV e a adequação dos Planos de Ação produzidos pelo GTMC.

Diante disso, destaca-se como ação prioritária para a implementação de um sistema de avaliação periódica do PEAC/SE a expansão da rede de estações meteorológicas no Estado de Sergipe — de 9 para 22 unidades, conforme meta estabelecida no PEMAMC-SE —, aliada à integração do Sistema Meteorológico de Sergipe (SIMESE) ao MRV. Essa integração deverá contemplar a adequação da arquitetura do sistema, de modo a viabilizar a incorporação, armazenamento e disponibilização sistemática dos dados meteorológicos, fortalecendo a base informacional necessária à gestão climática estadual.

5.2.4 REPORTE OBRIGATÓRIO PARA EMPREENDIMENTOS DE GRANDE IMPACTO

No âmbito do Sistema Integrado de Monitoramento de Emissões e Estatísticas (SISGEE), propõe-se a instituição de um mecanismo de Reporte Obrigatório para Empreendimentos de Grande Impacto, com o objetivo de assegurar a disponibilidade contínua, padronizada e verificável de dados primários relacionados às emissões de GEE e demais indicadores climáticos relevantes no Estado de Sergipe.

Esse mecanismo deverá ser vinculado ao processo de licenciamento ambiental conduzido pela ADEMA, de modo que o cumprimento das obrigações de reporte passe a constituir condicionante para a emissão, renovação ou manutenção das licenças ambientais aplicáveis aos empreendimentos enquadrados como de grande impacto ambiental e/ou climático.

Para fins deste instrumento, consideram-se empreendimentos de grande impacto aqueles que, em função de sua tipologia, porte ou potencial poluidor, apresentem relevância significativa em termos de emissões de GEE, consumo de recursos naturais ou interferência nos sistemas ambientais, conforme critérios a serem definidos em regulamentação específica.

Os empreendedores deverão encaminhar à ADEMA, em periodicidade definida em termo de referência ou condicionante de licença, um relatório que contenha o reporte de emissões diretas e indiretas de GEE, dados de atividade, consumo energético, uso de insumos e demais variáveis que subsidiem o monitoramento climático.

O envio e a recepção dos relatórios de emissões de GEE vinculados ao mecanismo de Reporte Obrigatório para Empreendimentos de Grande Impacto deverão ocorrer por meio de integração via API entre os sistemas de informação da ADEMA e da SEMAC. Essa integração permitirá que os dados declarados pelos empreendimentos no âmbito do licenciamento ambiental sejam transmitidos automaticamente à SEMAC, sem necessidade de envio manual, conferência documental individualizada ou consolidação posterior por parte dos analistas da ADEMA.

Para isso, deverá ser desenvolvido um Módulo de Validação integrado ao sistema, responsável pela recepção, organização e primeira triagem automatizada dos relatórios de GEE. Esse módulo deverá executar checagens automáticas de completude, formato, consistência interna, compatibilidade entre campos obrigatórios e validações preliminares das informações apresentadas.

Destaca-se que este mecanismo não se aplica aos empreendimentos licenciados por meio de Licença por Adesão e Compromisso (LAC), salvo disposição em contrário a ser definida em regulamentação futura.

5.3 SISTEMA DE REPORTE (RELATO)

O Sistema de Reporte, ou Relato, constitui o componente central de comunicação e transparência do Sistema MRV, e corresponde à etapa de consolidação, sistematização e divulgação das informações produzidas no âmbito do monitoramento das ações climáticas do Estado de Sergipe, apresentadas no tópico anterior.

A publicidade dessas informações, que deverão ser estruturadas em relatórios, mapas e dashboards interativos, está diretamente ligada à operacionalização da Plataforma de Transparência Climática. Dessa forma, permite-se à sociedade civil e aos órgãos de controle o acesso às informações e a verificação do progresso de implementação do PEMAMC-SE e demais produtos elaborados no âmbito do PEAC/SE.

No âmbito da divulgação dos Inventários de GEE, o Sistema de Reporte atende às exigências de transparência climática previstas em marcos internacionais e nacionais, a exemplo do artigo 13 do Acordo de Paris.

Os subitens a seguir apresentarão os Relatórios que deverão ser produzidos e publicizados na Plataforma de Transparência Climática.

5.3.1 RELATÓRIOS DE REPORTE DE PROGRESSO

Os Relatórios de Reporte de Progresso buscam apresentar a atualização dos indicadores-chave de monitoramento. Deverão ser publicados em duas periodicidades distintas: trimestral e anual. O objetivo de sua elaboração periódica consiste na identificação precoce de desvios de trajetória, de forma que subsidiarão a tomada de decisões por parte do CEEMC-SE.

Para os Relatórios Trimestrais, as informações deverão ser apresentadas em formato PDF sintético, contemplando, no mínimo, os seguintes elementos:

- Atualização dos 48 indicadores-chave de monitoramento, adotando-se o último valor disponível para aqueles cuja periodicidade de coleta seja superior ao trimestre;
- Análise comparativa em relação ao trimestre anterior, com a identificação de possíveis padrões sazonais;
- Resumo executivo das ações efetivamente implementadas no período, organizado por setor, incluindo a identificação dos principais desafios e riscos, bem como recomendações técnicas para ajustes operacionais.

Os Relatórios Anuais, além de contemplarem o mesmo conteúdo mínimo apresentado acima, também deverão ser complementados, em anos pares, pelos resultados obtidos nos Inventários Bienais de GEE.

Ambos os relatórios deverão ser apresentados e aprovados, inicialmente, pelo CEEMC-SE, embora devam ser encaminhados, ainda, à Assembleia Legislativa de Sergipe, ao Governo Federal, às organizações da sociedade civil e ao setor privado. Além disso, deverão ser devidamente publicados e disponíveis para download na Plataforma de Transparência Climática.

5.3.2 INVENTÁRIOS BIENAIS DE GASES DE EFEITO ESTUFA – GEE

A periodicidade de elaboração dos Inventários de Gases de Efeito Estufa (GEE) encontra-se estabelecida na Lei Estadual nº 9.364/2024, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas. Esses inventários têm como finalidade a quantificação verificável das emissões e remoções de GEE no âmbito estadual, bem como a contribuição para a consolidação do inventário nacional. Sua elaboração deverá ocorrer de forma bienal, nos anos pares, sob responsabilidade do GTMC, com prazo máximo de entrega até o mês de junho do ano subsequente ao ano-base. Destaca-se, nesse contexto,

o papel do Painel Científico, que atuará no apoio técnico-consultivo e na validação das metodologias de coleta e processamento de dados adotadas.

Conforme já apresentado em tópicos anteriores, a elaboração dos inventários deverá observar as diretrizes metodológicas estabelecidas pelo IPCC Guidelines (2006), bem como seu refinamento publicado em 2019. Ademais, deverão contemplar a análise de tendências temporais, considerando séries históricas de inventários anteriores, e a comparação com os resultados nacionais, de modo a identificar a participação relativa do Estado de Sergipe nas emissões de GEE.

Por fim, deverão ser identificadas as principais fontes emissoras (hotspots), com o objetivo de subsidiar a revisão dos Planos de Ação conduzidos pelo GTMC, bem como a elaboração de projeções de emissões para os horizontes temporais de 2030, 2035 e 2050, em diferentes cenários de implementação das políticas climáticas.

5.3.3 RELATÓRIOS DE VERIFICAÇÃO EXTERNA

Os Relatórios de Verificação Externa serão produzidos bienalmente, em anos ímpares, com o objetivo de incluir os resultados obtidos nos Inventários Bienais de GEE, de periodicidade similar, porém publicados em anos pares. A responsabilidade pela elaboração dos relatórios será de auditoria independente, acreditada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) para o exercício de tal função.

Em consonância com o PEMAMC-SE, as auditorias deverão abranger cinco aspectos principais do sistema MRV:

- Validação das metodologias aplicadas nos Inventários de GEE (fatores de emissão, dados coletados, cálculos e incertezas);
- Verificação amostral de 15 a 20 indicadores do sistema, selecionados por criticidade;
- Análise da conformidade dos processos de coleta e consolidação dos protocolos estabelecidos;
- Verificação da integridade e segurança dos sistemas de informação; e
- Análise da conformidade dos relatórios produzidos com padrões internacionais de comunicação.

Dessa forma, o Relatório de Verificação Externa deverá contemplar, em seu conteúdo mínimo, os resultados adquiridos pela auditoria na verificação dos cinco aspectos e recomendações de aprimoramento do sistema MRV.

De maneira análoga aos demais relatórios, o Relatório de Verificação Externa deverá ser encaminhado ao CEEMC-SE, para que providencie as adequações necessárias no sistema e nos Planos de Ação, bem como aos órgãos de controle, à sociedade civil, à Assembleia Legislativa e aos órgãos federais pertinentes.

5.3.4 SISTEMA METEOROLÓGICO DE SERGIPE – SIMESE

Os dados meteorológicos gerados no âmbito do Sistema Meteorológico de Sergipe (SIMESE) deverão ser integrados à Plataforma de Transparência Climática, mediante prévia revisão e atualização do sistema atualmente em operação. Essa integração tem como objetivo central consolidar, em um único ambiente, as informações de natureza climática, de modo a ampliar a transparência e facilitar o acesso por parte da sociedade civil, órgãos de controle e instituições de pesquisa.

Recomenda-se que o processo de revisão e integração contemple, ainda, a disponibilização de funcionalidades para download de planilhas e bases de dados, assegurando a publicização das informações meteorológicas em formatos abertos e acessíveis. Tal medida permitirá a utilização desses dados em estudos técnicos, análises científicas e processos de tomada de decisão.

5.4 SISTEMA DE VERIFICAÇÃO

A verificação do sistema MRV deverá ocorrer em múltiplas frentes. O processo não deve se restringir à verificação interna, a ser realizada por meio de revisões trimestrais e anuais. Faz-se necessária, ainda, a avaliação externa da efetividade das ações climáticas perante as partes interessadas, entre as quais se incluem a sociedade civil e os órgãos de controle. Além disso, está prevista a realização de auditoria independente, com vistas à verificação da conformidade legal dos procedimentos de coleta, tratamento e divulgação das informações.

Os itens a seguir detalharão cada atividade destinada à avaliação interna e externa do sistema MRV, bem como das demais ações e políticas climáticas implementadas no âmbito do PEAC/SE.

5.4.1 CONSULTAS PÚBLICAS

Para assegurar a participação social no processo decisório de verificação do sistema MRV, deverão ser realizadas Consultas Públicas com periodicidade mínima anual. Essas consultas deverão ocorrer em formato híbrido, através da disponibilização de formulários digitais na Plataforma de Transparência Climática, bem como da realização de consultas presenciais distribuídas pelas regiões climáticas do Estado.

Deverá ser garantida a participação de diversos segmentos da sociedade, incluindo associações, comunidades tradicionais, lideranças sociais, representantes do setor produtivo e demais partes interessadas.

Quanto à temática das consultas, recomenda-se que, no período de 2026 a 2030, sejam abordados, prioritariamente, os seguintes temas:

- Priorização de áreas para restauração florestal;
- Revisão de metas setoriais;
- Critérios de alocação do Fundo Estadual de Mudanças Climáticas;
- Revisão Quinquenal do Sistema MRV.

Destaca-se que as consultas públicas constituem instrumento fundamental para a promoção da melhoria contínua do Sistema MRV e dos Planos de Ação elaborados pelo GTMC, ao possibilitar a incorporação de contribuições relacionadas às dimensões de Mitigação, Adaptação, Governança, Financiamento e Monitoramento Climático.

5.4.2 REVISÃO ANUAL DO SISTEMA MRV

A partir dos Relatórios de Reporte de Progresso produzidos e apresentados ao CEEMC-SE anualmente, deverá ser desempenhada a revisão do Sistema MRV em igual periodicidade. A revisão busca proporcionar a incorporação das lições aprendidas a partir da implementação do PEAC/SE, os novos avanços científicos, tecnológicos e metodológicos, as demandas oriundas de partes interessadas, assim como novas políticas climáticas externas ao Governo do Estado.

A responsabilidade pela condução da revisão anual caberá ao CEEMC-SE, sendo o processo tecnicamente subsidiado pelo GTMC, pelas Câmaras Temáticas e pelo Painel Científico. Nesse contexto, os estudos técnicos elaborados pelo Painel Científico e pelas Câmaras Técnicas, assim como os Relatórios de Verificação Externa (nos anos ímpares), deverão constituir a principal base de suporte à revisão.

O cronograma apresentado no Quadro 19, inserido abaixo, detalha o conjunto de atividades necessárias à implementação da revisão anual do Sistema MRV.

Quadro 19: Cronograma de atividades da revisão anual do Sistema MRV

ATIVIDADE	MÊS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Avaliação interna do Sistema.												
Consulta a usuários, por meio de questionários online sobre qualidade dos												

ATIVIDADE	MÊS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
dados, a serem inseridos na Plataforma de Transparência Climática.												
Reunião de avaliação, em que deverão ser discutidos os resultados obtidos e propostos ajustes.												
Aprovação dos ajustes propostos.												
Implementação dos ajustes aprovados.												

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Além das atividades ordinárias, deverá estar prevista a participação de representantes do CEEMC-SE no Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, assim como em eventos de caráter internacional relacionados às mudanças climáticas.

Para fins de avaliação interna, recomenda-se a realização de análises comparativas com sistemas MRV e indicadores-chave adotados por outros estados, como São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e Ceará. Por fim, sugere-se a incorporação contínua de avanços científicos, por meio do acompanhamento sistemático dos relatórios do IPCC e da participação em redes e iniciativas especializadas, como a Rede Clima (MCTI), o Observatório do Clima e o GHG Protocol Brasil.

5.4.3 AUDITORIA DO PEAC/SE

Conforme apresentado no item 5.3.3, deverão ser conduzidas auditorias por consultoria independente com o objetivo de avaliar a conformidade do Sistema MRV em relação aos marcos normativos estaduais, nacionais e internacionais aplicáveis. Destaca-se que, no contexto brasileiro, quando envolver a validação do Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE), essa auditoria deverá ser realizada por um Organismo de Verificação de Inventários de GEE (OVV) devidamente acreditado pelo Inmetro.

Nesse sentido, recomenda-se que o planejamento orçamentário do Governo do Estado contemple a contratação de consultoria especializada e certificada para a execução das verificações externas, as quais deverão ocorrer com periodicidade bienal, nos anos ímpares.

Por fim, importa mencionar que a auditoria deverá considerar as orientações apresentadas pela norma técnica da ABNT NBR ISO 14064-1, que trata da quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa.

5.4.4 REVISÃO QUINQUENAL DO SISTEMA MRV

As revisões quinquenais do Sistema MRV ocorrerão simultaneamente à revisão do PEMAMC-SE, de forma que haja coerência entre os instrumentos de planejamento e os mecanismos de acompanhamento.

O processo de revisão terá caráter avaliativo, com a finalidade de verificar a efetividade do sistema MRV no período e a identificação de oportunidades de melhoria contínua. Dessa forma, a revisão deverá abranger:

- O alcance dos objetivos específicos previstos para o sistema MRV;
- A análise da proporcionalidade entre os custos e benefícios;
- A avaliação da relevância dos indicadores-chave atuais, e proposição de ajustes (se necessários);
- O alinhamento das metas com a NDC brasileira, considerando possíveis revisões;
- As inovações tecnológicas que surgiram no período, e como incorporá-las no sistema;
- A análise da capacidade institucional dos distintos níveis hierárquicos na operacionalização do sistema MRV.

Cumpre mencionar que um dos subsídios à revisão quinquenal consiste nas Consultas Públicas citadas no item 5.4.1, assegurando a participação social no processo de atualização do sistema MRV.

5.5 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

As ações de monitoramento, reporte e verificação previstas na arquitetura conceitual do Sistema MRV deverão ocorrer em conformidade com o Cronograma de Atividades apresentado no Quadro 20.

Quadro 20: Cronograma das atividades de monitoramento, avaliação e verificação do sistema MRV

ATIVIDADE	ÓRGÃOS RESPONSÁVEIS	PERIODICIDADE	PRAZO
Atualização contínua de um Banco de Dados Meteorológico para o Estado de Sergipe.	SEMAC	Contínuo	-
Coleta de dados	GTMC	Trimestral	Até dia 15 do mês seguinte
Consolidação de dados	Secretaria Executiva do GTMC/CEEMC-SE	Trimestral	Até dia 30 do mês seguinte

ATIVIDADE	ÓRGÃOS RESPONSÁVEIS	PERIODICIDADE	PRAZO
Relatório de Progresso	Secretaria Executiva do GTMC	Trimestral	Até 45 dias após fim do trimestre
Inventário de Emissões de GEE	Secretaria Executiva do GTMC/Painel Científico	Bienal (anos pares)	Até junho do ano seguinte
Relatório Anual de Progresso	Secretaria Executiva do GTMC e CEEMC-SE	Anual	Até 31 de março do ano seguinte
Relatório de Verificação Externa	Auditoria independente	Bienal (anos ímpares)	Até setembro do ano de verificação
Revisão do sistema MRV	CEEMC-SE/Painel Científico	Quinquenal	2030, 2035, 2040, 2045, 2050

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

6 ARQUITETURA FUNCIONAL DO SISTEMA MRV

Neste item, será abordada a arquitetura funcional do Sistema MRV, a qual compreende o conjunto de processos, fluxos operacionais e regras de negócio que viabilizam o funcionamento integrado do sistema, desde a coleta de dados até a disponibilização das informações para diferentes públicos. Trata-se, portanto, da definição de como o sistema opera, estabelecendo as etapas, responsabilidades e mecanismos necessários para garantir a consistência, rastreabilidade e confiabilidade das informações climáticas.

Os tópicos a seguir abordarão o detalhamento técnico da operação de cada uma das etapas do sistema, em consonância com a arquitetura conceitual apresentada anteriormente.

6.1 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS E ESTATÍSTICAS

Neste tópico será apresentado o protocolo para a aquisição e gestão de dados e estatísticas no âmbito da operacionalização do sistema MRV, acompanhado dos recursos e ferramentas tecnológicas necessárias e uma síntese dos indicadores-chave a serem monitorados.

6.1.1 PROTOCOLOS DE COLETA E GESTÃO DE DADOS

Para cada um dos 48 indicadores-chave do sistema MRV deverão ser definidos protocolos de coleta específicos. Esses protocolos contarão com o seguinte conteúdo mínimo:

a) Definição operacional: Descrição técnica precisa do que é mensurado;

b) Fonte de dados primária: Instituição responsável pela geração dos dados brutos;

c) Método de coleta: Técnicas e instrumentos utilizados (sensoriamento remoto, questionários, medições diretas, registros administrativos);

d) Frequência de atualização: Periodicidade da coleta (mensal, trimestral, anual, bienal);

e) Unidade de medida: Padronização métrica (tCO_2e, hectares, %, número absoluto);

f) Fórmula de cálculo: Equações matemáticas, quando aplicáveis;

g) Nível de desagregação: Espacial (municipal, regional, estadual) e temporal (mensal, anual);

h) Critérios de qualidade: Parâmetros de completude, consistência e acurácia mínimos;

i) Procedimentos de validação: Checagens automáticas e revisão técnica;

j) Fluxo de transmissão: Cadeia de responsabilidades desde coleta até consolidação final.

Após a coleta de dados e estatísticas, deverão ser executados procedimentos de gestão dessas informações, que são:

a) Tratamento e padronização dos dados: conversão de unidades, consolidação de séries históricas;

b) Cálculo/Atualização de indicadores: inserção dos dados em planilha automatizada para a geração/atualização dos indicadores;

c) Validação técnica: avaliação de consistência, detecção de outliers e revisão por especialistas;

d) Armazenamento: assegurar o armazenamento dos indicadores-chave, bem como de suas fontes de dados, com versionamento e histórico de alterações;

e) Disponibilização para reporte: alimentação dos indicadores-chave trimestralmente na Plataforma de Transparência Climática, após aprovação do Relatório Trimestral.

O objetivo da padronização por meio de protocolos é assegurar que todos os indicadores-chave apresentem rastreabilidade, sejam passíveis de verificação e atendam a critérios de confiabilidade.

6.1.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS

A operacionalização do Sistema MRV, conforme diretrizes estabelecidas no Produto 2.1 – PEMAMC-SE, exige a estruturação de uma infraestrutura tecnológica,

composta por um conjunto integrado de softwares, ferramentas analíticas e protocolos de segurança da informação.

Para a elaboração dos Inventários de GEE, recomenda-se a utilização do IPCC Inventory Software v2.91, complementado por planilhas customizadas em Excel com automações em VBA, de modo a permitir maior flexibilidade no tratamento e consolidação das informações.

No campo do geoprocessamento e sensoriamento remoto, destacam-se ferramentas como o QGIS 3.28 LTR, o ArcGIS Pro 3.1, por meio de licenças institucionais, e o Google Earth Engine, que possibilitam a análise espacial avançada e o suporte à tomada de decisão territorial.

As análises estatísticas deverão ser conduzidas com o apoio de linguagens e ambientes computacionais como o R (versão 4.3.2), por meio de pacotes especializados como tidyverse, sf, raster e ggplot2, bem como Python (versão 3.11), com bibliotecas como pandas, geopandas e matplotlib, garantindo maior rigor analítico e reprodutibilidade dos resultados.

Para a consolidação e visualização de informações ainda não publicadas na Plataforma de Transparência, recomenda-se a utilização de ferramentas de Business Intelligence, a exemplo do Power BI Desktop, permitindo a construção de dashboards executivos voltados ao acompanhamento dos indicadores climáticos. No que se refere à documentação e gestão do conhecimento, a adoção de plataformas como o Confluence se mostra adequada para a sistematização de protocolos, metodologias e fluxos operacionais do sistema.

No tocante à segurança da informação e à integridade dos dados, o sistema deverá adotar mecanismos de proteção, que incluem a utilização de certificados SSL/TLS para criptografia de dados em trânsito, bem como a implementação de rotinas de backup estruturadas, com backups incrementais diários e completos semanais, assegurando a retenção das informações por período mínimo de sete anos.

Além disso, deverá ser instituído controle de acesso à Plataforma de Transparência Climática e demais sistemas internos baseado em perfis (RBAC – *Role-Based Access Control*), garantindo que os usuários acessem apenas as funcionalidades e dados compatíveis com suas atribuições.

Por fim, a rastreabilidade das operações deverá ser assegurada por meio do registro de logs de auditoria para todas as atividades de inserção, edição e exclusão de dados, fortalecendo a transparência e a confiabilidade do Sistema MRV.

6.1.3 QUADRO SÍNTESE DOS INDICADORES-CHAVE

Com o objetivo de facilitar a visualização e sintetizar as informações apresentadas em tópicos anteriores, foi desenvolvido o Quadro 21, que apresenta as principais informações relacionadas a cada indicador-chave do sistema MRV.

Quadro 21: Quadro síntese dos indicadores-chave

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA – 2030	INDICADOR-CHAVE	CÓD.	UND[3].	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTES DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIOD[4].
Monitoramento	48 indicadores MRV atualizados bienalmente	N° de indicadores atualizados bienalmente	MO1	und.	SEMAC	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	Bienal
	Ampliação da rede de estações meteorológicas de 9 para 22 unidades operacionais, vinculando sua expansão à criação de mecanismo de financiamento contínuo	N° de estações meteorológicas operacionais	MO2	und.	Defesa Civil	Defesa Civil	Trimestral
	Portal clima.se.gov.br 100% operacional até 2027	Situação do portal clima.se.gov.br (Não operacional/Operacional)	MO3	S/U	SEMAC	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	Trimestral
	3 inventários de GEE publicados	N° de Inventários de GEE publicados	MO4	und.	SEMAC	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	Bienal
	2 verificações externas realizadas (2027, 2029)	N° de verificações externas	MO5	und.	SEMAC	Auditoria independente	Bienal
	90 pontos em índice nacional de transparência	N° de pontos conforme nota metodológica (Índice de Transparência e Governança Pública do Poder Executivo)	MO6	und.	SEMAC	Controladoria Geral do Estado - CGE e Controladoria Geral da União - CGU	Anual

[3] Unidade de medida do indicador-chave.
[4] Periodicidade de coleta.

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA – 2030	INDICADOR-CHAVE	CÓD.	UND[3].	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTES DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIOD[4].
Governança	75 Planos Municipais de Mudanças Climáticas elaborados (100%)	N° de Planos Municipais elaborados	G1	und.	SEMAC	Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Anual
	75 Comitês Municipais criados e ativos	N° de Comitês Municipais criados e ativos	G2	und.	SEMAC	Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Anual
	12 reuniões ordinárias/ano do CEEMC-SE realizadas	N° de reuniões do CEEMC-SE realizadas no período	G3	und.	SEMAC	CEEMC-SE	Trimestral
	12 reuniões/ano do GTMC + Secretaria Executiva operacional	N° de reuniões do GTMC + Secretaria Executiva realizadas no período	G4	und.	SEMAC	GTMC	Trimestral
	1.500 gestores estaduais/municipais capacitados	N° de gestores estaduais/municipais capacitados	G5	und.	SEMAC	GTMC	Trimestral
	75 municípios (100% obrigados) com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática	N° de Municípios com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática	G6	und.	SEMAC	Secretarias Municipais de Planejamento/Desenvolvimento Urbano	Anual
	Mínimo 5 consultas periódicas realizadas (2026-2030) até 2030	N° de consultas periódicas realizadas no período	G7	und.	SEMAC	CEEMC-SE	Trimestral
	2 conferências estaduais realizadas (2027, 2029) até 2030	N° de conferências realizadas no período	G8	und.	SEMAC	CEEMC-SE	Trimestral

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA – 2030	INDICADOR-CHAVE	CÓD.	UND[3].	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTES DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIOD[4].
	9 Câmaras Temáticas funcionando regularmente	N° de câmaras temáticas em operação	G9	und.	SEMAC	Representantes das Câmaras Temáticas	Trimestral
	4-5 consórcios intermunicipais criados	N° de consórcios intermunicipais criados	G10	und.	SEMAC	Secretarias Municipais de Meio Ambiente ou correlatas (se não houver)	Trimestral
	50% de representação não-governamental em todas as instâncias	% de representação não-governamental nas instâncias de governança climática	G11	%	SEMAC	CEEMC-SE e Comitês Intermunicipais	Trimestral
Mitigação	~33% redução de emissões GEE (8,9 → ~6,0 $MtCO_2e$) - INDICATIVA	Emissões totais GEE ($MtCO_2e$/ano)	M1	$MtCO_2e$/ano	SEMAC	GTMC e Painel Científico	Bienal
	350 MW de energia solar distribuída	Potência de geração de energia solar	M2	MW	SEDETEC	SEDETEC e EPE	Trimestral
	50.000 hectares de vegetação nativa restaurados	Área restaurada acumulada (ha)	M3	ha	SEMAC	Projetos de recuperação acompanhados de relatórios de implantação.	Trimestral
	Desmatamento ilegal zero	Hectares de fragmentos de vegetação nativa suprimidos	M4	ha	SEMAC	MapBiomas Alerta/Sensoriamento remoto	Trimestral
	2.500 veículos elétricos (crescimento 8x vs 2025)	N° de veículos elétricos	M5	und.	SEMAC	Ministério dos Transportes/DETRAN	Trimestral
	125.100 em sistemas ILPF (Expansão de 4.600 até 2030)	Área com implantação de sistemas ILPF	M6	ha	SEAGRI	Projetos de implantação de sistemas ILPF, sensoriamento remoto	Trimestral
	120 biodigestores operacionais	N° de biodigestores	M7	und.	SEMAC	ADEMA e Concessionárias.	Trimestral

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA – 2030	INDICADOR-CHAVE	CÓD.	UND[3].	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTES DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIOD[4].
	40% de resíduos urbanos reciclados	% de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos	M8	%	SEMAC	Secretarias Municipais e Cooperativas.	Trimestral
Adaptação	Vulnerabilidade reduzida de 60% para 30% da população	Vulnerabilidade climática (% pop.)	A1	%	SEMAC	GTMC/IBGE/Defesa Civil/SEDURBI	Anual
	Zero mortes evitáveis por ondas de calor	N° de mortes evitáveis por ondas de calor	A2	und.	SES	Secretaria de Estado da Saúde e DATASUS.	Trimestral
	Segurança hídrica para 95% da população	% da população com acesso a água	A3	%	SEMAC	SINISA/Concessionárias de abastecimento/CODERSE/DNOCS.	Anual
	1.800 ha de manguezais restaurados	Área de manguezais restaurados	A4	ha	SEMAC	Relatórios de acompanhamento, monitoramento in loco, sensoriamento remoto e ADEMA.	Trimestral
	100% das UBS climatizadas	% de UBS climatizadas	A5	%	SES	Secretarias Municipais de Saúde	Trimestral
	Perdas hídricas reduzidas de 42% para 25%	Perdas hídricas (%)	A6	%	SEMAC	Concessionárias de Abastecimento	Trimestral
Justiça Climática	45% dos recursos de adaptação para populações vulneráveis	% dos recursos de adaptação destinados a populações vulneráveis	J1	%	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral
	Gap de mortalidade por calor reduzido de 2,8x para <1,5x	Mortalidade por calor de populações de baixa renda em relação à Mortalidade por calor de populações de alta renda	J2	und.	SES	SES/DATASUS/IBGE.	Trimestral
	100% agricultores familiares com seguro-safra	% de agricultores com seguro-safra	J3	%	SEAGRI	SEAGRI e EMDAGRO.	Anual

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA – 2030	INDICADOR-CHAVE	CÓD.	UND[3].	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTES DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIOD[4].
	Assegurar um percentual de representação de mulheres em instâncias de governança climática de 50% até 2030	% de representação feminina nas instâncias de governança climática	J4	%	SEMAC	Instâncias de Governança Climática: CEEMC-SE, Painel Científico, GTMC e Câmaras Temáticas.	Trimestral
	75% territórios quilombolas regularizados	% de territórios quilombolas regularizados	J5	%	SEMAC	INCRA e Comunidades quilombolas	Trimestral
	2.500 sistemas solares em habitações de baixa renda	N° de sistemas solares em habitações de baixa renda	J6	und.	SEMAC	SEDETEC e ANEEL	Trimestral
	8.500 moradias precárias adaptadas para calor	N° de moradias precárias adaptadas para calor	J7	und.	SEDURBI	Unidade de Gestão de Projetos/SEDURBI	Trimestral
	8.500 empregos verdes gerados	N° de empregos verdes gerados	J8	und.	SEMAC	CAGED e RAIS.	Trimestral
Financiamento Climático	Operacionalizar a capitalização do FEMC-SE até 2027 e consolidá-lo até 2030	Situação da capitalização do FEMC-SE (Não operacional/Operacional)	F1	S/U	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Gestão de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral
	Aprovar de 5 a 8 projetos externos até 2027 e de 15 a 20 projetos até 2030	N° de projetos externos aprovados	F2	und.	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Unidade de Gestão de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral
	Manutenção de taxa de execução orçamentária superior a 70% até 2027 e 85% até 2030	Taxa de execução orçamentária (%)	F3	%	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE	Trimestral

DIMENSÃO	META QUANTITATIVA – 2030	INDICADOR-CHAVE	CÓD.	UND[3].	ÓRGÃO COORDENADOR	FONTES DE DADOS/ÓRGÃOS COLABORADORES	PERIOD[4].
	Diversificar as fontes de recursos assegurando um percentual de 30% não estadual até 2027 e 50% não estadual até 2030	% de fontes de recurso não-estaduais	F4	%	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral
	Manutenção de um índice de custo-efetividade de mitigação inferior a R$ 100,00/tCO2e até 2027 e inferior a R$ 80/tCO2e até 2030	Índice de custo-efetividade das medidas de mitigação (R$/tCO2e)	F5	R$/tCO2e	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Bienal
	Assegurar um investimento igual ou superior a 20% em populações vulneráveis até 2027 e a 30% até 2030	% de investimento para populações vulneráveis	F6	%	SEMAC (Diretoria de Administração Financeira)	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Trimestral
Integração Sistêmica	60% de ações com benefícios em múltiplos eixos	% de ações com benefícios em múltiplos eixos	I1	%	SEMAC	Secretaria Executiva do PEAC/SE/Unidade de Gestão de Projetos	Trimestral
	100% das decisões com participação de grupos vulneráveis	% de decisões tomadas com participação de grupos vulneráveis	I2	%	SEMAC	Atas de reuniões do CEEMC-SE, GTMC e câmaras temáticas.	Trimestral
	<90 dias para ajuste de política após identificação de desvio	N° de dias necessários para ajuste de política	I3	dias	SEMAC	Atas de reunião do CEEMC-SE e Planos de Ação do GTMC.	Trimestral

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

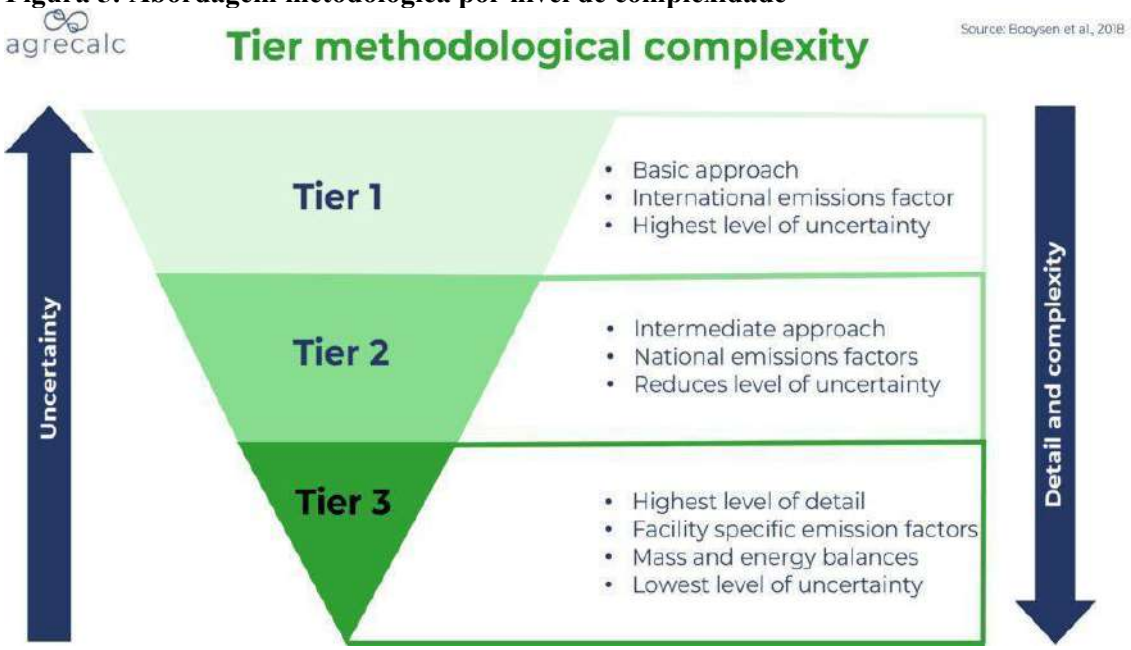
6.2 ELABORAÇÃO BIENAL DO INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

A elaboração dos Inventários Bienais de Gases de Efeito Estufa (GEE) deverá observar as diretrizes metodológicas estabelecidas pelo IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) e seu respectivo refinamento de 2019, conforme já mencionado em tópicos anteriores.

Com vistas à garantia da consistência temporal e da comparabilidade das estimativas, recomenda-se a adoção predominante da abordagem "bottom-up", também denominada abordagem setorial, conforme aplicada no Inventário Estadual de GEE desenvolvido no âmbito do Produto 1.3 do PEAC/SE. Essa abordagem baseia-se na combinação de dados de atividade em escala estadual com fatores de emissão padronizados pelo IPCC, permitindo maior aderência às especificidades locais.

No âmbito metodológico, o IPCC estabelece três níveis de complexidade, denominados Tiers, os quais refletem o grau de detalhamento e a capacidade de representação das particularidades do território analisado. À medida que se avança nos níveis metodológicos, há incremento na robustez e na precisão das estimativas de emissões e remoções. Nesse sentido, recomenda-se que os inventários futuros busquem, progressivamente, a adoção dos níveis mais avançados (Tiers 2 e 3), conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 5: Abordagem metodológica por nível de complexidade



Fonte: BRASIL, 2022.

Observa-se, portanto, que o Tier 1 utiliza fatores de emissão globais padrão, de forma que apresenta menor precisão por desconsiderar particularidades locais. O Tier 2,

por sua vez, parte de fatores nacionais e regionais, enquanto o Tier 3 utiliza a modelagem específica e medições diretas, conferindo maior precisão aos resultados obtidos.

Com vistas à promoção da melhoria contínua, os inventários futuros deverão, além de buscar a elevação do nível metodológico adotado, avançar na redução das incertezas e no preenchimento das lacunas de dados existentes para o Estado de Sergipe.

Nesse contexto, a articulação institucional mostra-se novamente essencial, uma vez que diversos dados estaduais fundamentais à elaboração de inventários de GEE não se encontram publicamente disponíveis. As principais lacunas identificadas no âmbito do Produto 1.3 decorrem, sobretudo, da ausência de informações relativas a determinados subsetores agropecuários e industriais, das limitações nos dados sobre saneamento básico e da escassez de informações referentes às emissões fugitivas no setor industrial.

No âmbito da construção de projeções climáticas, os inventários deverão considerar o "Business As Usual", isto é, a análise comparativa dos resultados com um cenário de referência, que projeta emissões futuras sem a implementação de políticas de mitigação. Será usado como referência para o cálculo da redução de emissões de GEE.

Quanto ao processo de elaboração dos inventários, deverão ser realizadas as seguintes atividades:

- Determinação das fontes de emissão, com a inclusão das fontes consideradas de maior relevância;
- Definição dos gases a serem inventariados, considerando as fontes de emissão;
- Coleta de dados junto a órgãos setoriais e outras fontes confiáveis, bem como compilação dos dados pré-existentes;
- Validação da consistência dos dados obtidos, com a análise do grau de incerteza aceitável para as estimativas;
- Utilização de notações e planilhas padronizadas, a fim de assegurar a continuidade entre os inventários.

Por fim, cumpre mencionar que os resultados obtidos a partir da elaboração do Inventário de GEE deverão ser alimentados, após a sua respectiva aprovação, na Plataforma de Transparência Climática. Além disso, as metodologias propostas para cada setor deverão ser submetidas ao Nível Consultivo-Científico do PEAC/SE ao longo do processo de elaboração do inventário. Após a conclusão do documento, o Inventário deverá ser submetido à análise de conformidade por auditoria independente, com o objetivo de garantir a verificação externa e a credibilidade dos resultados apresentados.

Outro aspecto relevante é a necessidade de incorporar os dados de emissões e remoções de GEE ao Sistema Nacional de Gestão de Informações sobre Mudança do Clima (SINARE), do Governo Federal, assim que o sistema estiver operante.

6.3 PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA

A Plataforma de Transparência Climática constitui o instrumento tecnológico do Sistema de Reporte, destinado a centralizar e disponibilizar, em ambiente digital único, as informações climáticas do Estado de Sergipe. Por meio dessa plataforma, serão publicizados os relatórios, indicadores e bases de dados produzidos no âmbito do PEAC/SE, assegurando transparência e acessibilidade das informações à sociedade civil e órgãos de controle.

Para viabilizar a operacionalização da Plataforma de Transparência Climática, será necessário articular-se à Empresa Sergipana de Tecnologia de Informação (EMGETIS), que define os requisitos mínimos para os endereços eletrônicos vinculados ao Governo do Estado.

Os componentes gerais da Plataforma de Transparência Climática serão apresentados na ilustração a seguir:

Figura 6: Componentes da Plataforma de Transparência Climática



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A seguir, serão apresentados os requisitos mínimos e layout para o desenvolvimento da Plataforma de Transparência Climática.

6.3.1 REQUISITOS DA PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA

Serão apresentados nos subitens a seguir os requisitos funcionais para o desenvolvimento da Plataforma de Transparência Climática.

6.3.1.1 Entradas (inputs)

O sistema deverá ser alimentado, conforme periodicidade estabelecida anteriormente para cada relatório, por dados estruturados e não estruturados provenientes de diferentes fontes institucionais, incluindo:

a) dados de indicadores climáticos, contendo informações como nome, valor, unidade, ano de referência, setor e recorte territorial;
b) dados de metas climáticas, incluindo título, setor, órgão responsável, valores de baseline, metas-alvo, prazos, tipo de meta e progresso;
c) dados de inventários de emissões de gases de efeito estufa (GEE), por setor, subcategoria e período;
d) dados de eventos climáticos e desastres, incluindo tipo de evento, localização, período e impactos;
e) dados territoriais, como municípios, mesorregiões e setores climáticos;
f) arquivos digitais (PDF, CSV, XLSX, entre outros) associados a materiais complementares e dados abertos;
g) dados provenientes de sistemas externos e institucionais, como bases do MRV, órgãos estaduais e sistemas de monitoramento.

A inserção manual dessas informações será realizada por meio da Camada Administrativa do sistema, à qual terão acesso exclusivo os representantes designados dos órgãos setoriais responsáveis.

6.3.1.2 Saídas (outputs)

As saídas da plataforma, geradas a partir do processamento dos dados de entrada, deverão incluir os seguintes itens:

a) dashboards interativos com indicadores-chave (KPIs);
b) gráficos analíticos e visualizações interativas (séries temporais, mapas, diagramas);
c) painéis de acompanhamento das metas e páginas institucionais (metas, setores e órgãos envolvidos);
d) indicadores de progresso das metas climáticas e do sistema MRV;

e) relatórios e informações consolidadas para consulta pública;

f) arquivos exportáveis em formatos abertos (CSV, XLSX), gerados sob demanda;

g) conteúdos institucionais e materiais técnicos disponíveis para download.

6.3.1.3 Processos e regras

Os dados de entrada deverão passar por processos dentro da plataforma para validação e publicidade das informações, que são:

h) Cálculo automático de indicadores derivados, como percentual de progresso de metas, considerando baseline, meta e tipo de medição (aumento, redução etc.);

i) Classificação e organização de dados por eixos, setores, tipos de meta e recortes territoriais;

j) Geração automática de arquivos de dados abertos com base nas informações armazenadas;

k) Aplicação de regras de exibição, como:

   a. Ocultação de coleções ou materiais inativos;

   b. Exibição condicional de seções (ex: destaques);

   c. Agrupamento de metas por setor ou tipo;

l) Controle de versões e rastreabilidade das alterações realizadas no sistema.

6.3.1.4 Interações

A plataforma deverá conter, por fim, um conjunto de interações, que serão descritas no Quadro 22, inserido abaixo.

Quadro 22: Interações para o desenvolvimento da Plataforma de Transparência Climática

TIPO DE INTERAÇÃO	DETALHAMENTO
Usuário-Sistema	Navegação por páginas e seções temáticas.
	Aplicação de filtros por ano, setor, tipo de meta e território.
	Consulta a gráficos e visualizações interativas.
	Download de dados e materiais.
	Busca textual e filtragem de conteúdo.
Gestor-Sistema	Cadastro, edição e exclusão de dados via interface administrativa.
	Upload de arquivos e planilhas.
	Organização de materiais em coleções.
	Definição de destaques e status de conteúdos.

TIPO DE INTERAÇÃO	DETALHAMENTO
	Gestão de metas, indicadores e alertas.
Sistema-Sistema	Integração com bases de dados externas.
	Importação automatizada de dados.
	Geração dinâmica de relatórios e arquivos para download.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

6.3.2 LAYOUT DA PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA

A estrutura da interface da Plataforma de Transparência Climática deverá ser concebida de forma hierárquica, intuitiva e orientada à experiência do usuário, contemplando páginas principais que permitam o acesso progressivo às informações climáticas do Estado de Sergipe. Essa organização deverá refletir a lógica de comunicação pública dos dados do sistema MRV, priorizando a clareza, a transparência e a navegabilidade.

A página inicial deverá assumir o papel de dashboard principal, apresentando, de forma sintética, visual e interativa, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) ao longo do tempo, incluindo dados históricos e projeções. Essas informações deverão ser estruturadas por setor e subsetores, sendo exibidas por meio de gráficos dinâmicos e mapas interativos que possibilitem a análise territorial das emissões. Ainda na página inicial, deverão ser apresentadas as metas climáticas associadas a cada setor, de forma que o usuário compreenda a relação entre o diagnóstico de emissões e os compromissos estabelecidos pelo Estado.

Em outro ambiente, a plataforma deverá apresentar uma visão dos setores climáticos contemplados no âmbito do PEAC/SE, com destaque para o quantitativo de metas vinculadas a cada setor. Outra parte da plataforma deverá ser dedicada ao acompanhamento do progresso das metas climáticas, por meio de um dashboard específico que apresente as metas e respectivos indicadores de implementação para cada dimensão climática. Essa visualização deverá possibilitar a análise do desempenho das ações ao longo do tempo, evidenciando o estágio de execução das metas (entre não iniciadas, em andamento e concluídas) e subsidiar a avaliação da efetividade das políticas públicas por parte da sociedade civil e demais partes interessadas.

Deverão ser apresentados, em outra aba, os órgãos integrantes do GTMC, responsáveis pela coordenação, execução e monitoramento das ações climáticas no Estado. Essa seção deverá cumprir função institucional, ao permitir a identificação dos

atores envolvidos na governança climática e reforçar a transparência quanto às responsabilidades atribuídas.

Para assegurar que a população compreenda as informações que constam na plataforma, deverá haver um espaço dedicado à apresentação do Sistema MRV quanto aos seus objetivos, componentes e funcionamento. Em outro espaço, deverão estar previstos mecanismos de interação com a sociedade, que contemple formulários e canais de contato para envio de sugestões, contribuições e manifestações da população.

Ressalta-se que a plataforma deverá possuir, ainda, um espaço dedicado para importação e exportação de relatórios e produtos técnicos elaborados no âmbito do PEAC/SE. Além disso, a plataforma deverá incorporar recursos de interatividade, como filtros por período, setor e recorte territorial, além de elementos dinâmicos como "*tooltips*" e navegação por menus temáticos.

Por fim, cumpre mencionar que a interface deverá adotar identidade visual alinhada aos padrões institucionais do Governo do Estado, com linguagem clara, didática e orientada à educação climática, aspecto que deverá ser alinhado junto à EMGETIS.

6.4 AVALIAÇÃO PERIÓDICA DO SISTEMA MRV

Além dos mecanismos formais de verificação anteriormente previstos, responsáveis por estruturar a revisão periódica do Sistema MRV, os diferentes níveis hierárquicos do SISGEE deverão realizar avaliações internas contínuas, por meio de reuniões ordinárias e extraordinárias.

Em sequência, são detalhadas as instâncias e dinâmicas de reuniões previstas no âmbito da avaliação do Sistema MRV.

6.4.1 REUNIÕES ORDINÁRIAS E EXTRAORDINÁRIAS DO COMITÊ DE ENFRENTAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS – CEEMC-SE

Em consonância com as disposições do PEMAMC-SE, o Comitê deverá reunir-se bimestralmente para deliberar sobre a condução da política climática estadual. Nessas reuniões, caberá ao colegiado aprovar os Planos de Ação bienais, deliberar sobre a alocação de recursos financeiros, validar as revisões do Sistema MRV e dirimir eventuais conflitos entre os diferentes níveis hierárquicos do PEAC/SE. Nesses encontros, o Comitê também será responsável pela apreciação e aprovação dos Relatórios Trimestrais e Anuais de reporte de progresso.

Por decisão discricionária do Presidente do Comitê, ou por solicitação de um terço de seus membros, novas reuniões extraordinárias poderão ser convocadas. Ressalta-se que os procedimentos deliberativos e regras de funcionamento do CEEMC-SE deverão ser estabelecidos em regimento interno, a ser aprovado na primeira reunião ordinária.

6.4.2 REUNIÕES TRIMESTRAIS DO GRUPO TÉCNICO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – GTMC

O GTMC deverá reunir-se trimestralmente, em sessões ordinárias, para coordenar a operacionalização do Sistema MRV, incluindo a elaboração dos Planos de Ação bienais, com definição de metas operacionais alinhadas ao sistema. Nessas reuniões, também caberá ao grupo a consolidação dos Relatórios Trimestrais e Anuais de progresso, o monitoramento e a gestão de riscos associados à implementação das ações, bem como a preparação de subsídios técnicos destinados às deliberações do CEEMC-SE.

Para apoiar essas atividades, recomenda-se a utilização de dashboards interativos e de um sistema informatizado de gestão de projetos, capazes de fornecer uma visão integrada e atualizada do status de execução dos Planos de Ação.

6.4.3 REUNIÕES BIMESTRAIS DAS CÂMARAS TEMÁTICAS

As Câmaras Temáticas se reunirão bimestralmente com a finalidade de: elaborar estudos específicos, propor e revisar indicadores e metas setoriais, avaliar a viabilidade técnica e econômica das ações monitoradas e recomendar ajustes nas políticas públicas a partir de evidências científicas. Essas instâncias também desempenham papel relevante na disseminação de boas práticas e no intercâmbio de experiências, podendo ser acionadas extraordinariamente conforme demandas do GTMC ou do CEEMC-SE.

6.4.4 REUNIÕES TRIMESTRAIS DO PAINEL CIENTÍFICO

Através de reuniões trimestrais, o Painel Científico será responsável por revisar e aprimorar metodologias do MRV, validar os inventários de emissões de GEE, avaliar projeções climáticas regionalizadas, desenvolver estudos de vulnerabilidade e apoiar a construção de cenários futuros. Além disso, prestará suporte técnico às Câmaras Técnicas e contribuirá para a incorporação de avanços científicos ao sistema, bem como para a avaliação da efetividade das políticas implementadas. De maneira extraordinária, o Painel poderá emitir pareceres ad hoc sob demanda do CEEMC-SE ou GTMC acerca de questões técnico-científicas que exijam análise especializada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de um sistema MRV no Estado de Sergipe representa um avanço significativo na consolidação da transparência climática do Estado de Sergipe. A inclusão de uma política de verificação externa incrementa a confiabilidade das informações apresentadas perante as partes interessadas.

A modelagem proposta neste documento buscou apresentar as bases conceituais, funcionais e operacionais que direcionarão a operacionalização desse sistema, que deverá permitir o acompanhamento das ações de mitigação, adaptação, monitoramento, governança, financiamento e justiça climática. Foram consideradas, para o seu desenvolvimento, as diretrizes fornecidas em marcos nacionais e internacionais, a exemplo das boas práticas preconizadas no artigo 13 do Acordo de Paris e das diretrizes metodológicas definidas pelo IPCC.

O processo de implementação, no entanto, apresenta grande dependência do Plano de Governança Climática, a ser modelado no Produto 4.3[5] do PEAC/SE. Considerando que os dados e estatísticas que alimentarão o sistema são provenientes de múltiplas fontes e distintos setores da administração pública, torna-se imprescindível a definição de mecanismos claros de coordenação, padronização e compartilhamento de informações. Além disso, torna-se fundamental a incorporação das ações necessárias à implementação do MRV no planejamento orçamentário estadual, de modo a assegurar a disponibilização contínua dos recursos tecnológicos e humanos indispensáveis ao pleno funcionamento do sistema.

O sistema deverá articular-se, ainda, a outras iniciativas em desenvolvimento do Estado de Sergipe, a exemplo da revisão e ampliação do Sistema Meteorológico de Sergipe (SIMESE). Essa integração apresenta como objetivo a elevação da capacidade de análise e da qualidade dos estudos técnicos apresentados no âmbito do sistema MRV.

Por fim, ressalta-se a importância do sistema como instrumento de transparência pública perante órgãos de controle e a sociedade civil, assim como sua relevância para subsidiar a tomada de decisões, no âmbito das deliberações do CEEMC-SE, e adequação dos Planos de Ação elaborados periodicamente pelo GTMC.

[5] Produto 4.3 – Modelagem de um plano de governança para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas.

8 REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Resultados do inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa por unidade federativa, Edição 1.1, 2022. Disponível em: https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4967. Acesso em: 13/10/2025.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Quinto Relatório de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, DF, 2024.
- FIA. Fundação Instituto de Administração. Produto 2.1: Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas – PEMAMC-SE. São Paulo, SP, 2026;
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IGES, 2019.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IGES, 2006.
- ISO 14064-3:2019. Greenhouse gases - Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements. Geneva: International Organization for Standardization, 2019;
- SIRENE. Sistema de Registro Nacional de Emissões. Acordo de Paris. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/acordo-de-paris>. Acesso em: 06 de março de 2026.

9 LISTA DE SIGLAS

- ACT – Acordo de Cooperação Técnica;
- ADEMA – Administração Estadual do Meio Ambiente;
- ARSET – Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de Sergipe;
- BANESE – Banco do Estado de Sergipe;
- CAGED – Cadastro Geral de Empregados e Desempregados;
- CEEMC-SE – Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Sergipe;
- CGE – Controladoria Geral do Estado;
- CGU – Controladoria-Geral da União;
- CODERSE – Companhia de Desenvolvimento Regional de Sergipe;
- DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde;
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
- EMDAGRO – Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe;
- EMGETIS – Empresa Sergipana de Tecnologia da Informação;
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética;
- ETF – Enhanced Transparency Framework (Estrutura de Transparência Aprimorada);
- FAPITEC – Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe;
- FEMC-SE – Fundo Estadual de Mudanças Climáticas de Sergipe;
- FIA – Fundação Instituto de Administração;
- GEE – Gases de Efeito Estufa;
- GTMC – Grupo Técnico de Mudanças Climáticas;
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- IFS – Instituto Federal de Sergipe;
- ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta;
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária;
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas;
- IPPU – Industrial Processes and Product Use (Processos Industriais e Uso de Produtos);

- LAC – Licença por Adesão e Compromisso;
- LULUCF – Land Use, Land-Use Change and Forestry (Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas);
- MRV – Monitoramento, Relato e Verificação;
- NDC – Contribuição Nacionalmente Determinada;
- OVV – Organismo de Verificação e Validação;
- PEAC/SE – Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe;
- PEMAMC-SE – Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe;
- RAIS – Relação Anual de Informações Sociais;
- RBAC – Role-Based Access Control (Controle de Acesso Baseado em Perfis);
- SEAGRI – Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca;
- SEDETEC – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico, da Ciência e Tecnologia;
- SEDUC – Secretaria de Estado da Educação;
- SEDURBI – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Infraestrutura;
- SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa;
- SEFAZ – Secretaria de Estado da Fazenda;
- SEMAC – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas;
- SEPLAG – Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão;
- SES – Secretaria de Estado da Saúde;
- SETC – Secretaria de Estado dos Transportes e da Comunicação;
- SETEEM – Secretaria de Estado do Trabalho, Emprego e Empreendedorismo;
- SIMESE – Sistema Meteorológico de Sergipe;
- SINARE – Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa;
- SINISA – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento;
- SISGEE – Sistema Integrado de Monitoramento de Emissões e Estatísticas;
- UFS – Universidade Federal de Sergipe.

- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima;
- UNIT – Universidade Tiradentes;

10 LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DO PRODUTO 3.1 8
FIGURA 2: ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO PEAC/SE 10
FIGURA 3: ESTRUTURA DO SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE EMISSÕES E ESTATÍSTICAS – SISGEE 14
FIGURA 4: NÚMERO DE INDICADORES POR DIMENSÃO 18
FIGURA 5: ABORDAGEM METODOLÓGICA POR NÍVEL DE COMPLEXIDADE 48
FIGURA 6: COMPONENTES DA PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA 50

11 LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: COMPOSIÇÃO RECOMENDADA PARA A SECRETARIA EXECUTIVA DO PLANO ESTADUAL DE AÇÕES CLIMÁTICAS – PEAC/SE 12
QUADRO 2: FOCOS E COORDENAÇÃO DE CADA CÂMARA TEMÁTICA 12
QUADRO 3: METAS E RESPECTIVOS INDICADORES-CHAVE DE MONITORAMENTO 18
QUADRO 4: DETALHAMENTO DOS INDICADORES-CHAVE PARA METAS DE MONITORAMENTO 19
QUADRO 5: METAS E RESPECTIVOS INDICADORES-CHAVE DE MITIGAÇÃO 20
QUADRO 6: DETALHAMENTO DOS INDICADORES-CHAVE PARA METAS DE MITIGAÇÃO 20
QUADRO 7: METAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE DE CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO 21
QUADRO 8: METAS E RESPECTIVOS INDICADORES-CHAVE DE ADAPTAÇÃO 22
QUADRO 9: DETALHAMENTO DOS INDICADORES-CHAVE PARA METAS DE ADAPTAÇÃO 22
QUADRO 10: METAS E RESPECTIVOS INDICADORES-CHAVE DE GOVERNANÇA 23
QUADRO 11: DETALHAMENTO DOS INDICADORES-CHAVE PARA METAS DE GOVERNANÇA 24
QUADRO 12: METAS E RESPECTIVOS INDICADORES-CHAVE DE FINANCIAMENTO CLIMÁTICO 25
QUADRO 13: DETALHAMENTO DOS INDICADORES-CHAVE PARA METAS DE FINANCIAMENTO CLIMÁTICO 25
QUADRO 14: METAS E RESPECTIVOS INDICADORES-CHAVE DE JUSTIÇA CLIMÁTICA 26
QUADRO 15: DETALHAMENTO DOS INDICADORES-CHAVE PARA METAS DE JUSTIÇA CLIMÁTICA 27
QUADRO 16: METAS E RESPECTIVOS INDICADORES-CHAVE DE INTEGRAÇÃO SISTÊMICA 28
QUADRO 17: DETALHAMENTO DOS INDICADORES-CHAVE PARA METAS DE INTEGRAÇÃO SISTÊMICA 28
QUADRO 18: METAS INTEGRADAS DE CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO (2030, 2035 E 2050) 29
QUADRO 19: CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DA REVISÃO ANUAL DO SISTEMA MRV 35
QUADRO 20: CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES DE MONITORAMENTO, AVALIAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO SISTEMA MRV 37
QUADRO 21: QUADRO SÍNTESE DOS INDICADORES-CHAVE 42
QUADRO 22: INTERAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA 52

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Relatório Técnico das Atividades relativas ao desenvolvimento da plataforma integradora de dados climáticos
Produto 3.2

São Paulo, março/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVOS 3

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS 4

3.1 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA INTEGRADORA DE DADOS CLIMÁTICOS 4

3.1.1 ALINHAMENTO TÉCNICO ENTRE OS PRODUTOS DO PEAC/SE 4

3.1.2 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS 5

3.1.3 ESTRUTURAÇÃO DA PLATAFORMA 5

3.2 ELABORAÇÃO DE MANUAL DE ADMINISTRAÇÃO 17

4 RESULTADOS ALCANÇADOS 19

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 19

6 LISTA DE FIGURAS 19

1 APRESENTAÇÃO

O presente Relatório Técnico de Atividades refere-se ao Produto 3.2 do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE), denominado “Apoio técnico no desenvolvimento da plataforma integradora de dados climáticos”, elaborado no âmbito do Contrato nº 08/2025, firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e a Fundação Instituto de Administração (FIA).

Este produto tem como finalidade apresentar as atividades desenvolvidas no âmbito do apoio técnico ao desenvolvimento da Plataforma de Transparência Climática, instrumento central para operacionalização do Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), conforme diretrizes estabelecidas no Produto 3.1. As ações de apoio técnico foram executadas entre os meses de janeiro e março de 2026, que abrangem o período de elaboração do Módulo 3 (Monitoramento) do PEAC/SE.

Destaca-se que, para além de sua interação direta com o Produto 3.1, o desenvolvimento da plataforma foi orientado pelas diretrizes do Eixo 1 do Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), bem como estruturado de forma a garantir a compatibilidade com os formatos dos dados de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE) oriundos do Produto 1.3 – “Inventário Estadual de Emissões de GEE”.

2 OBJETIVOS

O Produto 3.2 possui o objetivo de apoiar a SEMAC no desenvolvimento de uma plataforma integradora das informações climáticas do Estado de Sergipe, que, no âmbito do Sistema MRV, corresponde à Plataforma de Transparência Climática.

Os objetivos específicos definidos para este produto são:

- Estruturar uma plataforma integradora de dados climáticos, em consonância com as diretrizes apresentadas no Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas;
- Permitir a transparência das ações e produtos técnicos realizados no âmbito do PEAC/SE;
- Assegurar a capacitação da equipe técnica da SEMAC e demais órgãos envolvidos na operação da plataforma.

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

Nos subitens a seguir, serão descritas as atividades executadas no âmbito do Produto 3.2 do PEAC/SE.

3.1 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA INTEGRADORA DE DADOS CLIMÁTICOS

O desenvolvimento da Plataforma Integradora de Dados Climáticos foi conduzido com o objetivo de estruturar um sistema para disponibilizar informações climáticas produzidas ao longo da implementação do PEAC/SE, em conformidade com as diretrizes do PEMAMC-SE e com a modelagem do Sistema MRV.

Os itens a seguir detalham as atividades executadas no âmbito do desenvolvimento da plataforma.

3.1.1 ALINHAMENTO TÉCNICO ENTRE OS PRODUTOS DO PEAC/SE

Para o desenvolvimento da plataforma, foram necessárias ações de planejamento entre os membros da equipe interna da FIA, com a finalidade de assegurar que a plataforma desenvolvida esteja em consonância com as disposições dos demais produtos técnicos elaborados para o PEAC/SE. Nesse sentido, além da manutenção de comunicação interna constante, foram realizadas reuniões específicas com os seguintes objetivos:

- Assegurar o alinhamento da plataforma às diretrizes estabelecidas no Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE);
- Garantir a compatibilização da plataforma com as diretrizes metodológicas do Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE);
- Promover a integração da plataforma com os requisitos e diretrizes definidos no Produto 3.1 – “Modelagem do Sistema MRV”.

Foram convidados, portanto, os pontos focais de cada produto mencionado, para que solucionassem dúvidas do desenvolvedor da plataforma quanto aos requisitos técnicos, formatos das informações e estrutura mínima. Para as emissões de GEE, foram solicitadas, ainda, as planilhas que continham os resultados do inventário elaborado no âmbito do Produto 1.3 – “Inventário Estadual de Emissões de GEE”.

3.1.2 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS

Por meio das informações reunidas na ação anterior, foram definidos os requisitos mínimos para o desenvolvimento da plataforma de transparência. A Figura 1, inserida abaixo, sintetiza os requisitos definidos pela equipe técnica:

Figura 1: Síntese dos requisitos funcionais mínimos para o desenvolvimento da plataforma

Gestão de dados	•Cadastro e edição de indicadores, metas, setores e dados gerais; •Modalidades distintas de inserção: manual e importação de planilhas; •Registro de logs e histórico de alterações.
Processamento e validação	•Consolidação automática de dados por setor e território; •Diferenciação entre emissões inventariadas e projeções.
Visualização e transparência	•Atualização automática de dashboards interativos para indicadores e dados de emissões; •Visualizações alternativas: mapas e séries temporais.
Publicação de conteúdos	•Disponibilização de relatórios, inventários e produtos técnicos elaborados no âmbito do PEAC/SE; •Download de dados e produtos.
Mecanismos de participação social	•Inserção de formulários para coleta de contribuições de usuários; •Disponibilização de contatos dos órgãos setoriais.
Gestão de usuários	•Mecanismos de gestão de usuários e permissões; •Distinção de acessos para administradores e usuários comuns.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Cumpre mencionar que, para o atendimento das metas de monitoramento previstas no PEMAMC-SE, a plataforma também deverá atender a requisitos não funcionais, como usabilidade, acessibilidade, disponibilidade e segurança.

3.1.3 ESTRUTURAÇÃO DA PLATAFORMA

A Plataforma de Transparência Climática, desenvolvida pela FIA no âmbito do Produto 3.2, apresenta interfaces diferenciadas conforme o nível de acesso dos usuários. Nesse contexto, distinguem-se duas camadas principais: a camada de acesso público e a

camada administrativa, cada uma com estrutura e layout específicos, adequados às suas respectivas funcionalidades.

Nos subitens a seguir, são apresentadas capturas de tela que evidenciam as diferenças entre as camadas pública e administrativa da plataforma.

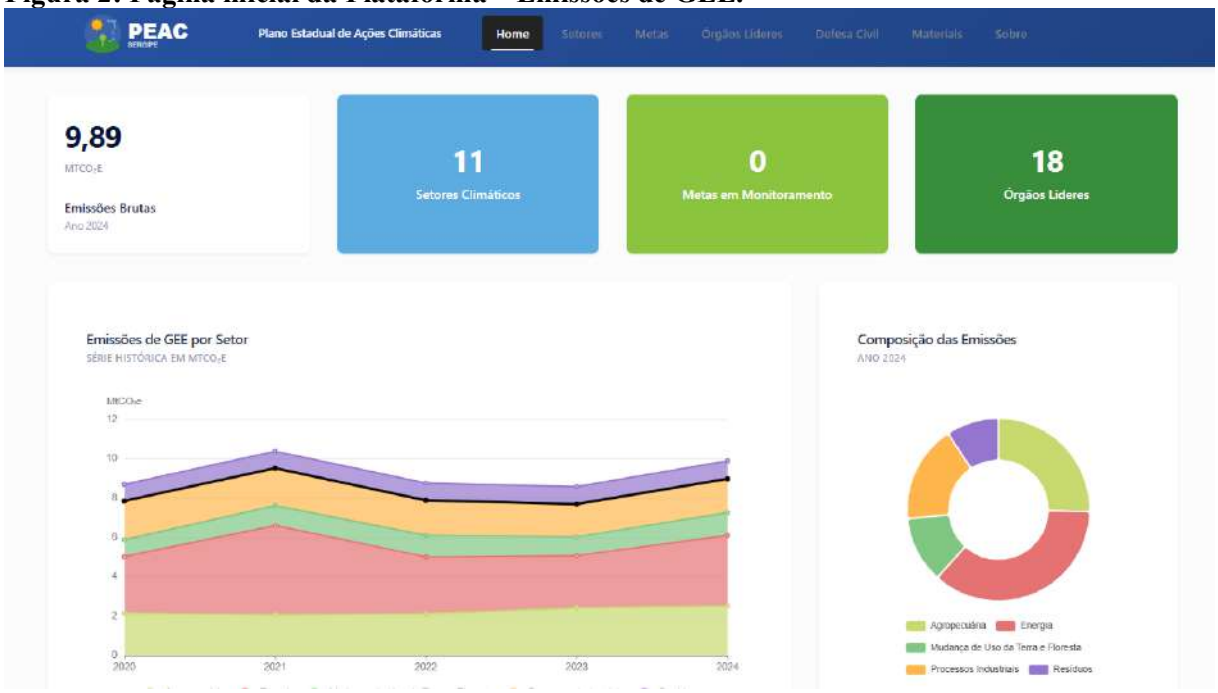
3.1.3.1 Camada de acesso público

Essa interface da plataforma é direcionada ao público em geral, e busca apresentar o conjunto de informações, dados, estatísticas e materiais gerados no âmbito do PEAC/SE. Foram estruturadas 7 (sete) páginas na interface pública, subdivididas conforme a natureza das informações apresentadas:

1. Página inicial – Emissões e remoções de GEE: contempla a visualização de gráficos e mapas interativos que apresentam a evolução temporal das emissões e remoções de GEE;
2. Setores climáticos: apresentação dos setores climáticos previstos nas ações de mitigação e adaptação do PEMAMC-SE;
3. Metas climáticas: abrange a visualização das metas climáticas divididas por dimensão, conforme o Produto 3.1 do PEAC/SE;
4. Órgãos líderes: apresentação dos órgãos membros do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas – GTMC;
5. Defesa Civil: painel de divulgação de boletins, avisos e alertas para eventos climáticos extremos;
6. Materiais complementares: página destinada à publicação de produtos técnicos e exportação de dados produzidos;
7. Sobre: apresentação do Sistema MRV e de seus componentes.

Na Figura 2, apresenta-se a estrutura da página inicial da plataforma, destinada à visualização de dados e estatísticas relacionados às emissões e remoções de GEE.

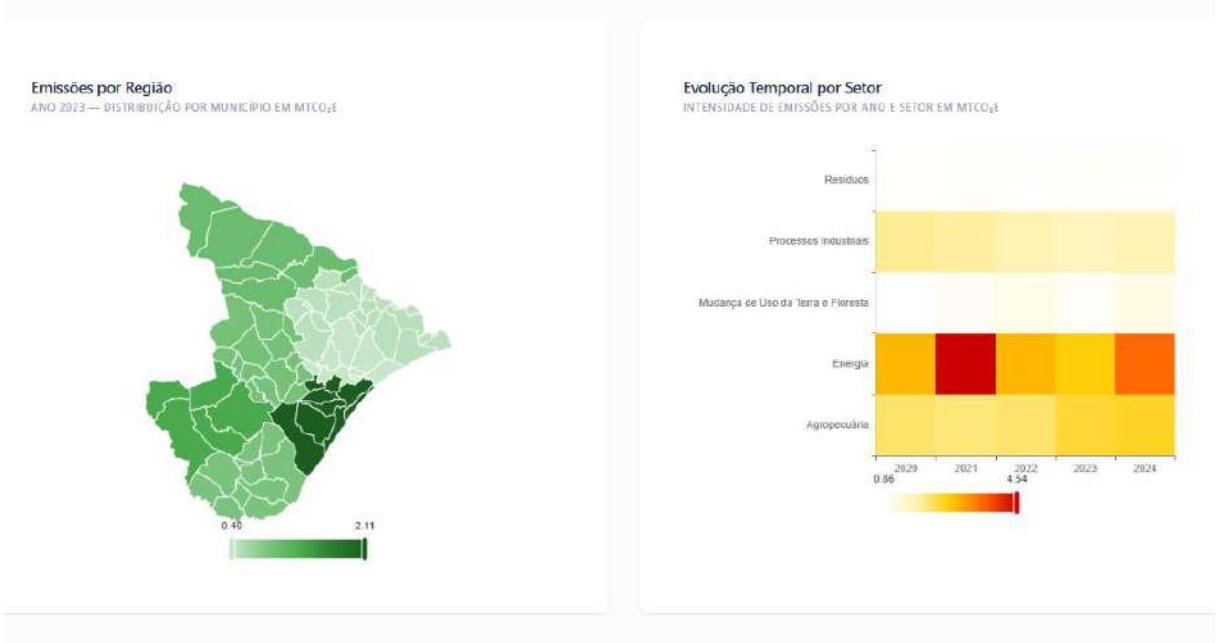
Figura 2: Página inicial da Plataforma – Emissões de GEE.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Além da apresentação de emissões por setor, bem como a participação setorial nos dados obtidos, a página inclui outras formas de visualização, a exemplo de um mapa interativo com as remoções por território sergipano e a evolução temporal das emissões por setor (Figura 3).

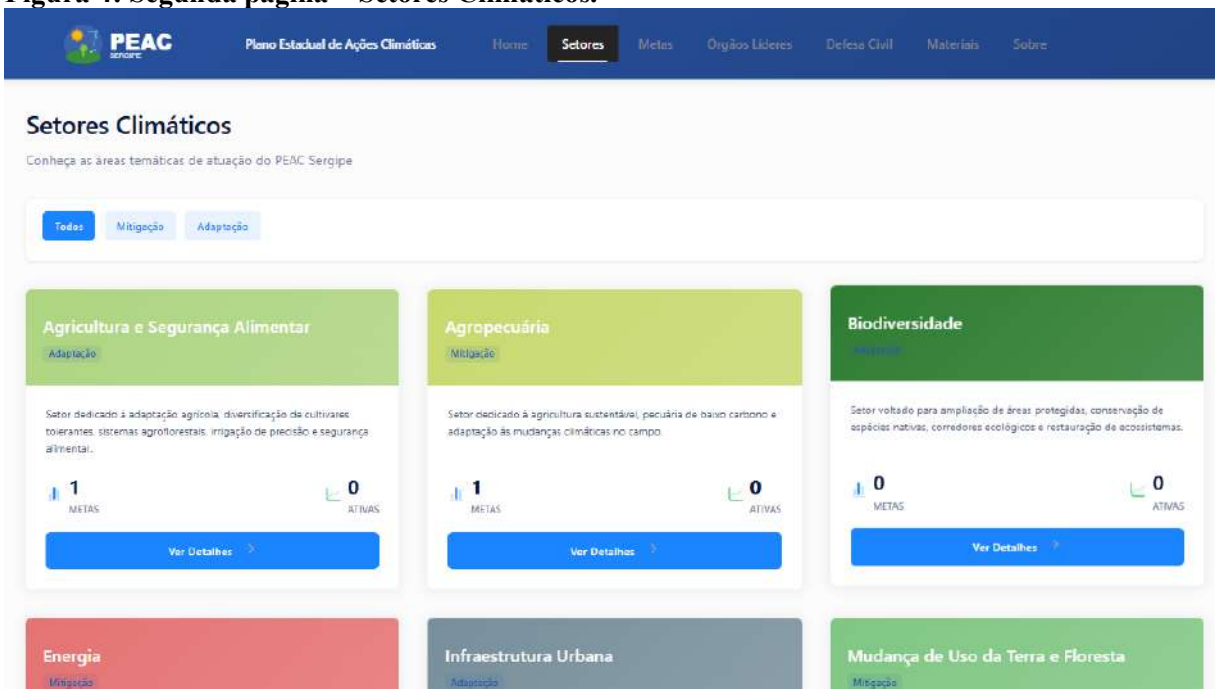
Figura 3: Mapas e séries temporais.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Já na segunda página, apresentada na Figura 4, é fornecida uma visualização dos setores de atuação previstos para as ações climáticas de mitigação e adaptação, tratadas no Eixo 3 do PEMAMC-SE.

Figura 4: Segunda página – Setores Climáticos.

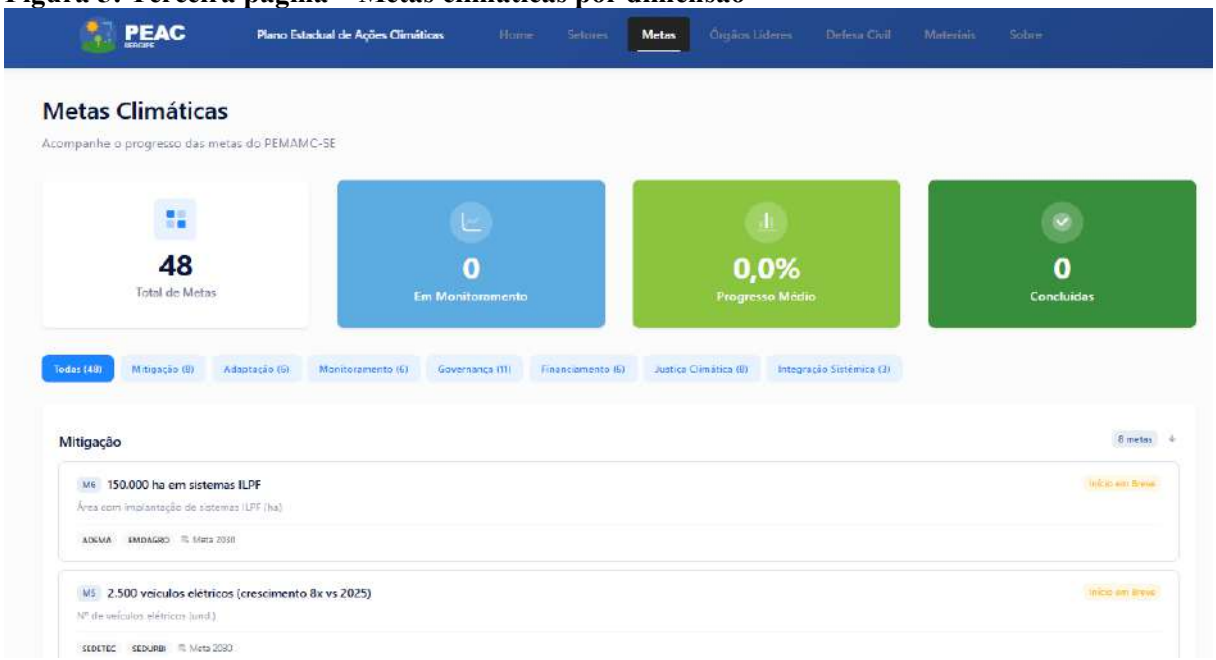


Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Nota-se que, além da descrição dos setores, apresenta-se uma visualização das metas correlacionadas e seus respectivos status operacionais.

A terceira página, por sua vez, apresenta o detalhamento das metas climáticas do PEMAMC-SE, organizadas conforme as dimensões estabelecidas no âmbito do Produto 3.1. O painel inicial proporciona uma visão consolidada do progresso de implementação do plano, enquanto a seção inferior permite a análise detalhada do avanço individual de cada meta.

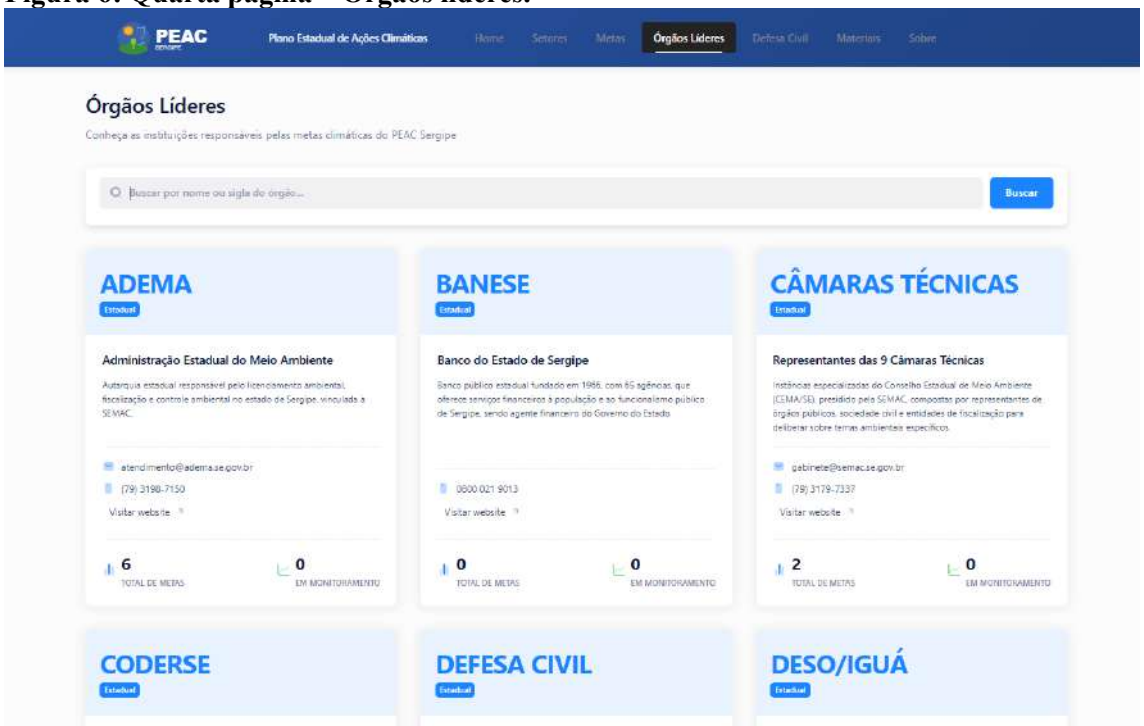
Figura 5: Terceira página – Metas climáticas por dimensão



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Na quarta página, são apresentados os órgãos líderes, correspondentes às instituições que compõem o GTMC, conforme a estrutura de governança climática estabelecida no PEMAMC-SE. Para cada órgão, foram disponibilizadas informações de contato, como e-mail, site institucional e telefone, com o objetivo de ampliar a transparência pública.

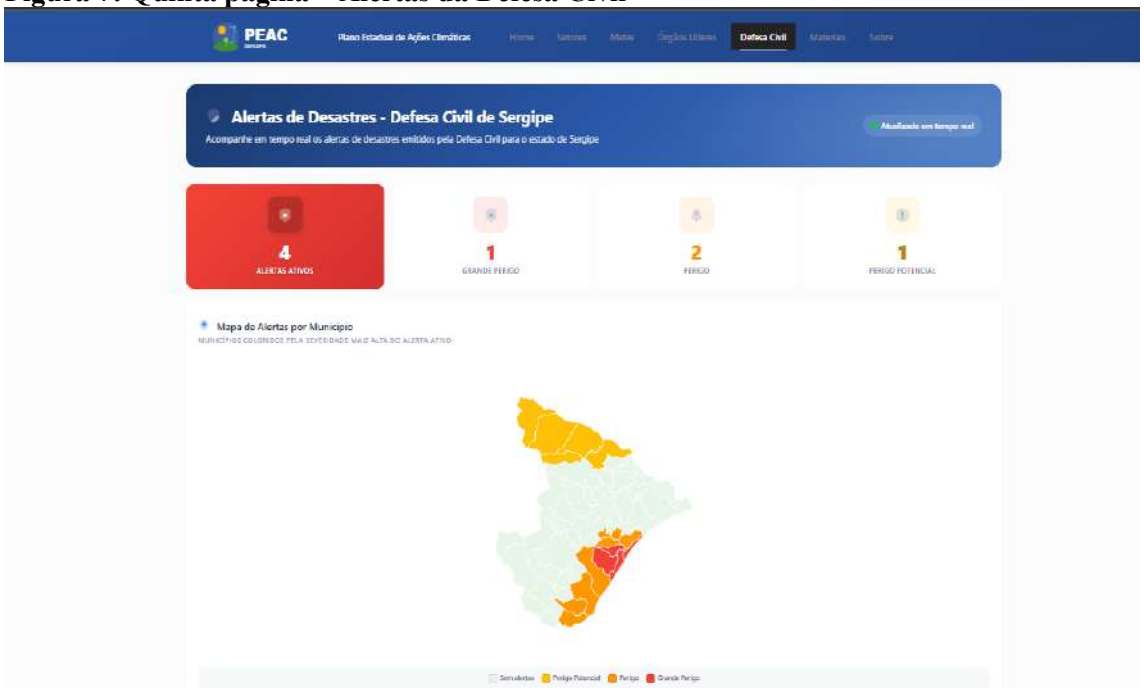
Figura 6: Quarta página – Órgãos líderes.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A quinta página é direcionada à visualização dos boletins, alertas e avisos emitidos pela Defesa Civil do Estado de Sergipe (Figura 7). O painel inicial consolida o quantitativo de alertas ativos, bem como os classifica conforme a severidade. Em seguida, é apresentado um mapa interativo que permite a visualização dos municípios afetados conforme a classe de severidade.

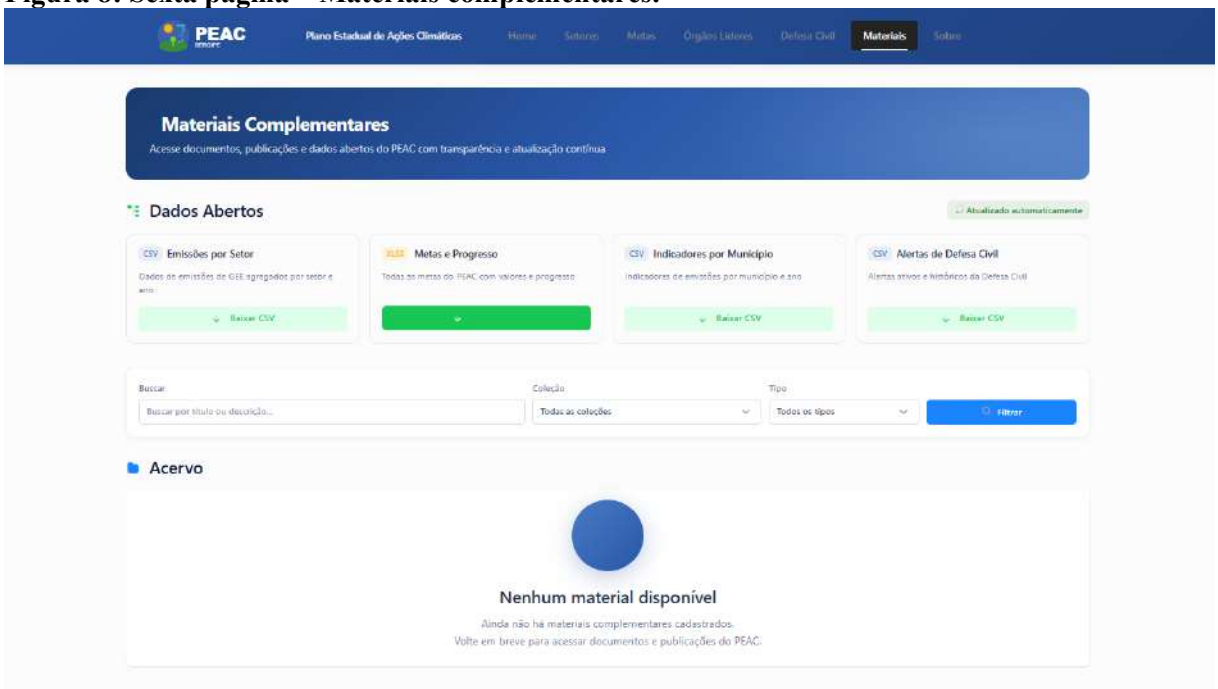
Figura 7: Quinta página – Alertas da Defesa Civil



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A sexta página apresenta o conjunto de dados e materiais complementares que serão passíveis de exportação pelos usuários (Figura 8). Essa página será alimentada por relatórios de reporte de progresso, Inventários Bienais de GEE, transcrições de áudio e formulários produzidos em consultas públicas, entre outros materiais referentes à execução do PEMAMC-SE e operacionalização do Sistema MRV.

Figura 8: Sexta página – Materiais complementares.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Por fim, a sétima página busca sintetizar o que é o Sistema MRV e sua importância no contexto do PEAC/SE. Nesse sentido, são descritos seus principais componentes, com o objetivo de facilitar a compreensão e o acesso a esses conceitos por parte da sociedade civil.

Figura 9: Sétima página – Apresentando o Sistema MRV.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

3.1.3.2 Camada de acesso administrativo

A camada administrativa da Plataforma de Transparência Climática foi desenvolvida com o objetivo de viabilizar a gestão, atualização e publicação dos dados e conteúdos disponibilizados na interface pública. Por meio dessa interface, é possível realizar o cadastro e edição de indicadores, metas, emissões e remoções de GEE e demais produtos técnicos do PEAC/SE.

Para acessar a camada administrativa, é necessário que o usuário autorizado, gerenciado pelos administradores principais da plataforma, insira seu nome de usuário e senha, conforme a Figura 10.

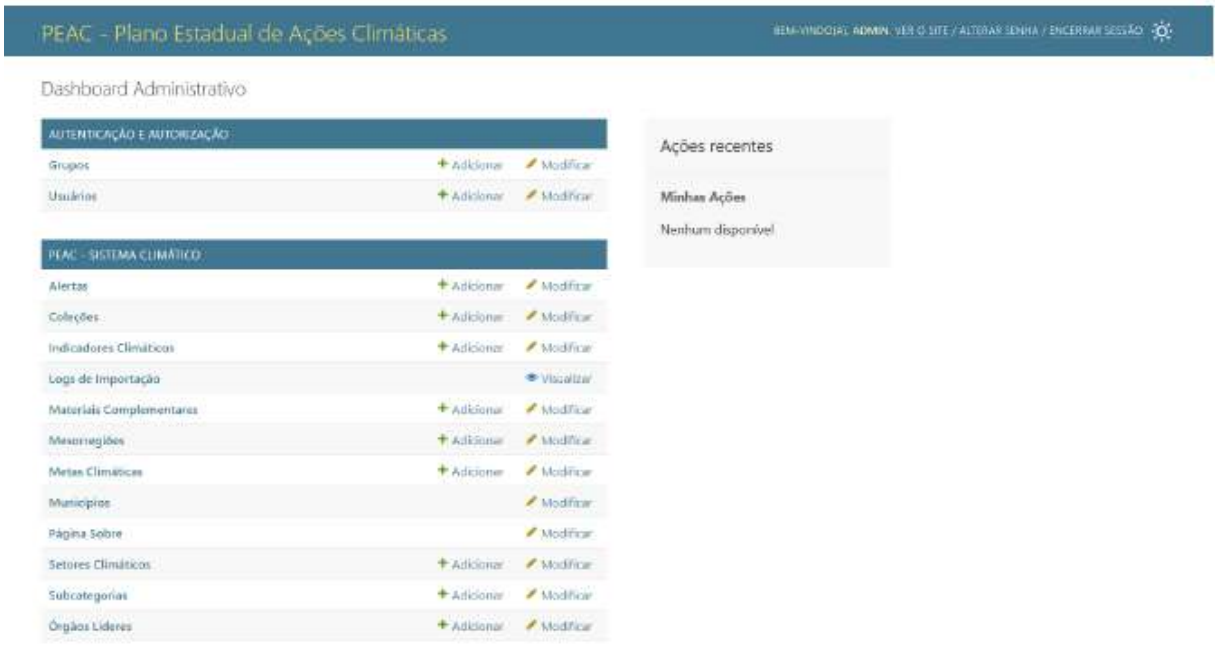
Figura 10: Acesso à camada administrativa.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Após o acesso, o usuário é direcionado ao dashboard administrativo, o qual se encontra subdividido em dois eixos principais: o gerenciamento de usuários e permissões (autenticação e autorização) e as operações relacionadas ao monitoramento e reporte climático (PEAC – sistema climático), conforme ilustrado na Figura 11.

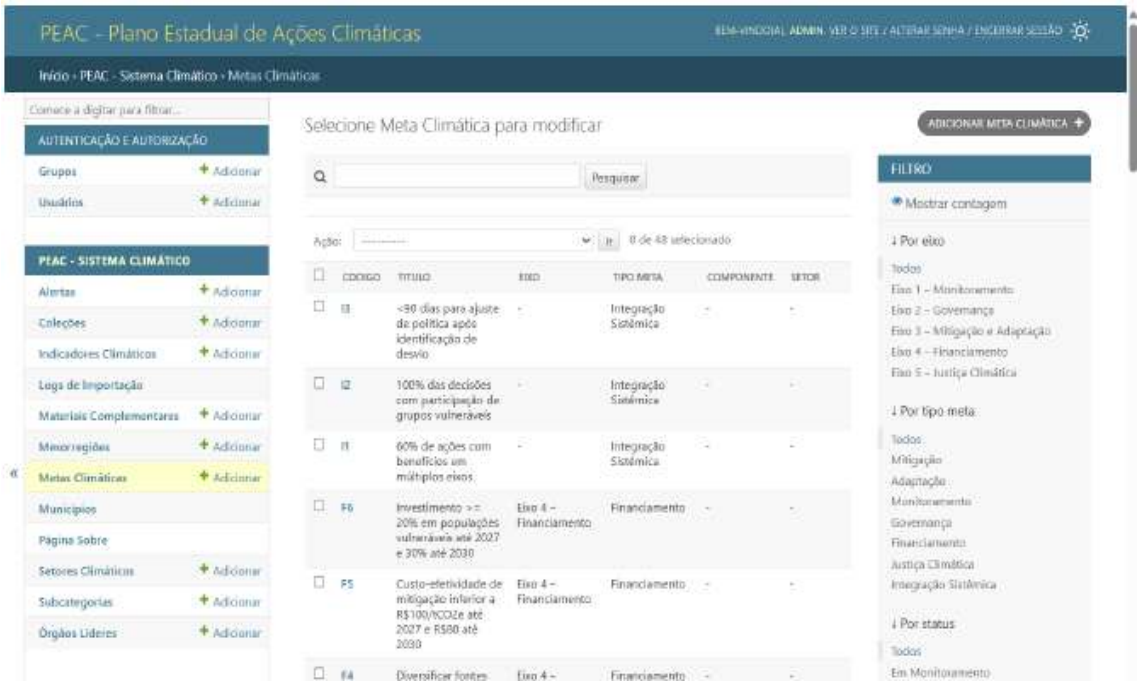
Figura 11: Dashboard administrativo.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

No âmbito das metas climáticas, a Figura 12 permite a visualização das modificações possíveis. Os grupos a serem preenchidos pelos usuários consistem em: código, título, eixo, tipo de meta, componente e setor. Ressalta-se que o progresso destas metas é calculado automaticamente a partir da atualização dos indicadores climáticos.

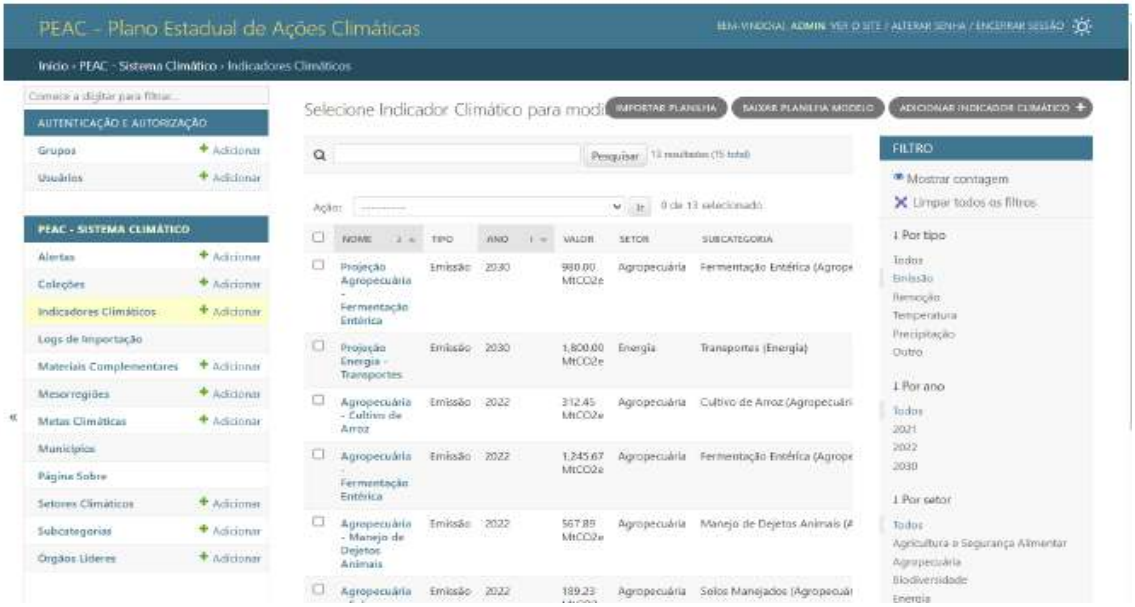
Figura 12: Modificação de metas climáticas.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Os administradores também poderão modificar os resultados de emissões e remoções de GEE, conforme a Figura 13. No entanto, a referida modificação deverá observar o disposto no "Manual de Procedimentos para monitoramento contínuo" (Produto 3.3 do PEAC/SE), somente sendo possível após a elaboração e aprovação do Inventário Bienal de GEE.

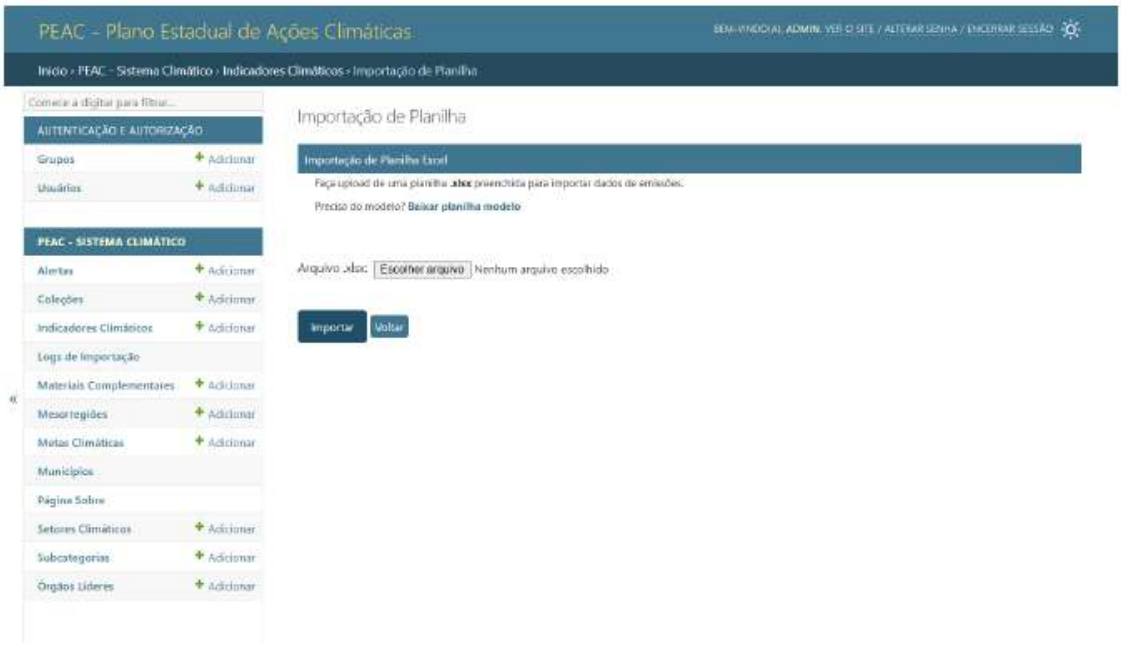
Figura 13: Modificação de valores de emissões e remoções por setor e subcategoria.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Para a importação de dados em lote, o administrador poderá dispor da implantação de planilhas, que se dará a partir da exportação inicial da planilha modelo que consta na plataforma (Figura 14).

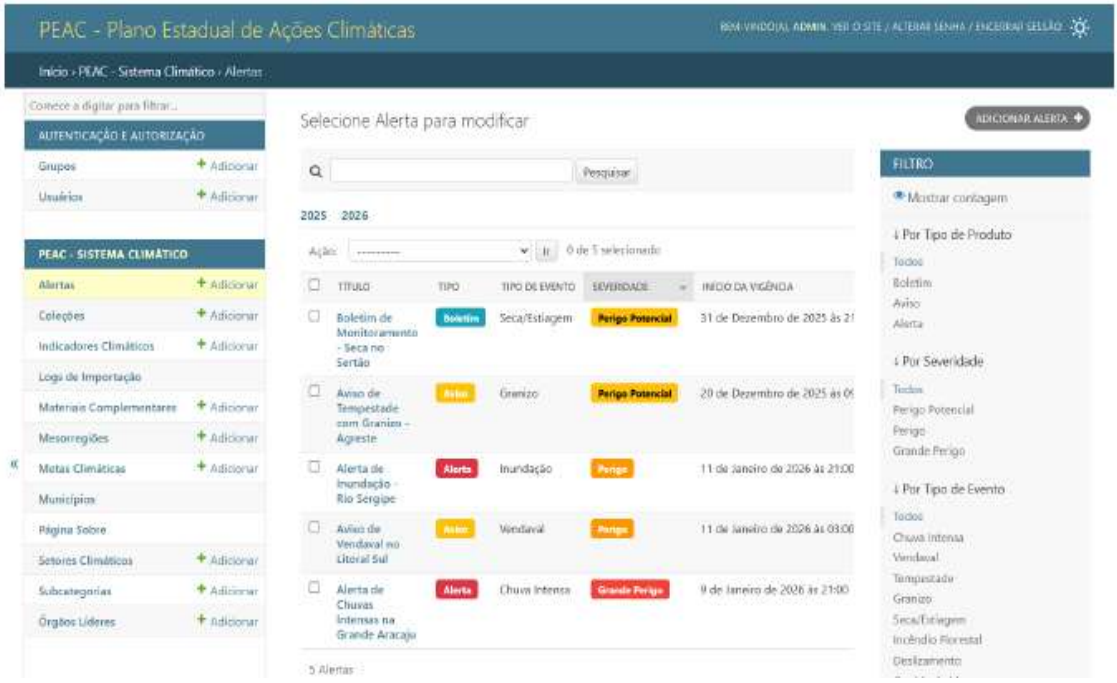
Figura 14: Exportação da planilha modelo e importação de planilha modificada.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Os administradores, que, para este caso, serão vinculados à Defesa Civil, realizarão a inserção e modificação de alertas por meio do painel visualizado na Figura 15:

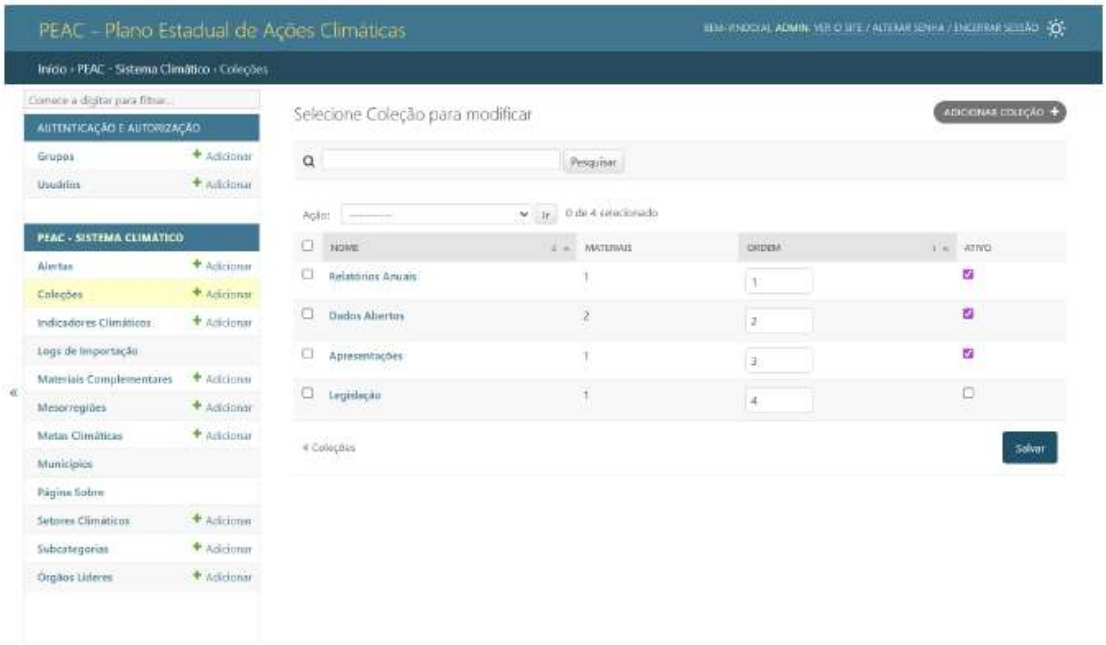
Figura 15: Modificação de alertas para eventos climáticos extremos.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Conforme mencionado anteriormente, os administradores poderão inserir materiais complementares, que estarão disponíveis para exportação por parte dos usuários comuns, como ilustrado na Figura 16.

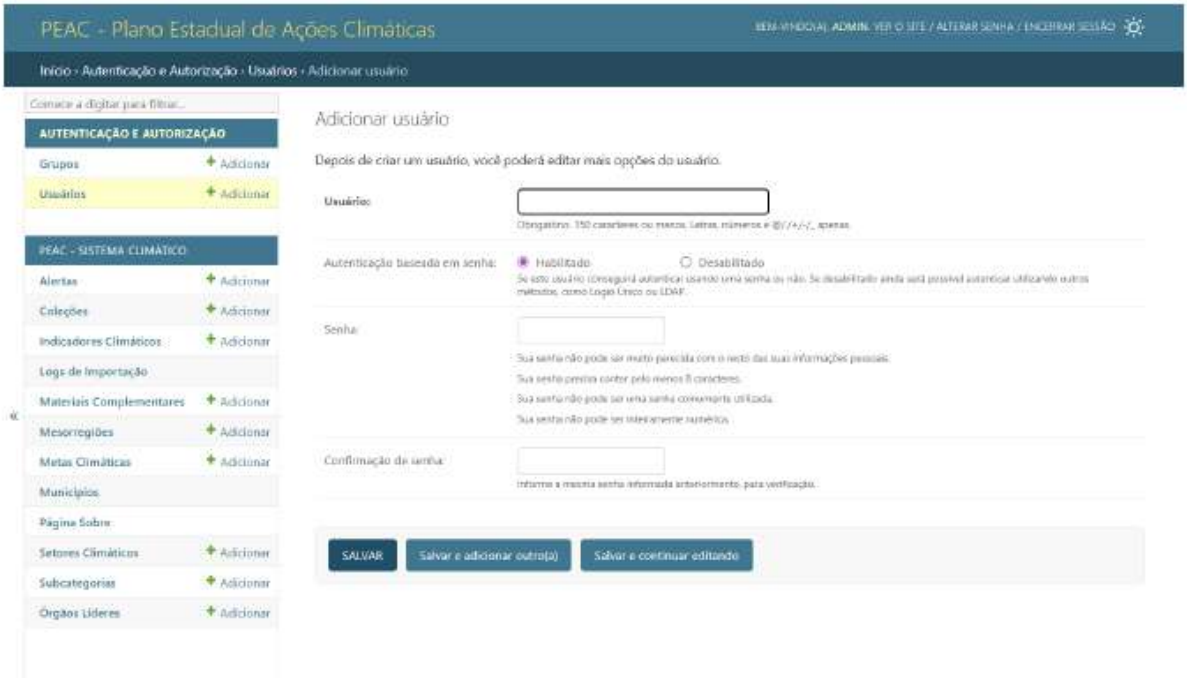
Figura 16: Inserção de materiais complementares – "Coleções".



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

No âmbito do gerenciamento de usuários, determinados administradores com acesso especial poderão realizar a modificação das permissões, conforme ilustra a Figura 17.

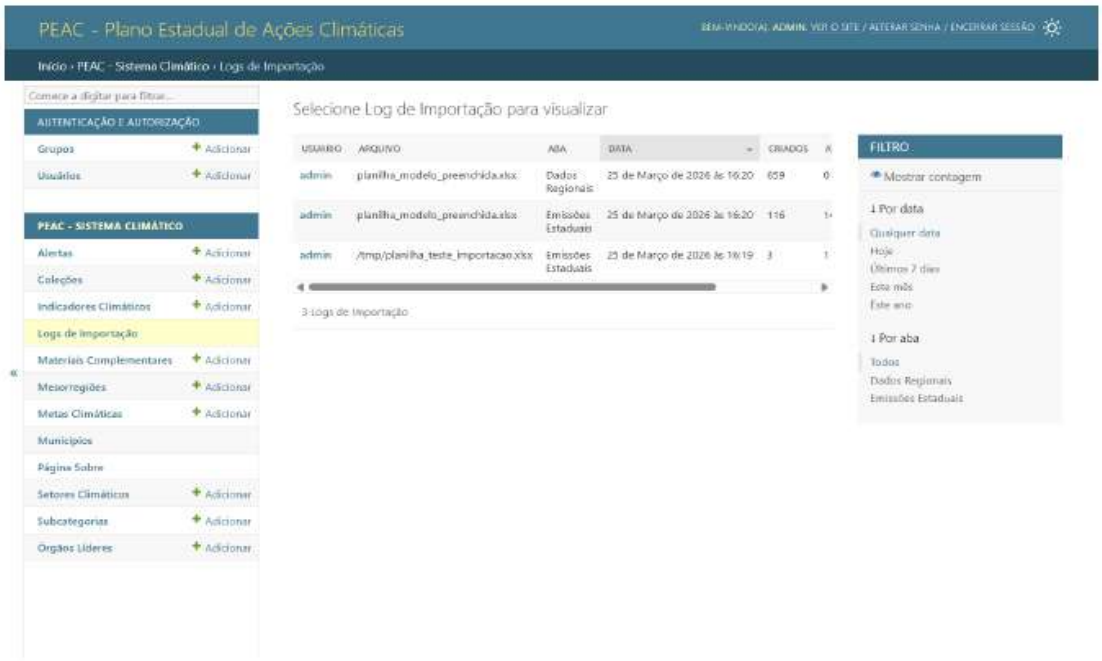
Figura 17: Gerenciamento de usuários.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Para fins de rastreabilidade das ações de reporte, o Sistema dispõe, ainda, de um registro de logs de importação, que permite a identificação do usuário e data de importação de planilhas preenchidas no Sistema. Veja-se:

Figura 18: Registro de importações.



Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Dessa forma, o desenvolvimento da camada administrativa foi orientado para a construção de uma plataforma intuitiva e funcional, voltada à execução das atividades de reporte climático previstas no Sistema MRV, a que se refere o Produto 3.1 do PEAC/SE.

3.2 ELABORAÇÃO DE MANUAL DE ADMINISTRAÇÃO

Com o objetivo de assegurar a plena operacionalização da camada administrativa e, consequentemente, garantir a atualização contínua e a adequada publicização dos dados e produtos técnicos elaborados, uma das ações de apoio técnico previstas no Produto 3.2 consistiu na elaboração do Manual de Administração da plataforma. A execução dessa atividade se deu no mês de março, após a conclusão da estrutura de acesso administrativo da plataforma. O documento foi anexado ao Produto 3.3 – Manual de Procedimentos, uma vez que dialoga diretamente com o Sistema de Reporte.

O Manual de Administração é estruturado nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Acesso e Navegação no Painel;
- Capítulo 2: Metas Climáticas;
- Capítulo 3: Dados Climáticos;
- Capítulo 4: Alertas da Defesa Civil;
- Capítulo 5: Materiais Complementares;
- Capítulo 6: Página “Sobre”;

- Capítulo 7: Usuários e Permissões;
- Capítulo 8: Glossário.

Nesse sentido, o Manual contempla os procedimentos de alimentação e atualização de todas as páginas anteriormente apresentadas. Destaca-se que sua estrutura foi organizada de forma progressiva: inicia-se com orientações gerais de acesso, seguidas, nos capítulos 2 a 6, pelas operações específicas do Sistema, e, por fim, o capítulo 7 dedica-se à gestão de usuários e permissões. Ademais, o documento é enriquecido com capturas de tela, que auxiliam na compreensão das orientações e facilitam a navegação pelas funcionalidades da plataforma.

4 OPERABILIDADE DA PLATAFORMA INTEGRADORA DE DADOS CLIMÁTICOS

A Plataforma Integradora de Dados Climáticos deverá ser implantada de forma gradual, priorizando, em um primeiro momento, a organização, padronização e disponibilização das informações climáticas e ambientais já existentes. Nessa etapa inicial, a plataforma poderá operar com a inserção de dados por meio de arquivos, relatórios técnicos, planilhas, bases de dados consolidadas e demais documentos produzidos pela SEMAC, ADEMA, Defesa Civil e instituições correlatas.

A inserção manual de dados poderá ser utilizada nessa fase inicial, especialmente enquanto não houver integração direta entre os sistemas institucionais. Como etapa futura, recomenda-se que a plataforma evolua para uma arquitetura integrada, baseada em APIs e Web Services, permitindo a conexão automática com sistemas já utilizados pelo Estado, especialmente no âmbito do projeto AGILIZA/VOX, bem como com bases gerenciais da SEMAC, ADEMA, Defesa Civil e outros órgãos relacionados. Essa integração deverá permitir que dados, pareceres, relatórios, indicadores e registros técnicos sejam importados e consolidados automaticamente, reduzindo a necessidade de alimentação manual contínua.

Dessa forma, a inserção manual deverá ser compreendida como solução transitória ou contingencial, enquanto a integração entre sistemas de informação deverá ser tratada como passo estratégico para assegurar a operação permanente da plataforma. Com isso, busca-se reduzir o esforço operacional das equipes técnicas, ampliar a confiabilidade dos dados e consolidar a plataforma como instrumento efetivo de gestão, monitoramento e apoio à tomada de decisão climática no Estado de Sergipe.

5 RESULTADOS ALCANÇADOS

Por meio das ações de apoio técnico, foi possível alcançar os objetivos específicos definidos neste documento, representados pelos seguintes resultados:

- Estruturação de uma plataforma integradora que permita a atualização periódica dos indicadores, metas, emissões de GEE e demais informações que integram o monitoramento climático;
- Apoio à implementação de mecanismos de transparência e acesso público às informações;
- Capacitação da SEMAC, através de um manual, na operação da plataforma de transparência desenvolvida.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Produto 3.2 teve como objetivo estruturar a Plataforma de Transparência Climática, concebida como a principal ferramenta de reporte no âmbito do Sistema MRV. Nesse contexto, foram desenvolvidos dois instrumentos complementares para viabilizar sua operacionalização: a própria plataforma e o Manual de Administração, que reúne orientações para a atualização de informações e a gestão de usuários no Sistema.

Destaca-se que as ações de apoio técnico descritas neste documento foram conduzidas em conformidade com as diretrizes estabelecidas no PEMAMC-SE, com a modelagem do Sistema MRV e com o Manual de Procedimentos para monitoramento contínuo, correspondente ao Produto 3.3 do PEAC/SE.

Por fim, cumpre ressaltar a responsabilidade da SEMAC, em parceria com a Empresa Sergipana de Tecnologia da Informação (EMGETIS), pela disponibilização da Plataforma de Transparência Climática no site institucional do Governo do Estado de Sergipe, de modo a assegurar o acesso público às informações após a conclusão dos produtos previstos no PEAC/SE. Para tanto, recomenda-se que a entrega da plataforma contemple a transferência integral dos elementos necessários à sua operação e manutenção pelo Estado, incluindo o código-fonte, o empacotamento da aplicação, a documentação técnica e a arquitetura do banco de dados.

7 LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: SÍNTESE DOS REQUISITOS FUNCIONAIS MÍNIMOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA ..5
FIGURA 2: PÁGINA INICIAL DA PLATAFORMA – EMISSÕES DE GEE 7
FIGURA 3: MAPAS E SÉRIES TEMPORAIS 7
FIGURA 4: SEGUNDA PÁGINA – SETORES CLIMÁTICOS 8

FIGURA 5: TERCEIRA PÁGINA – METAS CLIMÁTICAS POR DIMENSÃO 9
FIGURA 6: QUARTA PÁGINA – ÓRGÃOS LÍDERES 9
FIGURA 7: QUINTA PÁGINA – ALERTAS DA DEFESA CIVIL 10
FIGURA 8: SEXTA PÁGINA – MATERIAIS COMPLEMENTARES 11
FIGURA 9: SÉTIMA PÁGINA – APRESENTANDO O SISTEMA MRV 11
FIGURA 10: ACESSO À CAMADA ADMINISTRATIVA 12
FIGURA 11: DASHBOARD ADMINISTRATIVO 13
FIGURA 12: MODIFICAÇÃO DE METAS CLIMÁTICAS 13
FIGURA 13: MODIFICAÇÃO DE VALORES DE EMISSÕES E REMOÇÕES POR SETOR E SUBCATEGORIA 14
FIGURA 14: EXPORTAÇÃO DA PLANILHA MODELO E IMPORTAÇÃO DE PLANILHA MODIFICADA 14
FIGURA 15: MODIFICAÇÃO DE ALERTAS PARA EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS 15
FIGURA 16: INSERÇÃO DE MATERIAIS COMPLEMENTARES – "COLEÇÕES" 16
FIGURA 17: GERENCIAMENTO DE USUÁRIOS 16
FIGURA 18: REGISTRO DE IMPORTAÇÕES 17

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Manual de Procedimentos para Monitoramento Contínuo
Produto 3.3

São Paulo, março/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 4

2 OBJETIVOS 4

3 PREMISSAS CONCEITUAIS 5

4 PROTOCOLO DE GESTÃO DOS INDICADORES-CHAVE 7

4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS INDICADORES-CHAVE 8
4.2 FONTES E MÉTODOS DE COLETA 11
4.3 VALIDAÇÃO E CONTROLE 25
4.3.1 CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO E CONTROLE 25
4.3.2 Fluxo de comunicação 35

5 PROCEDIMENTOS DE COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS PARA OS INVENTÁRIOS DE GEE 35

5.1 DETERMINAÇÃO PRÉVIA DOS DADOS NECESSÁRIOS 36
5.2 ARTICULAÇÃO INSTITUCIONAL 36
5.3 ALINHAMENTO METODOLÓGICO 37
5.4 AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO 37
5.5 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS 38

6 PROCEDIMENTOS DE REPORTE E TRANSPARÊNCIA 38

6.1 ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS PERIÓDICOS 38
6.2 OPERACIONALIZAÇÃO DA PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA 39
6.2.1 Acesso à Plataforma de Transparência Climática 40
6.2.2 Revisão de Metas Climáticas 40
6.2.3 Atualização de Indicadores Climáticos 40
6.2.4 Atualização de Alertas 40
6.2.5 Importação de Produtos Técnicos 41

7 PROCEDIMENTOS DE VERIFICAÇÃO DO SISTEMA MRV 41

7.1 VERIFICAÇÃO INTERNA 41
7.1.1 Revisão Anual do Sistema MRV 42
7.1.2 Revisão Quinquenal do Sistema MRV 44
7.2 VERIFICAÇÃO EXTERNA 46
7.2.1 Contratação de auditoria independente e certificada 46
7.2.2 Reunião de Apresentação de Resultados e Não Conformidades 46
7.2.3 Planejamento da Revisão e Ajustes do Sistema MRV 47

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 47

9 REFERÊNCIAS 48

10 ANEXOS 49

10.1 ANEXO I – MANUAL DE ADMINISTRAÇÃO 49

11 LISTA DE SIGLAS.....50

12 LISTA DE FIGURAS.....51

13 LISTA DE QUADROS.....51

1 APRESENTAÇÃO

O Manual de Procedimentos para o Monitoramento Contínuo tem por objetivo principal a apresentação dos procedimentos a serem realizados para a atualização de indicadores-chave, a quantificação de emissões e remoções e publicização dos dados e produtos técnicos elaborados no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe – PEAC/SE.

A elaboração deste Manual atende ao Produto 3.3 do Contrato nº 08/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração (FIA) e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), no contexto do desenvolvimento do PEAC/SE.

Este documento articula-se diretamente com o Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), correspondente ao Produto 2.1, e com a Modelagem do Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), referente ao Produto 3.1. Nesse sentido, o Manual consolida e operacionaliza os procedimentos necessários à implementação das ações de monitoramento contínuo definidas nesses instrumentos.

Em consonância com a estrutura do sistema MRV, o Manual está organizado com base em seus três eixos fundamentais — Monitoramento, Reporte e Verificação. Dessa forma, estão incorporadas diretrizes para a operacionalização da Plataforma de Transparência Climática, cujo desenvolvimento está vinculado ao Produto 3.2[1] do PEAC/SE.

2 OBJETIVOS

O presente documento visa à apresentação dos procedimentos de monitoramento contínuo para a operacionalização do Sistema MRV, a fim de orientar a SEMAC e demais órgãos envolvidos quanto às diretrizes, protocolos e critérios de qualidade a serem considerados.

Como objetivos específicos do Manual de Procedimentos, têm-se:

- Definir procedimentos gerais para a coleta, processamento, validação e reporte de dados;
- Estabelecer protocolos de gestão dos indicadores climáticos;

[1] Produto 3.2 – Apoio Técnico no Desenvolvimento da Plataforma Integradora de Dados Climáticos.

- Orientar a operacionalização da Plataforma de Transparência Climática;
- Delinear os procedimentos aplicáveis à verificação interna e externa do sistema MRV.

3 PREMISSAS CONCEITUAIS

A elaboração do Manual de Procedimentos para Monitoramento Contínuo esteve em consonância com as diretrizes apresentadas na Lei Estadual 9.364, de 05 de janeiro de 2024, que instituiu a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC/SE, bem como as definidas no Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas – PEMAMC-SE, pertinente ao Produto 2.1 do Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC/SE.

Entre os princípios norteadores, está o seguinte objetivo específico, definido no inciso IX, art. 3º da PEMC/SE:

> "IX – gerar e disponibilizar informações periódicas e criar indicadores sobre emissões de GEE e de vulnerabilidades do Estado de Sergipe às mudanças climáticas". (SERGIPE, 2024).

Nesse sentido, torna-se uma das prioridades dos órgãos envolvidos na implementação da PEMC o desenvolvimento e a disponibilização de informações acerca de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e vulnerabilidades climáticas do Estado de Sergipe. Esse aspecto é reforçado pelo inciso XIII, do art. 11, que diz:

> "XIII – monitorar e simular os efeitos das mudanças climáticas em nível local e preparação da defesa civil dos governos locais, formando uma rede de contatos e ações interligadas e preparadas de acordo com a realidade de cada região." (SERGIPE, 2024).

Reforça-se, portanto, a relevância do monitoramento para a implementação de políticas públicas e ações voltadas à adaptação dos centros urbanos para as consequências de eventos climáticos extremos.

Tais objetivos foram devidamente incorporados no PEMAMC-SE, sobretudo no âmbito do Eixo 1, que trata do Monitoramento Climático e Fortalecimento da Base Diagnóstica. Neste documento, são previstos critérios mínimos para a aprovação de um protocolo de gestão de indicadores-chave, fator considerado para a proposição que consta no Manual de Procedimentos:

> "Cada um dos 48 indicadores possui protocolo específico contendo:
>
> a) Definição operacional: Descrição técnica precisa do que é mensurado;
> b) Fonte de dados primária: Instituição responsável pela geração dos dados brutos;

c) Método de coleta: Técnicas e instrumentos utilizados (sensoriamento remoto, questionários, medições diretas, registros administrativos);
d) Frequência de atualização: Periodicidade da coleta (mensal, trimestral, anual, bienal);
e) Unidade de medida: Padronização métrica (tCO_2e, hectares, %, número absoluto);
f) Fórmula de cálculo: Equações matemáticas quando aplicável;
g) Nível de desagregação: Espacial (municipal, regional, estadual) e temporal (mensal, anual);
h) Critérios de qualidade: Parâmetros de completude, consistência e acurácia mínimos;
i) Procedimentos de validação: Checagens automáticas e revisão técnica;
j) Fluxo de transmissão: Cadeia de responsabilidades desde coleta até consolidação final." (FIA, 2026).

Para o detalhamento dos procedimentos operacionais, buscou-se alinhamento com os conceitos, diretrizes e processos associados ao Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), definidos no Produto 3.1 do PEAC/SE. Neste documento, definiu-se que os 48 indicadores-chave, também fornecidos em seu conteúdo, deverão seguir o seguinte processo de gestão após a coleta:

1. Tratamento e padronização;
2. Cálculo/Atualização;
3. Validação técnica;
4. Armazenamento;
5. Disponibilização para reporte.

Foram considerados, ainda, marcos nacionais e internacionais de relevância para a temática de monitoramento climático, com destaque para a Contribuição Nacionalmente Determinada (CND), que orienta a definição de metas climáticas e, consequentemente, dos indicadores associados, e para o Acordo de Paris, especialmente em seu Artigo 13, que estabelece os princípios da transparência, do monitoramento e da prestação de contas no âmbito das políticas climáticas.

Este artigo foi responsável por definir, ainda, as responsabilidades das partes no desenvolvimento da estrutura de transparência climática global, criada com o propósito de acompanhar o progresso obtido no alcance da CND. Nesse sentido, cada parte deverá fornecer, periodicamente, um relatório de inventário de emissões e remoções de GEE, bem como informações que permitam o rastreio do progresso alcançado na consecução de sua CND (BRASIL, 2017).

Ao realizar um comparativo com o Sistema MRV modelado no Produto 3.1 do PEAC/SE, o Inventário Estadual de GEE compreende as emissões e remoções de GEE, enquanto os relatórios de reporte de progresso, sejam os trimestrais, anuais ou quinquenais, permitem o acompanhamento do progresso de alcance das metas climáticas definidas no PEMAMC-SE.

Por fim, ressalta-se a observância à metodologia de estimativa de emissões e remoções de gases do efeito estufa (GEE) definida pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês), que deverá ser adotada para a elaboração do Inventário Bienal de GEE e, por consequência, considerada para o processo de coleta e gestão de dados que subsidiará a elaboração do documento. Esta entidade define o conjunto de setores e gases a serem inventariados, a classificação da complexidade do estudo por nível metodológico, entre outros aspectos fundamentais para a construção de inventários nacionais ou subnacionais.

4 PROTOCOLO DE GESTÃO DOS INDICADORES-CHAVE

Os protocolos de gestão consistem em um conjunto de boas práticas que deverão ser adotadas para a obtenção, o processamento e o armazenamento dos dados necessários para a atualização de indicadores-chave. As diretrizes gerais para os protocolos foram definidas no PEMAMC-SE, e consistem em:

a) Definição operacional: Descrição técnica precisa do que é mensurado;
b) Fonte de dados primária: Instituição responsável pela geração dos dados brutos;
c) Método de coleta: Técnicas e instrumentos utilizados (sensoriamento remoto, questionários, medições diretas, registros administrativos);
d) Frequência de atualização: Periodicidade da coleta (mensal, trimestral, anual, bienal);
e) Unidade de medida: Padronização métrica (tCO_2e, hectares, %, número absoluto);
f) Fórmula de cálculo: Equações matemáticas, quando aplicável;
g) Nível de desagregação: Espacial (municipal, regional, estadual) e temporal (mensal, anual);
h) Critérios de qualidade: Parâmetros de completude, consistência e acurácia mínimos;
i) Procedimentos de validação: Checagens automáticas e revisão técnica;
j) Fluxo de transmissão: Cadeia de responsabilidades desde coleta até consolidação final. (FIA, 2026).

Considerando as diretrizes fornecidas pelo PEMAMC-SE, serão definidos, nos tópicos a seguir, os protocolos de gestão dos 48 (quarenta e oito) indicadores-chave do sistema MRV, com uma breve introdução acerca de suas metas correlacionadas e dimensões climáticas.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS INDICADORES-CHAVE

Os indicadores-chave de monitoramento foram definidos a partir de metas sistêmicas determinadas no PEMAMC-SE, que, por sua vez, vinculam-se a eixos, ou dimensões climáticas também discutidas no documento. Em consonância com o Produto 3.1, que aprofunda essa classificação, as dimensões climáticas podem ser definidas da seguinte maneira:

a) **Mitigação**: abrange os indicadores voltados ao monitoramento das ações voltadas à redução das emissões e ao aumento dos sumidouros de gases de efeito estufa (GEE);

b) **Adaptação**: contempla os indicadores voltados ao monitoramento das ações relacionadas à redução da vulnerabilidade e aumento da resiliência climática dos sistemas naturais e humanos;

c) **Monitoramento**: está relacionada ao acompanhamento do progresso de implementação de sistemas contínuos de monitoramento, reporte e verificação das ações climáticas;

d) **Governança**: inclui os indicadores-chave responsáveis pela verificação da articulação institucional entre os órgãos líderes, colaboradores, setores privados e a sociedade civil;

e) **Financiamento Climático**: relaciona-se aos indicadores-chave voltados ao monitoramento da captação e alocação de recursos financeiros para viabilizar ações climáticas;

f) **Justiça Climática**: esta dimensão contempla os indicadores-chave destinados ao acompanhamento das metas que priorizam populações vulneráveis;

g) **Integração Sistêmica**: apresenta os indicadores-chave que expressam a sinergia entre os eixos temáticos do PEMAMC-SE.

Nesse contexto, o Quadro 1 apresenta a classificação dos indicadores-chave que serão monitorados e suas respectivas metas correlatas.

Quadro 1: Classificação dos indicadores-chave e metas correlacionadas

DIMENSÃO	METAS – 2030	INDICADOR-CHAVE
Monitoramento	48 indicadores MRV atualizados bienalmente	N° de indicadores atualizados bienalmente
	Ampliação da rede de estações meteorológicas de 9 para 22 unidades operacionais, vinculando sua expansão à criação de	N° de estações meteorológicas operacionais

DIMENSÃO	METAS – 2030	INDICADOR-CHAVE
	mecanismo de financiamento contínuo	
	Portal clima.se.gov.br 100% operacional até 2027	Situação do portal clima.se.gov.br (Não operacional/Operacional)
	3 inventários de GEE publicados	N° de Inventários de GEE publicados
	2 verificações externas realizadas (2027, 2029)	N° de verificações externas
	90 pontos em índice nacional de transparência	N° de pontos conforme nota metodológica (Escala Brasil Transparente da CGU)
Governança	75 Planos Municipais de Mudanças Climáticas elaborados (100%)	N° de Planos Municipais elaborados
	75 Comitês Municipais criados e ativos	N° de Comitês Municipais criados e ativos
	6 reuniões ordinárias/ano do CEEMC-SE realizadas	N° de reuniões do CEEMC-SE realizadas no período
	4 reuniões/ano do GTMC + Secretaria Executiva operacional	N° de reuniões do GTMC + Secretaria Executiva realizadas no período
	1.500 gestores estaduais/municipais capacitados	N° de gestores estaduais/municipais capacitados
	75 municípios (100% obrigados) com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática	N° de Municípios com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática
	Mínimo 5 consultas periódicas realizadas (2026-2030) até 2030	N° de consultas periódicas realizadas no período
	2 conferências estaduais realizadas (2027, 2029) até 2030	N° de conferências realizadas no período
	9 Câmaras Temáticas funcionando regularmente	N° de câmaras temáticas em operação
	4-5 consórcios intermunicipais criados	N° de consórcios intermunicipais criados
	50% de representação não governamental em todas as instâncias	% de representação não governamental nas instâncias de governança climática
Mitigação	~33% redução de emissões GEE (8,9 → ~6,0 $MtCO_2e$)	Emissões totais GEE ($MtCO_2e$/ano)
	350 MW de energia solar distribuída	Potência de geração de energia solar
	50.000 hectares de vegetação nativa restaurados	Área restaurada acumulada (ha)
	Desmatamento ilegal zero	Hectares de fragmentos de vegetação nativa suprimidos ilegalmente
	2.500 veículos elétricos (crescimento 8x vs 2025)	N° de veículos elétricos
	125.100 em sistemas ILPF (Expansão de 4.600 até 2030)	Área com implantação de sistemas ILPF
	120 biodigestores operacionais	N° de biodigestores
	40% de resíduos urbanos reciclados	% de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos

DIMENSÃO	METAS – 2030	INDICADOR-CHAVE
Adaptação	Vulnerabilidade reduzida de 60% para 30% da população	Vulnerabilidade climática (% pop.)
	Zero mortes evitáveis por ondas de calor	N° de mortes evitáveis por ondas de calor
	Segurança hídrica para 95% da população	% da população com acesso a água
	1.800 ha de manguezais restaurados	Área de manguezais restaurados
	100% das UBS climatizadas	% de UBS climatizadas
	Perdas hídricas reduzidas de 42% para 25%	Perdas hídricas (%)
Financiamento Climático	Operacionar a capitalização do FEMC-SE até 2027 e consolidá-lo até 2030	Situação da capitalização do FEMC-SE (Não operacional/Operacional)
	Aprovar de 5 a 8 projetos externos até 2027 e de 15-20 projetos até 2030	N° de projetos externos aprovados
	Manutenção de taxa de execução orçamentária superior a 70% até 2027 e 85% até 2030	Taxa de execução orçamentária (%)
	Diversificar as fontes de recursos assegurando um percentual de 30% não estadual até 2027 e 50% não estadual até 2030	% de fontes de recurso não-estaduais
	Manutenção de um índice de custo-efetividade de mitigação inferior a R$ 100,00/tCO_2e até 2027 e inferior a R$ 80,00/tCO_2e até 2030	Índice de custo-efetividade das medidas de mitigação (R$/$tCO_2e$)
	Assegurar um investimento igual ou superior a 20% em populações vulneráveis até 2027 e a 30% até 2030	% de investimento para populações vulneráveis
Justiça Climática	45% dos recursos de adaptação para populações vulneráveis	% dos recursos de adaptação destinados a populações vulneráveis
	Gap de mortalidade por calor reduzido de 2,8x para <1,5x	Mortalidade por calor de populações de baixa renda em relação à Mortalidade por calor de populações de alta renda
	100% agricultores familiares com seguro-safra	% de agricultores com seguro-safra
	Assegurar um percentual de representação de mulheres em instâncias de governança climática de 50% até 2030	% de representação feminina nas instâncias de governança climática
	75% territórios quilombolas regularizados	% de territórios quilombolas regularizados
	2.500 sistemas solares em habitações de baixa renda	N° de sistemas solares em habitações de baixa renda
	8.500 moradias precárias adaptadas para calor	N° de moradias precárias adaptadas para calor
	8.500 empregos verdes gerados	N° de empregos verdes gerados

DIMENSÃO	METAS – 2030	INDICADOR-CHAVE
Integração Sistêmica	60% de ações com benefícios em múltiplos eixos	% de ações com benefícios em múltiplos eixos
	100% das decisões com participação de grupos vulneráveis	% de decisões tomadas com participação de grupos vulneráveis
	<90 dias para ajuste de política após identificação de desvio	N° de dias necessários para ajuste de política

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Ressalta-se que as dimensões climáticas deverão ser consideradas no processo de atualização dos indicadores-chave na Plataforma de Transparência Climática, aspecto que será apresentado em tópico futuro.

4.2 FONTES E MÉTODOS DE COLETA

Os protocolos relacionados a fontes, métodos e periodicidades de coleta para cada dimensão climática foram definidos nos quadros a seguir.

Quadro 2: Protocolo para a coleta de dados dos indicadores de Monitoramento

#[2]	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.[3]	FÓRMULA	D.E.[4]
MO1	N° de indicadores atualizados bienalmente	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	Captura automática dos eventos de atualização dos indicadores-chave na plataforma, seguida de validação automática, contabilização dos indicadores e cálculo automático do indicador MO1.	Bienal	und.	S/F[5]	Estadual
MO2	N° de estações meteorológicas operacionais	Defesa Civil	A coleta deverá ocorrer por meio da integração automatizada com bases institucionais (quando disponíveis via API ou banco de dados compartilhado), complementada por inserção manual validada pelos órgãos responsáveis.	Trimestral	und.	S/F	Estadual
MO3	Situação do portal clima.se.gov.br (Não operacional/Operacional)	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	"O sistema deverá classificar automaticamente: ● Operacional: quando disponibilidade ≥ 95% no período de referência; ● Não operacional: quando abaixo desse limite ou indisponível.	Trimestral	S/U[6]	S/F	Estadual
MO4	N° de Inventários de GEE publicados	Plataforma de Transparência Climática / Portal clima.se.gov.br	A plataforma deverá registrar automaticamente cada publicação de inventário, armazenando data de publicação, versão, escopo, responsável pela inserção e link de acesso público. A	Bienal (anos pares)	und.	S/F	Estadual

[2] Código do indicador.
[3] Unidade.
[4] D.E. – Desagregação Espacial.
[5] S/F – Sem fórmula.
[6] S/U – Sem unidade.

#[2]	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.[3]	FÓRMULA	D.E.[4]
			contagem deverá ser realizada por consulta automática ao repositório digital da plataforma, considerando apenas documentos com status "publicado".				
MO5	N° de verificações externas	Auditoria independente	Os registros deverão ser inseridos manualmente pela equipe responsável, com anexação obrigatória dos documentos comprobatórios (Relatório de Verificação Externa e certificado de acreditação pelo INMETRO).	Bienal (anos ímpares)	und.	S/F	Estadual
MO6	N° de pontos conforme nota metodológica (Escala Brasil Transparente da CGU)	Controladoria Geral do Estado - CGE e Controladoria Geral da União - CGU	A pontuação deverá ser calculada através do questionário que consta na Escala Brasil Transparente. Para subsidiar o cálculo, deverão ser obtidas informações junto à CGE.	Anual	und.	Metodologia definida pela Escala Brasil Transparente, da CGU.	Estadual

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Quadro 3: Protocolo para a coleta de dados dos indicadores de Governança

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
G1	N° de Planos Municipais elaborados	Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Acesso às Plataformas de Transparência dos Municípios e articulação setorial com as Secretarias Municipais de Meio Ambiente e/ou Consórcios Intermunicipais para a verificação do progresso.	Anual	und.	S/F	Municipal
G2	N° de Comitês Municipais criados e ativos	Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Solicitação às Secretarias Municipais de Meio Ambiente e Consórcios Intermunicipais dos normativos de criação dos Comitês e as atas elaboradas recentemente.	Anual	und.	S/F	Municipal
G3	N° de reuniões do CEEMC-SE realizadas no período	CEEMC-SE	Solicitação ao CEEMC-SE das atas de reunião, para registro em ferramenta de acompanhamento.	Trimestral	und.	S/F	Estadual
G4	N° de reuniões do GTMC + Secretaria Executiva realizadas no período	GTMC	Solicitação ao GTMC das atas de reunião, para registro em ferramenta de acompanhamento.	Trimestral	und.	S/F	Estadual
G5	N° de gestores estaduais/municipais capacitados	GTMC	Registro automatizado a partir de sistemas de capacitação (quando disponíveis) ou inserção manual com listas de presença e certificados.	Trimestral	und.	S/F	Municipal
G6	N° de Municípios com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática	Secretarias Municipais de Planejamento/Desenvolvimento Urbano	Obtenção dos Planos Diretores Municipais e análise da inclusão explícita da temática climática.	Anual	und.	S/F	Municipal
G7	N° de consultas periódicas realizadas no período	CEEMC-SE	Registro manual das consultas realizadas em ferramenta de	Trimestral	und.	S/F	Regional

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
			acompanhamento, a partir de consulta junto ao CEEMC-SE.				
G8	N° de conferências realizadas no período	CEEMC-SE	Registro das conferências em ferramenta de acompanhamento, a partir de informações fornecidas pelo CEEMC-SE.	Trimestral	und.	S/F	Estadual
G9	N° de câmaras temáticas em operação	Representantes das Câmaras Temáticas	Registro das Câmaras Temáticas ativas, por meio de contato com o Coordenador de cada Câmara (para as instituídas) e articulação com os órgãos setoriais (quando não for instituída).	Trimestral	und.	S/F	Estadual
G10	N° de consórcios intermunicipais criados	Secretarias Municipais de Meio Ambiente ou correlatas (se não houver)	Contabilização dos consórcios formalmente instituídos, através de contato periódico com os Municípios.	Trimestral	und.	S/F	Regional
G11	% de representação não governamental nas instâncias de governança climática	CEEMC-SE e Comitês Intermunicipais	Manutenção de cadastro atualizado continuamente com as composições institucionais dos comitês (estadual e municipais), para cálculo automático do percentual de representação não-governamental.	Trimestral	%	Percentual de Representação Não Governamental: [N° de representantes não governamentais/N° de representantes total] x 100%	Estadual

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Quadro 4: Protocolo para a coleta de dados dos indicadores de Mitigação

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
M1	Emissões totais GEE ($MtCO_2e$/ano)	GTMC e Painel Científico	Inserção manual dos dados setoriais obtidos em Inventários de GEE publicados na Plataforma de Transparência Climática. Os dados deverão ser revisados após a auditoria externa.	Bienal	$MtCO_2e$/ano	S/F para o indicador. O percentual de redução de emissão é calculado por: ([Emissões totais no ano/Emissão total no ano de referência] x 100%) - 100%	Estadual
M2	Potência de geração de energia solar	SEDETEC e EPE	Coleta automatizada por meio de integração com bases oficiais (ex.: ANEEL ou distribuidoras), com atualização periódica dos dados de potência instalada e status operacional. Caso não haja a possibilidade de integração, realizar o registro manual por meio dos dados publicados em relatórios oficiais.	Trimestral	MW	S/F	Estadual
M3	Área restaurada acumulada (ha)	Projetos de recuperação acompanhados de relatórios de implantação.	Registro das áreas a partir de projetos de restauração, dados geoespaciais e relatórios de acompanhamento para fins de comprovação.	Trimestral	ha	S/F	Municipal
M4	Hectares de fragmentos de vegetação nativa suprimidos ilegalmente	MapBiomas Alerta/Sensoriamento remoto	Consulta à Plataforma de Alertas do MapBiomas e validação das informações por meio da ausência de ASVs na plataforma vinculadas ao alerta.	Trimestral	ha	S/F	Municipal
M5	N° de veículos elétricos	Ministério dos Transportes/DETRAN	Integração com base de dados do Ministério dos	Trimestral	und.	S/F	Estadual

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
			Transportes, DETRAN, ou sistema equivalente, ou, caso indisponível, verificação de relatórios emitidos em bases oficiais.				
M6	Área com implantação de sistemas ILPF	Projetos de implantação de sistemas ILPF, sensoriamento remoto	Inserção manual a partir de projetos de implantação desses sistemas, obtidos de fontes oficiais em parceria com a EMDAGRO ou a CODERSE. As informações deverão ser validadas por meio de sensoriamento remoto.	Trimestral	ha	S/F	Municipal
M7	N° de biodigestores	ADEMA e Concessionárias.	Inserção manual a partir de documentação comprobatória, advinda dos órgãos licenciadores e concessionárias.	Trimestral	und.	S/F	Municipal
M8	% de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos	Secretarias Municipais e Cooperativas.	Integração com sistemas oficiais (SINISA), complementada por dados municipais inseridos manualmente e validados.	Trimestral	%	Percentual de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos: [Quantidade de resíduos sólidos urbanos reciclados/Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados] x 100%	Estadual

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Quadro 5: Protocolo para a coleta de dados dos indicadores de Adaptação

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
A1	Vulnerabilidade climática (% pop.)	GTMC/IBGE/Defesa Civil/SEDURBI	Modelagem dos dados de vulnerabilidade a partir da metodologia proposta no Produto 1.4 do PEAC/SE, complementada pelos dados do IBGE e informações adicionais solicitadas à Defesa Civil e à SEDURBI. Após a automatização da metodologia, deverá ser solicitada a sua validação por parte do Painel Científico do PEAC/SE.	Anual	%	Fórmulas para cada tipo de vulnerabilidade constam no Produto 1.4.	Regional
A2	N° de mortes evitáveis por ondas de calor	Secretaria de Estado da Saúde e DATASUS.	Extração dos dados de mortalidade de bases de dados oficiais, sobretudo o DATASUS (Sistema Tabnet), e análise técnica de consistência com eventos extremos de calor.	Trimestral	und.	S/F	Municipal
A3	% da população com acesso a água	SINISA/Concessionárias de abastecimento/CODERSE/ DNOCS.	Consulta preliminar a informações do SINISA e solicitação formal de dados de abastecimento de água às Concessionárias de Abastecimento do Estado, à CODERSE e DNOCS.	Anual	%	Percentual de segurança hídrica: [Habitantes com acesso à água/População total] x 100%	Municipal
A4	Área de manguezais restaurados	Relatórios de acompanhamento, monitoramento in loco, sensoriamento remoto e ADEMA.	Verificação por meio de relatórios de acompanhamento produzidos no âmbito das ações de restauração, acompanhados de sensoriamento remoto e monitoramento em campo. A validação da recuperação deverá ser realizada pela ADEMA.	Trimestral	ha	S/F	Regional (região litorânea do estado).
A5	% de UBS climatizadas	Secretarias Municipais de Saúde	Solicitação formal e consolidação de registros oriundos das secretarias municipais de saúde.	Trimestral	%	Percentual de UBS climatizadas: [N° de	Municipal

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
						UBS climatizadas/N° total de UBS] x 100%	
A6	Perdas hídricas (%)	Concessionárias de Abastecimento	Solicitação formal às concessionárias dos dados brutos de produção e faturamento.	Trimestral	%	Perdas hídricas: [Água produzida - Água faturada/Água produzida] x 100%	Municipal

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Quadro 6: Protocolo para a coleta de dados dos indicadores de Financiamento Climático

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
F1	Situação da capitalização do FEMC-SE (Não operacional/Operacional)	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Gestão de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Registro institucional realizado pelo Conselho Gestor do Fundo, a partir de atos normativos e a execução orçamentária.	Trimestral	S/U	S/F	Estadual
F2	N° de projetos externos aprovados	Unidade de Gestão de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Contabilização dos projetos aprovados, considerando os documentos comprobatórios.	Trimestral	und.	S/F	Estadual
F3	Taxa de execução orçamentária (%)	Conselho Gestor do FEMC-SE	Atualização contínua dos gastos relacionados ao PEAC/SE e análise comparativa com o orçamento previsto em atos normativos.	Trimestral	%	Taxa de Execução Orçamentária: [Gastos Realizados (R$)/Orçamento autorizado (R$) x 100%]	Estadual
F4	% de fontes de recurso não-estaduais	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Análise de dados orçamentários fornecidos pelo FEMC-SE, para verificação da origem das fontes de financiamento.	Trimestral	%	Percentual de fontes de recurso não-estaduais: [Recursos não estaduais/Recursos totais] x 100%	Estadual

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
F5	Índice de custo-efetividade das medidas de mitigação (R$/$tCO_2e$)	Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Solicitação dos gastos realizados com medidas de mitigação à Unidade de Gestão de Projetos, e análise comparativa com as reduções de emissões de GEE oriundas dos Inventários Bienais de GEE.	Bienal	R$/tCO2e	Índice de custo-efetividade das medidas de mitigação: [Custo total investido em ações de mitigação/Total de emissões de tCO_2e reduzidas].	Estadual
F6	% de investimento para populações vulneráveis	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Identificação preliminar de populações vulneráveis através da atualização do indicador A1, complementada pela solicitação dos investimentos realizados em Municípios contemplados na identificação.	Trimestral	%	Percentual de investimento para populações vulneráveis: [Investimento para populações vulneráveis/Investimento total] x 100%	Estadual (análise municipal apenas para fins de aplicação metodológica)

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Quadro 7: Protocolo para a coleta de dados dos indicadores de Justiça Climática

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
J1	% dos recursos de adaptação destinados a populações vulneráveis	Conselho Gestor do FEMC-SE/Unidade de Projetos da Secretaria Executiva do PEAC/SE	Identificação preliminar de populações vulneráveis através da atualização do indicador A1, complementada pela solicitação dos investimentos realizados em Municípios contemplados na identificação e a verificação do percentual de recursos relacionados a ações de adaptação, por meio de consulta ao Conselho Gestor do FEMC-SE e à Unidade de Projetos.	Trimestral	%	Percentual de recursos de adaptação para populações vulneráveis: [Recursos destinados a populações vulneráveis/Recursos totais de adaptação] x 100%	Estadual
J2	Mortalidade por calor de populações de baixa renda em relação à Mortalidade por calor de populações de alta renda	SES/DATASUS/IBGE.	Extração de registros de mortalidade do DATASUS, com filtragem de causas associadas a eventos de calor extremo, seguida da integração com dados socioeconômicos do IBGE para estratificação por renda.	Trimestral	und.	Razão entre: Mortalidade por calor de populações de baixa renda/Mortalidade por calor de populações de alta renda	Estadual
J3	% de agricultores familiares com seguro-safra	SEAGRI e EMDAGRO.	Análise dos registros administrativos da SEAGRI (órgão responsável pelo indicador) e identificação de agricultores familiares no registro.	Anual	%	Percentual de agricultores familiares com seguro-safra: [N° de agricultores familiares com seguro-safra/N° de agricultores familiares total] x 100%	Estadual
J4	% de representação feminina nas instâncias de governança climática	Instâncias de Governança Climática: CEEMC-SE, Painel Científico, GTMC e Câmaras Temáticas.	Solicitação formal da lista de membros a todas as instâncias de governança climática previstas no PEMAMC-SE (CEEMC-SE, Painel	Trimestral	%	Percentual de representação feminina: [Quantidade de mulheres nas instâncias de governança/Quantidade total de representantes] x 100%	Estadual

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
			Científico, GTMC e Câmaras Temáticas).				
J5	% de territórios quilombolas regularizados	INCRA e Comunidades quilombolas	Consulta periódica às bases oficiais do INCRA e identificação das comunidades quilombolas do Estado de Sergipe, em articulação com associações e fóruns de povos e comunidades tradicionais.	Trimestral	%	Percentual de territórios quilombolas regularizados: [N° de territórios quilombolas regularizados/N° total de territórios quilombolas] x 100%	Estadual
J6	N° de sistemas solares em habitações de baixa renda	SEDETEC e ANEEL	Integração de dados provenientes da ANEEL, concessionárias e programas públicos estaduais (SEDETEC), com identificação dos sistemas instalados em unidades consumidoras classificadas como baixa renda.	Trimestral	und.	S/F	Estadual
J7	N° de moradias precárias adaptadas para calor	Unidade de Gestão de Projetos/SEDURBI	Análise de registros oficiais da SEDURBI de intervenções em habitações vulneráveis destinadas à adaptação para o calor e verificação das ações de adaptação através de informações fornecidas pela Unidade de Gestão de Projetos.	Trimestral	und.	S/F	Estadual
J8	N° de empregos verdes gerados	CAGED e RAIS.	Extração de dados do CAGED e RAIS, com identificação dos vínculos empregatícios ativos, seguida da definição e aplicação de critérios técnicos para classificação dos empregos considerados verdes.	Trimestral	und.	S/F	Estadual

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Quadro 8: Protocolo para a coleta de dados dos indicadores de Integração Sistêmica

#	INDICADOR-CHAVE	FONTE DE DADOS PRIMÁRIA	MÉTODO DE COLETA	PERIODICIDADE	UND.	FÓRMULA	D.E.
I1	% de ações com benefícios em múltiplos eixos	Secretaria Executiva do PEAC/SE/Unidade de Gestão de Projetos	Extração periódica das ações registradas nos relatórios de reporte de progresso do PEAC/SE, seguida da classificação técnica quanto aos eixos beneficiados, com base em critérios previamente definidos.	Trimestral	%	Percentual de ações com benefícios em múltiplos eixos: [N° de ações com benefícios em múltiplos eixos/N° total de ações] x 100%	Estadual
I2	% de decisões tomadas com participação de grupos vulneráveis	Atas de reuniões do CEEMC-SE, GTMC e câmaras temáticas.	Levantamento documental das atas e registros de reuniões, com identificação da participação de representantes de grupos vulneráveis. Deverá haver identificação prévia de grupos vulneráveis e seus representantes, para fins de rastreabilidade.	Trimestral	%	Percentual de decisões tomadas com participação de grupos vulneráveis: [N° de decisões tomadas com participação/N° de decisões totais] x 100%	Estadual
I3	N° de dias necessários para ajuste de política	Atas de reunião do CEEMC-SE e Planos de Ação do GTMC.	Extração de registros administrativos contendo datas de identificação de necessidade de ajuste e de implementação da decisão.	Trimestral	dias	S/F	Estadual

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.3 VALIDAÇÃO E CONTROLE

Após a coleta de dados, torna-se necessário validar as informações com base em critérios objetivos, que permitam assegurar a representatividade, procedência e consistência dos dados obtidos. Nesse sentido, serão detalhados nos tópicos subsequentes os critérios de validação e controle para cada um dos indicadores-chave do sistema MRV, bem como o fluxo de comunicação a ser adotado para assegurar a validação final das informações.

4.3.1 CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO E CONTROLE

Os critérios de qualidade e os procedimentos de validação aplicáveis aos indicadores-chave são apresentados no quadro a seguir, com o objetivo de assegurar a consistência, rastreabilidade e confiabilidade das informações produzidas no âmbito do sistema MRV.

Quadro 9: Critérios de validação e controle dos indicadores-chave

DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
Monitoramento	MO 1	N° de indicadores atualizados bienalmente	Serão contabilizados unicamente os indicadores com atualização validada, passíveis de auditoria por meio da extração direta da plataforma e compatíveis com o painel interno de armazenamento.	Verificação automatizada do status de validação dos indicadores na plataforma; checagem dos logs de atualização; comparação entre os valores do painel interno e da interface pública; teste de extração direta dos dados para fins de auditoria.
	MO 2	N° de estações meteorológicas operacionais	O dado deverá ser proveniente de fonte institucional oficial e estar acompanhado de identificação da estação, coordenadas geográficas, data de instalação e indicação do status operacional. Não deverão ser contabilizados registros duplicados, estações desativadas ou equipamentos sem comprovação de instalação.	Checagem da origem dos dados; verificação da abrangência das informações; análise automática de duplicidades; verificação da presença de documentação comprobatória.
	MO 3	Situação do portal clima.se.gov.br (Não operacional/Operacional)	A apuração deverá se basear em logs automáticos, rastreáveis e auditáveis, gerados por ferramenta confiável de monitoramento. Para isso, recomenda-se articulação com a EMGETIS.	Análise de disponibilidade do sistema; verificação da consistência dos registros; validação técnica e operacional da EMGETIS.
	MO 4	N° de Inventários de GEE publicados	Somente deverão ser contabilizados os Inventários de GEE devidamente concluídos, publicados e disponíveis para download na Plataforma de Transparência Climática.	Verificação da publicação na plataforma; teste de disponibilidade para download; conferência da integridade dos documentos; validação do atendimento do inventário conforme padrões metodológicos adotados, em articulação com o Painel Científico.
	MO 5	N° de verificações externas	Somente serão contabilizados relatórios devidamente concluídos e acompanhados de certificação vigente pelo INMETRO.	Verificação da existência e vigência da certificação; conferência do relatório.
	MO 6	N° de pontos conforme nota metodológica	A pontuação registrada deverá corresponder exatamente ao valor constante em documento oficial, vigente e publicamente verificável.	Conferência da pontuação em documento oficial publicado; verificação da vigência da nota metodológica.

DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
		(Escala Brasil Transparente)		
Governança	G1	N° de Planos Municipais elaborados	Os Planos Municipais serão contabilizados somente após a publicização do documento pelos Municípios e previsão de vigência em atos normativos.	Verificação da publicação oficial do plano; conferência da autenticidade do documento; validação da vigência.
	G2	N° de Comitês Municipais criados e ativos	Deverão apresentar ato de criação, composição definida e evidência de funcionamento (ex.: atas recentes). Comitês inativos ou sem comprovação não devem ser contabilizados.	Conferência do ato normativo de criação; verificação de atas recentes que comprovem funcionamento; análise da periodicidade das reuniões; exclusão de comitês inativos ou sem comprovação.
	G3	N° de reuniões do CEEMC-SE realizadas no período	Nas atas, deverão constar data, participantes e pauta, bem como registros fotográficos (são admitidas capturas de tela) para comprovação.	Conferência das atas de reunião; verificação da completude das informações obrigatórias; checagem de anexos comprobatórios.
	G4	N° de reuniões do GTMC + Secretaria Executiva realizadas no período	Nas atas, deverão constar data, participantes e pauta, bem como registros fotográficos (são admitidas capturas de tela) para comprovação.	Verificação das atas e listas de presença; conferência da consistência das datas e participantes; validação dos registros anexos; eliminação de duplicidades.
	G5	N° de gestores estaduais/municipais capacitados	Deverá haver lista nominal, acompanhada de identificação institucional e comprovação da capacitação (certificado ou registro oficial). Evitar duplicidade de participantes.	Conferência das listas de presença; verificação da autenticidade dos certificados ou registros; validação da vinculação institucional dos participantes; eliminação de registros duplicados.
	G6	N° de Municípios com Planos Diretores que contemplem a dimensão climática	Deverão ser observados critérios objetivos, como: ● Previsão normativa, isto é, a menção a um dispositivo legal que aborde a temática de mudanças climáticas; ● Diretrizes e objetivos que contemplem a dimensão climática.	Análise técnica do conteúdo dos Planos Diretores; verificação da presença de dispositivos relacionados à temática climática.
	G7	N° de consultas periódicas realizadas no período	Para que a consulta seja contabilizada, deverá estar acompanhada de lista de presença, pauta, data e transcrição do áudio.	Verificação da presença dos anexos obrigatórios.

DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
	G8	N° de conferências realizadas no período	Para que a conferência seja contabilizada, deverão constar em anexo as listas de presença (com identificação dos delegados), ata que contenha as deliberações, data e transcrição do áudio.	Conferência das listas de presença e da clara identificação dos delegados; verificação de deliberações e data na ata; conferência da transcrição de áudio.
	G9	N° de câmaras temáticas em operação	Somente serão contabilizadas as Câmaras Temáticas que produzirem atas de reunião na periodicidade definida pelo PEMAMC-SE.	Verificação das atas de reunião; análise de conformidade com a periodicidade definida.
	G10	N° de consórcios intermunicipais criados	Somente deverão ser contabilizados os consórcios intermunicipais com contrato de consórcio e com composição e finalidade definidas, previstas em atos normativos.	Conferência dos atos constitutivos; verificação da publicação oficial e validação da composição dos consórcios.
	G11	% de representação não-governamental nas instâncias de governança climática	Deverá haver lista atualizada de membros e classificação clara por categoria (governamental/não governamental). Mudanças na composição deverão ser registradas com data e versão.	Conferência das listas de composição das instâncias; verificação da classificação dos membros (governamental/não governamental); análise das atas de reunião; validação da consistência dos registros institucionais.
Mitigação	M1	Emissões totais GEE ($MtCO_2e$/ano)	Somente serão contabilizados os Inventários de GEE devidamente publicados, e elaborados com metodologia reconhecida (IPCC), com registro das memórias de cálculo e fatores de emissão utilizados. Além disso, deverá ser verificada a disponibilidade para download do documento.	Verificação da publicação do inventário na plataforma; conferência da metodologia adotada (aderência ao IPCC) por parte do Painel Científico; análise das memórias de cálculo e fatores de emissão; teste de disponibilidade para download.
	M2	Potência de geração de energia solar	Os dados deverão ser provenientes de fonte oficial, atualizados, sem duplicidade e compatíveis com bases nacionais.	Conferência da fonte de dados; verificação automática de duplicidades; análise de compatibilidade com fontes nacionais.
	M3	Área restaurada acumulada (ha)	As áreas deverão possuir comprovação geoespacial, relatórios técnicos de acompanhamento e ausência de sobreposição.	Análise geoespacial das áreas declaradas; verificação da existência de relatórios técnicos; aplicação de ferramentas SIG para identificação de sobreposição.

DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
	M4	Hectares de fragmentos de vegetação nativa suprimidos ilegalmente	Somente serão registradas as áreas que contenham o dado geoespacial e ausência de Autorização de Supressão Vegetal – ASV na plataforma.	Verificação da correspondência entre polígonos geoespaciais e alertas (ex.: PRODES/DETER); conferência da vinculação ao código do alerta; ausência de Autorização de Supressão Vegetal – ASV vinculada.
	M5	N° de veículos elétricos	Os dados deverão ser provenientes de registro oficial, atualizados, sem duplicidade e com classificação clara do tipo de veículo.	Conferência da fonte de dados; verificação data de atualização cadastral; análise automática de duplicação; validação da classificação dos veículos.
	M6	Área com implantação de sistemas ILPF	As áreas deverão possuir comprovação técnica e geoespacial, ausência de sobreposição e validação pela EMDAGRO.	Análise de dados geoespaciais das áreas implantadas; verificação de relatórios técnicos de campo; aplicação de ferramentas SIG para identificação de sobreposição; validação institucional junto à EMDAGRO.
	M7	N° de biodigestores	Os registros deverão conter comprovação de instalação, localização identificada, status operacional e ausência de duplicidade.	Conferência documental da instalação dos equipamentos; verificação da localização georreferenciada; validação do status operacional; aplicação de rotinas de eliminação de duplicidades.
	M8	% de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos	Os dados deverão possuir consistência entre geração e destinação, rastreabilidade das fontes e ausência de estimativas não comprovadas.	Conferência dos dados de geração e destinação; verificação da rastreabilidade das informações; análise de consistência dos volumes reportados; exclusão de estimativas sem comprovação.
Adaptação	A1	Vulnerabilidade climática (% pop.)	Os dados que subsidiarão o método de coleta deverão ser provenientes de fontes oficiais, sendo obrigatório que a metodologia esteja explicitamente descrita em documento técnico, incluindo a definição das variáveis, das bases de dados utilizadas e sua compatibilidade com o estudo desenvolvido no	Verificação da metodologia aplicada; conferência das bases de dados utilizadas; validação da consistência dos cálculos; validação técnica pelo Painel Científico.

DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
			Produto 2.2, ou, alternativamente, a apresentação de justificativa técnica para eventuais alterações.	
	A2	N° de mortes evitáveis por ondas de calor	Os dados deverão ser provenientes de sistemas oficiais de saúde, atualizados, com identificação da causa associada a eventos de calor e metodologia clara para estimativa de evitabilidade.	Validação das fontes de dados; conferência das causas de mortalidade; cruzamento com eventos de calor extremo; revisão técnica por especialistas das Câmaras Temáticas e do Painel Científico (CT de Saúde e Clima e especialistas em saúde pública e epidemiologia ambiental).
	A3	% da população com acesso a água	Os dados deverão ser provenientes de fontes oficiais, atualizados, sem duplicidade e com definição clara do conceito de "acesso", garantindo compatibilidade com bases nacionais.	Conferência das fontes de dados; verificação da consistência entre as fontes; eliminação de duplicidades.
	A4	Área de manguezais restaurados	As áreas deverão possuir comprovação geoespacial, relatórios técnicos de restauração, ausência de sobreposição entre polígonos e validação por órgão ambiental competente.	Análise geoespacial das áreas restauradas; verificação dos relatórios técnicos; aplicação de ferramentas SIG para identificação de sobreposição; validação institucional junto à ADEMA; conferência da coerência entre dados espaciais e relatórios.
	A5	% de UBS climatizadas	Os dados deverão ser provenientes de registros oficiais das Secretarias de Saúde, contendo identificação das unidades, comprovação da climatização, status operacional e ausência de duplicidade.	Conferência das listas de UBS; verificação da comprovação da climatização; eliminação automatizada de duplicidades.
	A6	Perdas hídricas (%)	Os dados deverão ser provenientes de concessionárias de abastecimento, com consistência entre volumes produzidos e faturados, rastreabilidade das informações e ausência de estimativas não comprovadas.	Conferência das fontes de dados; verificação da consistência entre produção e faturamento; validação cruzada entre bases de dados; exclusão de dados inconsistentes ou não rastreáveis.
Financiamento Climático	F1	Situação da capitalização do FEMC-SE (Não	A atualização do status operacional deve ser subsidiada por registros administrativos oficiais, com informações rastreáveis, auditáveis e consistentes com	Verificação documental da regulamentação do fundo; conferência da existência de dotação orçamentária e movimentação

DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
		operacional/Operacional)	os sistemas de gestão orçamentária do governo estadual.	financeira nos sistemas oficiais; validação da consistência das informações junto à SEFAZ.
	F2	N° de projetos externos aprovados	Serão contabilizados apenas projetos formalmente aprovados, com documentação comprobatória da aprovação, identificação da fonte financiadora, valor aprovado e vínculo com ações climáticas.	Conferência dos documentos de aprovação (contratos, termos de compromisso ou equivalentes); verificação da fonte financiadora; validação da vinculação do projeto à agenda climática; eliminação de duplicidades.
	F3	Taxa de execução orçamentária (%)	Os dados deverão ser provenientes de sistemas oficiais de execução orçamentária, com consistência entre valores empenhados, liquidados e pagos, rastreabilidade das informações e ausência de divergências entre bases institucionais.	Verificação da fonte de dados; análise de consistência entre as etapas da despesa; validação cruzada dos relatórios financeiros das instituições pertinentes.
	F4	% de fontes de recurso não-estaduais	Os dados deverão apresentar identificação clara da origem dos recursos, com classificação padronizada das fontes (estaduais e não -estaduais) e rastreabilidade financeira.	Conferência da classificação das fontes; verificação da rastreabilidade das informações.
	F5	Índice de custo-efetividade das medidas de mitigação (R$/tCO2e)	Os dados financeiros deverão ser provenientes de registros oficiais da Unidade de Gestão de Projetos, contendo a discriminação dos gastos realizados com medidas de mitigação, com rastreabilidade orçamentária e ausência de duplicidades. As reduções de emissões deverão ser oriundas dos Inventários Bienais de GEE, após a aprovação do documento.	Validação das fontes de informações; verificação da abrangência dos registros financeiros; conferência da aprovação do Inventário de GEE; validação técnica por parte do Painel Científico.
	F6	% de investimento para populações vulneráveis	Os dados deverão ser provenientes de registros oficiais de investimentos, com identificação clara dos recursos aplicados e sua vinculação territorial. A classificação das populações vulneráveis deverá estar baseada no indicador A1 (Vulnerabilidade climática), atualizado e metodologicamente consistente. Deverá haver	Atualização e validação prévia do indicador A1; verificação das fontes de dados; conferência da rastreabilidade das informações financeiras.

DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
			rastreabilidade dos investimentos direcionados aos municípios identificados como vulneráveis.	
Justiça Climática	J1	% dos recursos de adaptação destinados a populações vulneráveis	Os dados financeiros deverão ser provenientes de registros oficiais da Unidade de Gestão de Projetos, contendo a identificação das ações, valores investidos, período de execução e populações beneficiadas. Deverão estar vinculados exclusivamente a ações de adaptação climática e apresentar correspondência territorial com os locais classificados como vulneráveis com base no indicador A1.	Conferência documental dos investimentos (contratos, empenhos e relatórios de execução); cruzamento entre os territórios beneficiados e os classificados como vulneráveis (A1); verificação da consistência com registros orçamentários oficiais.
	J2	Mortalidade por calor de populações de baixa renda em relação à Mortalidade por calor de populações de alta renda	Os dados deverão ser oriundos de bases de dados oficiais, bem como passíveis de rastreio. Deverá ser realizado o comparativo dos dados de saúde com eventos de calor extremo.	Verificação da origem dos dados de saúde e socioeconômicos; análise da consistência estatística de séries históricas de temperatura do ar com os dados obtidos.
	J3	% de agricultores familiares com seguro-safra	Os dados deverão ser provenientes de bases oficiais, com identificação dos beneficiários, comprovação da vigência do seguro e avaliação da qualificação dos beneficiados como agricultores familiares. Além disso, deverão estar atualizados e sem duplicidades.	Conferência da origem dos dados; verificação da elegibilidade dos beneficiários; checagem da vigência do benefício.
	J4	% de representação feminina nas instâncias de governança climática	Os dados deverão refletir a composição atualizada das instâncias formais de governança, com base em registros institucionais oficiais. Deverão considerar apenas membros ativos, com identificação adequada e atualização mínima trimestral.	Conferência de listas oficiais emitidas pelas instâncias climáticas; checagem da participação efetiva das participantes listadas.
	J5	% de territórios quilombolas regularizados	Os dados deverão ser provenientes de bases oficiais, com comprovação de regularização por ato administrativo válido e delimitação territorial. Apenas territórios com processo concluído deverão ser considerados, com registros atualizados e georreferenciados.	Verificação dos atos de regularização; conferência dos dados georreferenciados na base de dados oficiais; análise comparativa dos atos com os dados geoespaciais disponibilizados.

DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
	J6	N° de sistemas solares em habitações de baixa renda	A validade dos dados deverá ser confirmada por meio de relatórios comprobatórios de instalação dos sistemas. Além disso, deverão ser utilizados critérios objetivos de classificação das habitações de baixa renda com base na renda familiar.	Conferência dos documentos comprobatórios de instalação dos sistemas; verificação do enquadramento das habitações beneficiadas com a classificação de renda.
	J7	N° de moradias precárias adaptadas para calor	Os dados deverão ser provenientes de programas habitacionais ou de adaptação climática, com definição clara dos critérios de "adaptação para calor", identificação das unidades beneficiadas e comprovação das intervenções realizadas. As informações deverão ser comprovadas por meio de relatórios técnicos, a fim de assegurar o rastreio das informações.	Conferência dos documentos comprobatórios das intervenções; inspeção in loco das adaptações (quando necessária).
	J8	N° de empregos verdes gerados	Os dados deverão ser provenientes de bases institucionais relacionadas a emprego e renda, com definição padronizada do conceito de "emprego verde", identificação dos setores envolvidos e rastreabilidade das contratações.	Conferência das bases oficiais e origem dos dados utilizados; verificação da aderência das atividades ao conceito de "emprego verde".
Integração Sistêmica	I1	% de ações com benefícios em múltiplos eixos	As informações deverão ser rastreáveis por meio dos relatórios de execução das ações implementadas no PEAC/SE. A definição da classificação de uma ação com "benefícios em múltiplos eixos" deverá considerar os conceitos estabelecidos para cada dimensão climática, atribuídos no PEMAMC-SE.	Análise crítica dos critérios que permitiram a classificação das ações; comparativo entre as ações que constam nos relatórios de execução com os instrumentos de planejamento (PEMAMC-SE e Planos de Ação).
	I2	% de decisões tomadas com participação de grupos vulneráveis	Somente serão aceitas decisões que constam em registros formais de conferências, consultas públicas e reuniões. Os registros incluem transcrições de áudio e listas de presença, com a definição clara e prévia do conceito de "grupos vulneráveis" para a sua identificação prévia.	Conferência da validade das atas e listas de presença; análise técnica do critério de classificação de participantes como pertencentes a "grupos vulneráveis".

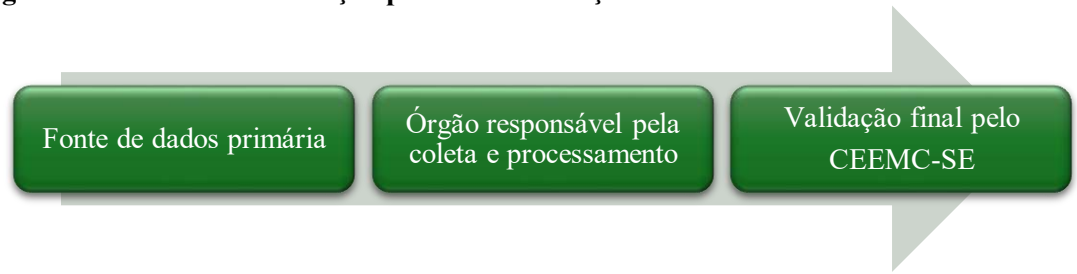
DIMENSÃO	#	INDICADOR-CHAVE	CRITÉRIOS DE QUALIDADE	PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO
	I3	N° de dias necessários para ajuste de política	Deverão ser considerados unicamente os ajustes formalizados por meio de instrumentos oficiais, tais como Planos de Ajustes ou Planos de Ação. Esses documentos deverão conter a data de aprovação devidamente registrada.	Conferência da aprovação dos instrumentos de ajuste de política; checagem da consistência da data registrada nos instrumentos com os registros administrativos (atas) emitidos.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.3.2 FLUXO DE COMUNICAÇÃO

Os indicadores-chave deverão passar por um fluxo de comunicação específico, conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxo de comunicação para a consolidação final dos indicadores-chave



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Dessa forma, o fluxo de comunicação se inicia com a geração de dados brutos pelas fontes primárias, que incluem sistemas administrativos de órgãos setoriais, federais, medições em campo, sensoriamento remoto ou outras modalidades de levantamento. Essa obtenção poderá ocorrer de maneira ativa, isto é, com a integração de sistemas administrativos ou o envio de dados pelas fontes oficiais, ou passiva, que ocorre por ação do órgão responsável pela coleta e processamento.

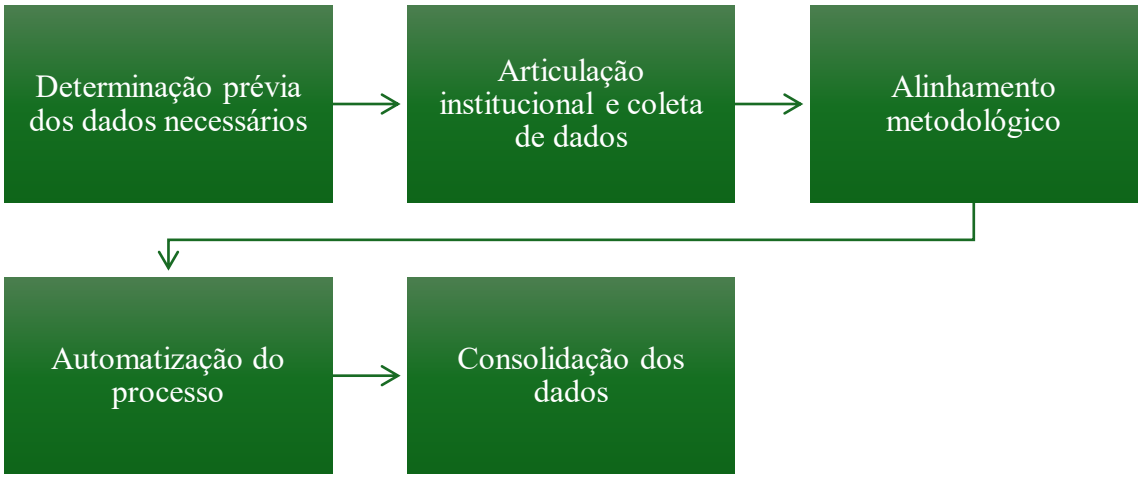
Em seguida, os dados são repassados para o órgão responsável, que deverá analisar o atendimento aos critérios de qualidade dos dados recebidos. Por meio de dados válidos, deverá calcular os indicadores-chave através de fórmulas (quando couber) ou outras formas de contabilização. Os órgãos responsáveis por cada indicador-chave foram definidos no Produto 3.1, que contempla a modelagem do sistema MRV.

Por fim, os indicadores-chave calculados são apresentados trimestralmente ao Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas (CEEMC-SE), através de apresentação de slides e um documento sintético.

5 PROCEDIMENTOS DE COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS PARA OS INVENTÁRIOS DE GEE

A elaboração bienal dos Inventários de Gases do Efeito Estufa (GEE) deverá considerar o processo geral estabelecido na Figura 2. Nota-se, através da ilustração, a importância da governança climática para o desenvolvimento do documento, uma vez que a disponibilidade de informações oriundas dos órgãos federais e estaduais pertinentes será fundamental para o alinhamento metodológico.

Figura 2: Processo geral de elaboração dos Inventários de GEE



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Nos tópicos subsequentes, serão detalhados os procedimentos necessários para o desenvolvimento dos Inventários de GEE.

5.1 DETERMINAÇÃO PRÉVIA DOS DADOS NECESSÁRIOS

O Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC), composto pelos órgãos setoriais e pela Secretaria Executiva do PEAC/SE, deverá realizar a definição preliminar dos dados a serem considerados em cada setor inventariado, em conformidade com as diretrizes metodológicas estabelecidas no IPCC Guidelines (IPCC, 2006) e seu respectivo refinamento (IPCC, 2019). Esse processo compreenderá, ainda, a definição prévia dos gases de efeito estufa a serem incluídos no inventário.

Com vistas ao aprofundamento técnico dessa etapa, o GTMC deverá promover reuniões extraordinárias com a participação de membros das Câmaras Temáticas e do Painel Científico. A contribuição especializada desses atores, aliada ao conhecimento das especificidades setoriais, permitirá o aprimoramento da metodologia preliminar, ao ampliar a robustez, a precisão e o nível de detalhamento do inventário, inclusive por meio da incorporação de novas fontes de emissões e remoções.

5.2 ARTICULAÇÃO INSTITUCIONAL

O primeiro procedimento a ser adotado no âmbito da elaboração do Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) consiste na articulação institucional com os órgãos setoriais que integram o Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC). Essa etapa busca a obtenção de dados específicos para cada setor inventariado, em conformidade com as competências atribuídas a cada órgão.

Ressalta-se que deverão ser obtidos, de maneira imediata, os dados disponíveis em fontes de fácil acesso, e que a articulação institucional se destina a dados que não constam em sistemas administrativos públicos.

O detalhamento desse processo será apresentado no âmbito da modelagem do Plano de Governança Climática, objeto do Produto 4.3 do PEAC/SE. Nesse contexto, os diferentes níveis hierárquicos da governança climática estadual deverão estabelecer fluxos contínuos de comunicação e cooperação institucional, de modo a assegurar a disponibilidade, a consistência e a qualidade dos dados necessários ao aprimoramento da precisão do Inventário de GEE.

5.3 ALINHAMENTO METODOLÓGICO

A abrangência e a especificidade dos dados disponibilizados pelos órgãos estaduais e federais definirão o nível metodológico, ou "Tier", que, segundo a classificação do IPCC, determina o grau de complexidade e precisão dos dados apresentados no Inventário de GEE. Portanto, a articulação institucional torna-se fundamental para o procedimento de definição metodológica.

Novamente, o processo de alinhamento metodológico por parte do GTMC deverá ser realizado em parceria com as Câmaras Temáticas e o Painel Científico, que atuarão como instâncias complementares de apoio técnico, quando convocados pelo GTMC ou CEEMC-SE.

5.4 AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO

O quarto processo da inventariação de gases de efeito estufa refere-se à automatização dos cálculos, que corresponde à configuração de planilhas automatizadas destinadas à estimativa das emissões e remoções de GEE. Essas ferramentas deverão incorporar o nível metodológico adotado, as diretrizes do IPCC Guidelines, bem como as especificidades e a disponibilidade de dados de cada setor inventariado.

As planilhas automatizadas deverão ser revisadas com periodicidade bienal, em consonância com o ciclo de elaboração dos Inventários de GEE. Essa estratégia permitirá a atualização contínua das metodologias empregadas e a incorporação de inovações técnicas e científicas no processo de inventariação, oriundas do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC), das Câmaras Temáticas e do Painel Científico do PEAC/SE em seus encontros periódicos.

5.5 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS

Após a inserção dos dados e cálculo automatizado das emissões e remoções por setor, os dados preliminares, acompanhados das planilhas automatizadas, deverão ser validados pelo Painel Científico do PEAC/SE, que emitirá um Parecer Técnico acerca dos resultados e eventuais ajustes necessários.

Com a aprovação do Painel Científico, o Inventário de GEE deverá ser apresentado ao CEEMC-SE, que também deverá emitir parecer acerca da aprovação, ou não, do documento, mediante a realização de reunião extraordinária. Mediante a aprovação do Inventário, procede-se à sua publicização na Plataforma de Transparência Climática.

Ressalta-se que o documento deverá passar por revisão final no ano seguinte, por meio de auditoria independente, devidamente certificada pelo INMETRO, conforme destacado no tópico 7.1.2.

6 PROCEDIMENTOS DE REPORTE E TRANSPARÊNCIA

Os procedimentos de reporte e transparência do Sistema MRV são estruturados a partir da elaboração de relatórios periódicos e da operacionalização da Plataforma de Transparência Climática. Por meio desses instrumentos, busca-se assegurar a sistematização, a divulgação e o acesso público às informações, permitindo a apresentação dos resultados alcançados no âmbito do PEAC/SE aos órgãos de governança, controle e à sociedade.

A seguir, são detalhados os procedimentos específicos associados a cada uma dessas vertentes.

6.1 ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS PERIÓDICOS

Para fins de reporte de progresso da implementação do PEAC/SE, deverão ser produzidos relatórios periódicos. Esses documentos apresentam, de forma geral, a atualização dos indicadores-chave e, por consequência, o progresso no cumprimento das metas definidas no PEMAMC-SE. São previstos dois relatórios com periodicidades distintas para o reporte de progresso: trimestral e anual.

A elaboração do Relatório Trimestral deverá ser realizada por meio das seguintes etapas:

- Atualização da base de indicadores, com a utilização do último valor para os indicadores que possuem periodicidade maior;

- Análise comparativa com as metas correlatas, com a identificação de desvios e tendências;
- Elaboração do Relatório Trimestral de Reporte de Progresso, que apresente, no mínimo, as seguintes informações:
    - Resultados dos indicadores-chave;
    - Desempenho das metas climáticas;
    - Resumo das ações previstas no PEMAMC-SE efetivamente executadas no período;
    - Recomendações técnicas para ajustes operacionais.
- Realização de revisão e validação institucional, mediante encaminhamento do relatório, bem como preparação e apresentação de material expositivo aos membros do CEEMC-SE;
- Publicização das informações e do relatório na Plataforma de Transparência Climática.

Os Relatórios Anuais deverão observar os mesmos procedimentos estabelecidos para os relatórios trimestrais, sendo, entretanto, acrescidos, nos anos pares, dos resultados dos Inventários Bienais de Gases de Efeito Estufa (GEE), com a correspondente atualização das estimativas de emissões e remoções na Plataforma de Transparência Climática. Além disso, deverão apresentar a evolução temporal do desempenho das metas climáticas.

Após a publicização dos documentos na plataforma, deverá ser promovida a sua divulgação por meio dos canais institucionais da SEMAC, incluindo publicações em mídias sociais, de modo a assegurar o amplo acesso às informações pelas partes interessadas.

6.2 OPERACIONALIZAÇÃO DA PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA

O presente tópico tem por objetivo estabelecer os procedimentos necessários para a operacionalização e atualização contínua da Plataforma de Transparência Climática, instrumento central do sistema MRV. A plataforma constitui o principal meio de consolidação, sistematização e divulgação das informações climáticas do Estado.

A operacionalização da plataforma será de responsabilidade do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC), por meio da Secretaria Executiva do PEAC/SE, em especial da Coordenação de Comunicação, em articulação com a Coordenação de Monitoramento e a Coordenação de Articulação Setorial.

6.2.1 ACESSO À PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA

O acesso à plataforma será subdividido entre o externo, realizado pelo público geral, e o interno, que será restrito aos usuários autorizados. Nesse sentido, deverão ser cadastradas, previamente, as credenciais institucionais dos membros do GTMC que farão as atualizações periódicas do sistema. O processo de gerenciamento dos acessos será executado pela Secretaria Executiva do PEAC/SE, através das orientações fornecidas no "Manual de Administração", que consta em anexo. Para fins de segurança, é possível estabelecer permissões distintas para os usuários credenciados, bem como desativar um usuário.

6.2.2 REVISÃO DE METAS CLIMÁTICAS

As metas climáticas disponibilizadas na Plataforma de Transparência deverão ser atualizadas sempre que houver modificações no PEMAMC-SE, seja em decorrência de revisões periódicas ou de deliberações do CEEMC-SE. Por meio do acesso à camada administrativa do sistema, os usuários autorizados poderão realizar a edição dessas metas, devendo ser assegurado o registro automático das informações de atualização, incluindo data, horário e responsável pela modificação, conforme os mecanismos de rastreabilidade previstos no sistema.

6.2.3 ATUALIZAÇÃO DE INDICADORES CLIMÁTICOS

Com a aprovação dos Relatórios Trimestrais de Progresso, os valores associados aos indicadores-chave do sistema MRV deverão ser atualizados na Plataforma de Transparência Climática, de modo a assegurar a transparência quanto ao avanço da implementação do PEAC/SE.

Nos termos do Manual de Administração, que consta em anexo, a Secretaria Executiva do PEAC/SE deverá proceder ao download da planilha modelo disponibilizada no sistema, realizar a devida atualização dos dados dos indicadores-chave e, posteriormente, efetuar sua reimportação na plataforma, garantindo a consistência e a integridade das informações publicadas.

6.2.4 ATUALIZAÇÃO DE ALERTAS

O processo de submissão de alertas deverá ser realizado por representante da Defesa Civil, que deverá possuir o acesso à plataforma de transparência. Os alertas deverão ser integralmente preenchidos quanto às informações mínimas que constam no registro da plataforma, que são:

a) Título: nome do alerta;

b) Tipo: boletim, aviso ou alerta;
c) Tipo de evento: chuva intensa, vendaval, inundação, entre outros;
d) Severidade: nível de severidade do alerta, conforme os padrões nacionais;
e) Data de vigência do alerta: início e fim previsto para o evento;
f) Status: ativo ou expirado, conforme data de vigência.

Os campos para preenchimento constam em formulário visível apenas para a camada administrativa. As demais orientações para o preenchimento constam no Manual de Administração, em anexo.

6.2.5 IMPORTAÇÃO DE PRODUTOS TÉCNICOS

A plataforma contempla uma seção específica destinada à submissão de documentos técnicos elaborados no âmbito do PEAC/SE. Nesse contexto, caberá à Secretaria Executiva do PEAC/SE realizar a inserção do conjunto de produtos técnicos desenvolvidos nos cinco módulos do Plano, bem como das transcrições de áudio e formulários oriundos das consultas públicas, dos relatórios trimestrais e anuais de reporte de progresso, dos relatórios de verificação externa e dos relatórios de revisão quinquenal do sistema MRV.

7 PROCEDIMENTOS DE VERIFICAÇÃO DO SISTEMA MRV

Os procedimentos destinados à avaliação do sistema MRV e, por consequência, do processo de monitoramento da implementação do PEMAMC-SE, foram subdivididos quanto à competência entre: internos e externos. A verificação interna deverá ser executada pela estrutura de governança climática estabelecida no PEMAMC-SE, enquanto a externa compreende a contratação de auditoria independente, devidamente certificada, que realizará a verificação dos produtos técnicos e dados produzidos no âmbito do sistema.

A seguir, serão detalhados os procedimentos técnicos que viabilizarão a realização das verificações internas e externas do sistema MRV.

7.1 VERIFICAÇÃO INTERNA

Para assegurar a melhoria contínua do Sistema MRV, foram estabelecidos procedimentos de verificação interna, que apresentam periodicidade e responsabilidades distintas. A seguir, serão detalhados cada um desses procedimentos.

7.1.1 REVISÃO ANUAL DO SISTEMA MRV

7.1.1.1 Avaliação Interna

A avaliação interna consiste na análise técnica e operacional do desempenho do Sistema MRV, conduzida pela Secretaria Executiva do PEAC/SE, com apoio dos órgãos setoriais integrantes do GTMC, das Câmaras Temáticas e do Painel Científico. Para tanto, a Secretaria Executiva poderá solicitar suporte técnico aos demais níveis hierárquicos, por meio da realização de reuniões extraordinárias e de comunicações formais, incluindo correspondências eletrônicas direcionadas aos respectivos representantes.

Essa avaliação deverá contemplar os seguintes procedimentos mínimos:

a) Verificação da completude dos dados dos indicadores-chave;
b) Análise da consistência e coerência das séries temporais;
c) Identificação de lacunas de dados ou inconsistências metodológicas;
d) Avaliação do cumprimento das periodicidades de atualização;
e) Verificação do funcionamento dos fluxos de coleta, processamento e publicação de dados;
f) Análise da aderência às diretrizes metodológicas adotadas (IPCC e demais referenciais).

7.1.1.2 Consulta a usuários

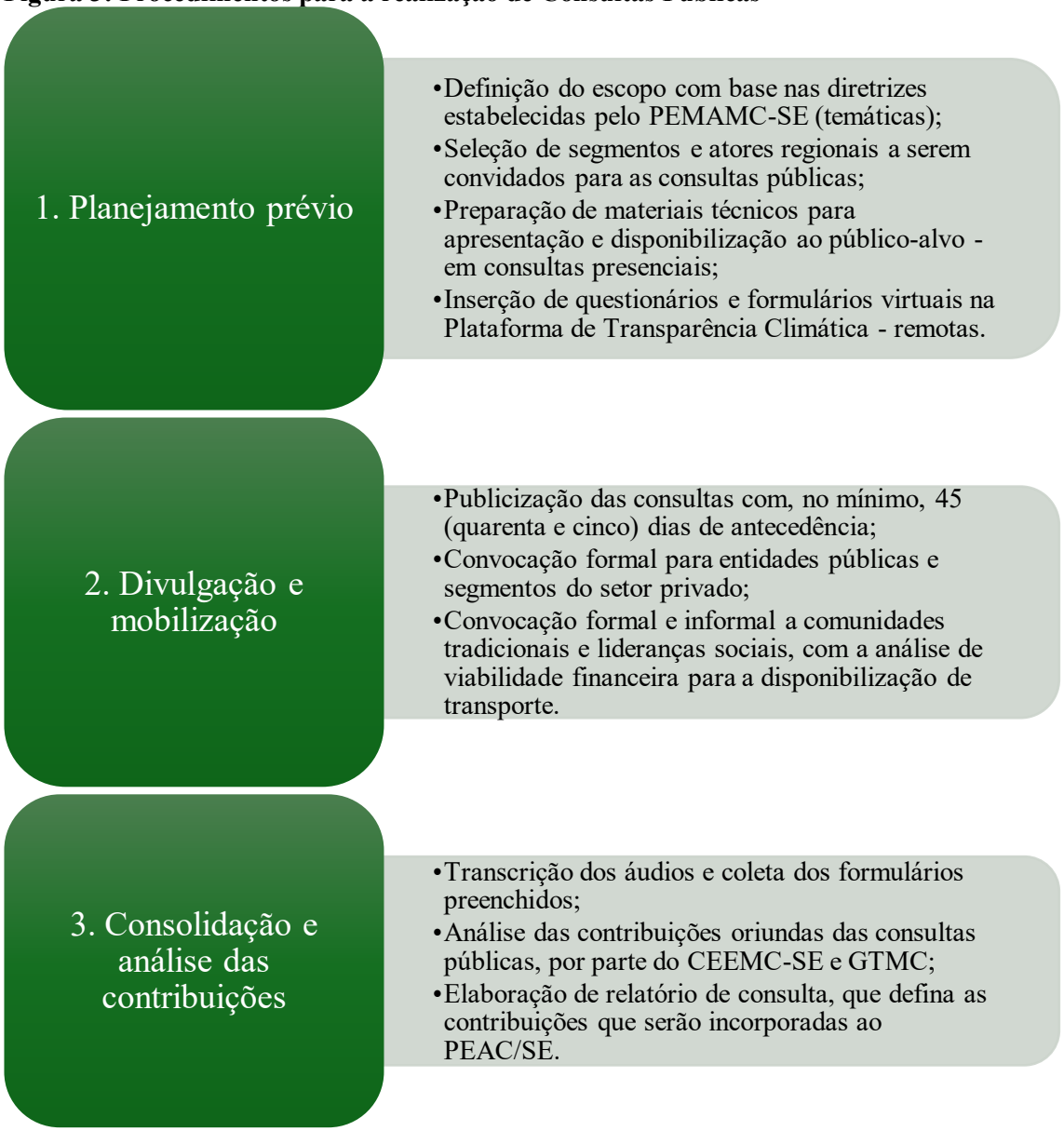
A consulta a usuários deverá ocorrer de maneira contínua, a partir do registro e análise dos formulários preenchidos pelos usuários na Plataforma de Transparência Climática. As contribuições oriundas desses formulários deverão passar pelo seguinte processo de avaliação:

a) Classificação das contribuições quanto ao tipo (proposta de melhoria, crítica, dificuldade de uso, solicitação de dados);
b) Avaliação da relevância técnica das contribuições fornecidas;
c) Produção de relatório sintético (no máximo, 10 páginas) que contemple a consolidação das informações através de infográficos.

7.1.1.3 Consultas públicas

Com periodicidade mínima anual, a Secretaria Executiva do PEAC/SE, sobretudo a Coordenação de Comunicação, deverá organizar consultas públicas que incluam membros da sociedade civil, representantes do setor privado, comunidades tradicionais, lideranças sociais e demais partes interessadas.

Figura 3: Procedimentos para a realização de Consultas Públicas



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Através dessas ações, busca-se assegurar a participação social no processo de revisão anual e quinquenal do sistema MRV.

7.1.1.4 Reunião de avaliação

A reunião de avaliação do sistema MRV, que consolidará as informações adquiridas nas ações anteriores, deverá ser realizada por parte do CEEMC-SE, que deliberará acerca dos ajustes que serão incorporados ao sistema. Essa reunião deverá apresentar a composição mínima de 80% em relação ao número de membros do CEEMC-SE, e deverão estar presentes os membros não governamentais em sua totalidade. Para essa reunião, a Secretaria Executiva do PEAC/SE deverá preparar uma apresentação que

sintetize as informações adquiridas, e apresentá-la ao conselho em tempo não superior a 20 minutos.

Por fim, a reunião de avaliação deverá produzir uma ata que contenha o conjunto de deliberações acerca das informações apresentadas pelo GTMC, que subsidiará a elaboração do Plano de Ajustes, tratado no tópico seguinte.

7.1.1.5 Aprovação e implementação de ajustes

Como resultado das ações de verificação interna do sistema, deverá ser elaborado o Plano de Revisão, documento que consolidará o conjunto de atividades a serem executadas pelo GTMC e pelos demais níveis hierárquicos, com vistas à promoção da melhoria contínua do Sistema MRV. A elaboração do Plano é de responsabilidade da Secretaria Executiva do PEAC/SE e deverá ter como principal insumo a ata da reunião de avaliação, conforme disposto no tópico anterior.

Após sua consolidação, o Plano de Revisão deverá ser encaminhado ao Presidente do CEEMC-SE para apreciação e deliberação, devendo sua aprovação ou rejeição ocorrer no prazo máximo de 30 (trinta) dias.

7.1.2 REVISÃO QUINQUENAL DO SISTEMA MRV

Em consonância com o cronograma de atividades definido no PEMAMC-SE, o sistema MRV deverá ser revisado com periodicidade quinquenal. A revisão deverá ser realizada inicialmente pelo GTMC, sendo aprovada pelo CEEMC-SE. Nos tópicos seguintes, serão apresentados os procedimentos necessários para o desempenho dessa revisão.

7.1.2.1 Verificação do cumprimento dos objetivos definidos para o sistema

Essa atividade contempla a revisão técnica dos objetivos específicos tratados no Produto 3.1, bem como a efetividade das ações realizadas em cumprir as metas de monitoramento definidas no PEMAMC-SE. Deverão ser identificados desvios, avanços e limitações, que serão consolidados no relatório técnico final.

7.1.2.2 Análise de custo-benefício

A análise custo-benefício deverá contemplar os custos associados à implementação das ações climáticas e a operacionalização do sistema MRV. O método de análise deverá ser similar ao definido no Produto 2.2, com os devidos aprimoramentos subsidiados pelos dados concretos. Deverão ser identificadas as ações com maior

eficiência e aquelas com baixa relação de benefício-custo. Os resultados e recomendações para a otimização dos custos deverão ser apresentados no relatório final.

7.1.2.3 Adequação dos indicadores-chave

Com o subsídio das avaliações internas anuais, os indicadores-chave do sistema deverão ser avaliados de acordo com os seguintes critérios:

a) Relevância e representatividade dos indicadores adotados;
b) Identificação dos indicadores com mensuração ineficaz e/ou dificuldade para a obtenção de dados;
c) Compatibilidade dos indicadores com padrões nacionais e internacionais.

Através da análise dos indicadores quanto aos critérios supracitados, deverão ser revisados os protocolos de coleta, cálculo e reporte dos indicadores. Essas recomendações deverão constar no relatório final.

7.1.2.4 Alinhamento com a NDC brasileira

As metas monitoradas no sistema MRV deverão estar continuamente alinhadas à Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, em inglês). Nesse sentido, eventuais modificações na NDC deverão ser incorporadas na revisão quinquenal do sistema MRV, sobretudo no que se refere às metas de mitigação climática. Para eventuais desvios identificados, as recomendações para ajustes deverão ser fornecidas no relatório final.

7.1.2.5 Avaliação de novas tecnologias para incorporação

Para assegurar a melhoria contínua do monitoramento, coleta e processamento de dados, o sistema MRV deverá incorporar eventuais inovações tecnológicas. As inovações sugeridas deverão ser acompanhadas de análises de viabilidade técnica e financeira. As inovações deverão incluir oportunidades de automatização do sistema de monitoramento, integração de APIs, entre outras ferramentas que visem à melhoria da operacionalização do sistema MRV. As recomendações deverão ser incluídas no relatório final.

7.1.2.6 Procedimentos finais

Conforme mencionado anteriormente, os resultados do processo deverão ser consolidados em um Relatório Final de Revisão do Sistema MRV, a ser elaborado com periodicidade quinquenal pela Secretaria Executiva do PEAC/SE. O documento deverá ser submetido à validação técnica do Painel Científico e das Câmaras Temáticas e, posteriormente, à apreciação e aprovação do CEEMC-SE.

Para tanto, os principais resultados e recomendações deverão ser apresentados em reunião extraordinária do CEEMC-SE, com vistas à deliberação do colegiado. Após a aprovação do Relatório, deverá ser iniciada a implementação das ações de melhoria contínua, por meio da elaboração de um Plano de Ajustes, o qual também deverá ser submetido à aprovação do CEEMC-SE.

7.2 VERIFICAÇÃO EXTERNA

A verificação externa do Sistema MRV deverá ser conduzida por entidade independente e certificada, com o objetivo de assegurar a conformidade metodológica, a confiabilidade dos dados e a aderência às diretrizes nacionais e internacionais aplicáveis. Nesse contexto, os subitens abaixo buscam apresentar o detalhamento dos procedimentos inerentes ao processo de verificação externa.

7.2.1 CONTRATAÇÃO DE AUDITORIA INDEPENDENTE E CERTIFICADA

A auditoria independente que realizará a verificação externa deverá ser contratada em conformidade com o seguinte rito:

a) Elaboração de Termo de Referência, com o detalhamento dos critérios a serem considerados na verificação externa;
b) Seleção da auditoria independente, por meio de processo de contratação em consonância com as normativas legais aplicáveis e com a verificação da acreditação da auditoria;
c) Formalização do contrato, que inclua o escopo e o cronograma de entregáveis;
d) Designação de pontos focais na Secretaria Executiva do PEAC/SE para interlocução com a auditoria.

7.2.2 REUNIÃO DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E NÃO CONFORMIDADES

Com a conclusão do Relatório de Verificação Externa por parte da auditoria, deverá ser solicitada a realização de reunião destinada à apresentação dos resultados e inconformidades identificadas. Para a realização da reunião, deverão ser executados os seguintes procedimentos:

a) Convocação da reunião, por parte do GTMC, que contemple membros de todos os níveis hierárquicos do PEAC/SE (GTMC, Câmaras Temáticas, Painel Científico e CEEMC-SE). Deverão comparecer, ao menos, 2 representantes de cada nível hierárquico;
b) Apresentação dos resultados obtidos por parte da auditoria independente;
c) Registro formal da reunião de apresentação;

d) Classificação das inconformidades em relação ao grau de criticidade, para subsidiar a priorização de ajustes.

7.2.3 PLANEJAMENTO DA REVISÃO E AJUSTES DO SISTEMA MRV

A partir da reunião de apresentação e da classificação das inconformidades, a Secretaria Executiva do PEAC/SE deverá propor um Plano de Ajustes, o qual deverá ser incorporado às revisões anuais e quinquenais do sistema MRV (quando couber). O Plano de Ajustes deverá ser considerado, ainda, para a revisão da metodologia do Inventário de GEE. Por fim, o Plano de Ajustes deverá ser encaminhado ao Presidente do CEEMC-SE para a sua aprovação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste documento buscou-se apresentar o conjunto de procedimentos necessários para o monitoramento contínuo das ações realizadas no âmbito do PEAC/SE. Por essa razão, foram contemplados os três componentes do sistema MRV: o monitoramento, o relato e a verificação.

Dado o vínculo entre o Manual de Procedimentos e o sistema MRV, sua revisão deverá ocorrer de forma periódica e alinhada ao ciclo de revisão do próprio sistema, previsto, conforme o Produto 2.1, para ocorrer a cada cinco anos. Nesse processo, a atualização do manual deverá incorporar, de maneira contínua, inovações tecnológicas aplicáveis aos procedimentos de coleta e processamento de dados, bem como eventuais integrações via APIs na Plataforma de Transparência Climática, quando pertinentes.

A aplicação sistemática dos procedimentos aqui estabelecidos permitirá aos órgãos envolvidos na implementação do PEAC/SE acompanhar de forma estruturada a evolução do Plano, subsidiando a tomada de decisão e contribuindo para a efetividade das ações voltadas à mitigação e adaptação às mudanças climáticas no Estado de Sergipe.

9 REFERÊNCIAS

- BRASIL. Decreto Federal n° 9.073, de 5 de junho de 2017. Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2017.
- FIA. Fundação Instituto de Administração. Produto 2.1: Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas – PEMAMC-SE. São Paulo, SP, 2026.
- FIA. Fundação Instituto de Administração. Produto 3.1: Modelagem do Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV). São Paulo, SP, 2026.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IGES, 2006.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IGES, 2019.
- SERGIPE. Lei Estadual n° 9.364, de 05 de janeiro de 2024. Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe – PEMC/SE, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de Sergipe, Aracaju, SE, 2024.

10 ANEXOS

10.1 ANEXO I – MANUAL DE ADMINISTRAÇÃO

O presente documento foi complementado por um manual que visa à operação da Plataforma de Transparência Climática, por parte da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e demais órgãos setoriais envolvidos, denominado “Manual de Administração”.

Nesse sentido, o manual atuará como guia para a atualização de indicadores-chave, do quantitativo de emissões, do progresso das metas, entre outras ferramentas desenvolvidas no âmbito da Plataforma de Transparência Climática.

O documento será disponibilizado, digitalmente, à SEMAC, e deverá ser direcionado ao consumo interno por parte dos usuários administrativos da plataforma.

11 LISTA DE SIGLAS

- ADEMA – Administração Estadual do Meio Ambiente
- CEEMC-SE – Comitê Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas
- CGE – Controladoria-Geral do Estado
- CGU – Controladoria-Geral da União
- CODERSE – Companhia de Desenvolvimento Regional de Sergipe
- DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
- DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe
- EMDAGRO – Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- FIA – Fundação Instituto de Administração
- GTMC – Grupo Técnico de Mudanças Climáticas
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- MRV – Monitoramento, Relato e Verificação
- PEAC/SE – Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe
- SEAGRI – Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca
- SEDETEC – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia
- SEDURBI – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Infraestrutura
- SEFAZ – Secretaria de Estado da Fazenda
- SEMAC – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas
- SEPLAG – Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão
- SES – Secretaria de Estado da Saúde
- SINISA – Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico

12 LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: FLUXO DE COMUNICAÇÃO PARA A CONSOLIDAÇÃO FINAL DOS INDICADORES-CHAVE 35
FIGURA 2: PROCESSO GERAL DE ELABORAÇÃO DOS INVENTÁRIOS DE GEE 36
FIGURA 3: PROCEDIMENTOS PARA A REALIZAÇÃO DE CONSULTAS PÚBLICAS.....43

13 LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: CLASSIFICAÇÃO DOS INDICADORES-CHAVE E METAS CORRELACIONADAS 8
QUADRO 2: PROTOCOLO PARA A COLETA DE DADOS DOS INDICADORES DE MONITORAMENTO.....12
QUADRO 3: PROTOCOLO PARA A COLETA DE DADOS DOS INDICADORES DE GOVERNANÇA 14
QUADRO 4: PROTOCOLO PARA A COLETA DE DADOS DOS INDICADORES DE MITIGAÇÃO.....16
QUADRO 5: PROTOCOLO PARA A COLETA DE DADOS DOS INDICADORES DE ADAPTAÇÃO 18
QUADRO 6: PROTOCOLO PARA A COLETA DE DADOS DOS INDICADORES DE FINANCIAMENTO CLIMÁTICO..20
QUADRO 7: PROTOCOLO PARA A COLETA DE DADOS DOS INDICADORES DE JUSTIÇA CLIMÁTICA 22
QUADRO 8: PROTOCOLO PARA A COLETA DE DADOS DOS INDICADORES DE INTEGRAÇÃO SISTÊMICA.....24
QUADRO 9: CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO E CONTROLE DOS INDICADORES-CHAVE 26

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Minutas de normativos, documentos, modelos e informações de apoio necessárias para viabilizar a adequação normativa da legislação estadual ao novo modelo de avaliação de desempenho a ser instituído (MRV)
(Produto 3.4)

São Paulo, março/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVO 3

3 PREMISSAS CONCEITUAIS 4

4 ANEXOS 6

4.1 ANEXO I – MINUTA DE INSTITUIÇÃO DO SISTEMA MRV 6

1 APRESENTAÇÃO

O presente Relatório corresponde ao Produto 3.4 do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE), previsto no Contrato nº 08/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração (FIA) e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC).

O documento tem por finalidade apresentar a proposta de estruturação normativa do sistema de Monitoramento, Relato e Verificação PEAC/SE, por meio da definição geral de diretrizes para a organização, gestão e acesso às informações produzidas no âmbito do Plano. Nesse contexto, a minuta insere-se como instrumento complementar ao sistema, ao apresentar uma proposta de ato normativo específico para o modelo de avaliação periódica desenvolvido no Produto 3.1.

Ressalta-se que a elaboração da minuta buscou considerar as disposições da Lei Estadual n° 9.364, de 05 de janeiro de 2024, responsável por instituir a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, bem como as diretrizes apresentadas pelo Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), desenvolvido no Produto 2.1.

2 OBJETIVO

O Produto 3.4 possui como objetivo geral apresentar uma proposta de ato normativo infralegal, vinculado à SEMAC, para a instituição dos objetivos, componentes e responsabilidades do sistema MRV.

Como objetivos específicos da minuta, têm-se:

- Instituir formalmente o Sistema MRV no âmbito da Administração Pública Estadual;
- Estruturar a governança climática necessária à implantação do sistema;
- Definir diretrizes gerais para o monitoramento e a publicidade das informações climáticas;
- Assegurar a compatibilidade do sistema MRV aos marcos nacionais e internacionais pertinentes.

3 PREMISSAS CONCEITUAIS

O Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) constitui o conjunto integrado de procedimentos, instrumentos e estruturas institucionais destinados a mensurar o progresso das políticas climáticas, reportar os resultados obtidos e verificar a conformidade das informações produzidas. Trata-se de mecanismo essencial para a governança climática contemporânea, pois assegura que os compromissos assumidos pelos entes governamentais sejam acompanhados de forma sistemática, transparente e tecnicamente fundamentada, conferindo credibilidade aos relatórios de desempenho e orientando a tomada de decisão estratégica nas diferentes esferas da Administração Pública.

A origem do conceito remonta às negociações multilaterais no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), especialmente a partir das discussões realizadas na 13ª Conferência das Partes (COP-13), realizada em Bali, em 2007, quando o chamado "Plano de Ação de Bali" incorporou formalmente a tríade de MRV como estrutura de responsabilização mútua entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Posteriormente, o Acordo de Paris, adotado na COP-21, em 2015, e ratificado pelo Brasil, consolidou o MRV como pilar central do Marco de Transparência Reforçado previsto em seu Artigo 13, determinando que todas as Partes devem apresentar relatórios de inventário nacional de gases de efeito estufa (GEE) e informações sobre o progresso das Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDC), submetidas a revisões técnicas periódicas. Esse marco internacional estabeleceu os princípios de transparência, completude, comparabilidade, consistência e precisão que passaram a nortear o desenvolvimento dos sistemas MRV em diversas escalas ao redor do mundo — nacional, subnacional e local, incluindo os estados brasileiros comprometidos com o enfrentamento das mudanças climáticas.

No plano nacional, o Brasil estruturou seu sistema de transparência climática a partir da Lei nº 12.187, de 2009, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e foi aprofundado pelo Decreto nº 9.578/2018 e pelas obrigações decorrentes do Acordo de Paris. A publicação dos inventários nacionais de GEE e dos Relatórios de Atualização Bienal ao Secretariado da UNFCCC consolidou a experiência federal que passou a servir de referência metodológica para os estados que, como Sergipe, passaram a desenvolver suas próprias arquiteturas de monitoramento, relato e verificação no âmbito de seus planos estaduais de ações climáticas.

As aplicações do sistema MRV abrangem três funções estruturantes e complementares. A função de monitoramento compreende a coleta sistemática de dados primários e secundários relativos às emissões e remoções de GEE, às vulnerabilidades climáticas e aos indicadores de implementação das políticas públicas, demandando a definição de protocolos metodológicos rígidos, a identificação de fontes primárias confiáveis e o estabelecimento de frequências de atualização compatíveis com os ciclos de planejamento governamental.

A função de relato, por sua vez, traduz os dados coletados em informações estruturadas e acessíveis, disponibilizadas por meio de relatórios periódicos, plataformas digitais interativas e notícias de progresso direcionadas tanto aos decisores públicos quanto à sociedade civil, assegurando que a transparência das informações climáticas se torne um valor intrínseco da governança estadual. Já a função de verificação garante a integridade do sistema por meio de auditorias externas independentes, consultas públicas e revisões de conformidade, com vistas a assegurar que os dados reportados correspondam efetivamente à realidade das emissões e das ações implementadas, conferindo ao sistema o rigor necessário para que suas conclusões sejam reconhecidas nacional e internacionalmente.

No âmbito do Estado de Sergipe, o Sistema MRV ora proposto encontra fundamento jurídico na Lei Estadual nº 9.364, de 05 de janeiro de 2024, que instituiu a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, e dialoga diretamente com o Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), constituindo, em conjunto, o alicerce normativo e técnico sobre o qual se estrutura o Plano Estadual de Ações Climáticas.

Registra-se que a interação entre esses instrumentos assegura a coesão do sistema de governança climática sergipana, orientando a coordenação intersetorial necessária para o alcance das metas de mitigação e adaptação assumidas pelo Estado perante a sociedade e os organismos nacionais e internacionais competentes.

4 ANEXOS

4.1 ANEXO I – MINUTA DE INSTITUIÇÃO DO SISTEMA MRV

PORTARIA SEMAC Nº ___, DE ___ DE _____ DE 2026

A SECRETÁRIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AÇÕES CLIMÁTICAS - SEMAC, no uso das atribuições que lhe são conferidas nos termos do art. 90 da Constituição Estadual e do art. 35, inciso XVI, da Lei nº 9.156, de 08 de janeiro de 2023; e:

CONSIDERANDO que compete à SEMAC a formulação e a gestão da política estadual de mudanças climáticas, conforme o art. 43 da Lei nº 9.364, de 05 de janeiro de 2024;

CONSIDERANDO a necessidade de implementar um sistema robusto para mensurar, reportar e verificar os avanços do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE) e do Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE);

CONSIDERANDO as diretrizes do Artigo 13 do Acordo de Paris e os marcos nacionais de transparência climática;

RESOLVE:

Art. 1º Instituir o Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) das Ações Climáticas do Estado de Sergipe, com o objetivo de operacionalizar a avaliação periódica do progresso das metas de mitigação, adaptação, governança, financiamento e justiça climática.

Art. 2º O Sistema MRV fundamenta-se nos pilares de transparência, integridade técnica, participação social e melhoria contínua, visando subsidiar a tomada de decisões estratégicas do Poder Executivo.

Art. 3º O Sistema MRV é composto pelos seguintes subsistemas integrados:

I. Sistema Integrado de Monitoramento de Emissões e Estatísticas (SISGEE): responsável pela coleta e processamento de indicadores e inventários de gases de efeito estufa (GEE);
II. Sistema de Reporte (Relato): responsável pela consolidação e publicidade das informações;
III. Sistema de Verificação: responsável pela auditoria externa, consultas públicas e revisões de conformidade.

Art. 4º O monitoramento será realizado por meio de 48 indicadores-chave, divididos nas dimensões de Monitoramento, Mitigação, Adaptação, Governança, Financiamento Climático, Justiça Climática e Integração Sistêmica.

Art. 5º A governança do Sistema MRV será exercida em quatro níveis:

I. Nível Deliberativo: Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas (CEEMC-SE);
II. Nível Técnico: Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC) e Secretaria Executiva;
III. Nível Consultivo: Macro-Câmaras Temáticas;
IV. Nível Consultivo-Científico: Painel Científico.

Art. 6º O GTMC será composto pelos representantes titulares e suplentes dos seguintes órgãos e entidades estaduais:

I – Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC, que exercerá a coordenação-geral;

II – Administração Estadual do Meio Ambiente – ADEMA, com atribuições de licenciamento e fiscalização ambiental;

III – Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca – SEAGRI, com atribuições relacionadas à agricultura e pecuária;

IV – Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe – EMDAGRO, com atribuições de assistência técnica e extensão rural;

V – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade – SEDURBI, com atribuições relativas às cidades e infraestrutura;

VI – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia – SEDETEC, com atribuições relativas à indústria e tecnologia;

VII – Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, com atribuições de saneamento básico;

VIII – Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe – CODERSE, com atribuições de irrigação e barragens;

IX – Secretaria de Estado da Saúde – SES, com atribuições de saúde pública;

X – Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão – SEPLAG, com atribuições de planejamento e orçamento;

XI – Secretaria de Estado da Fazenda – SEFAZ, com atribuições de financiamento público;

XII – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura – SEDUC, com atribuições de educação ambiental;

XIII – Empresa Sergipana de Tecnologia da Informação – EMGETIS, com atribuições de tecnologia da informação;

XIV – Defesa Civil do Estado de Sergipe, com atribuições de gestão de riscos;

XV – Polícia Ambiental, com atribuições de fiscalização ambiental;

XVI – Banco do Estado de Sergipe – BANESE, com atribuições de financiamento; e

XVII – Representante das Macro-Câmaras Temáticas, de caráter rotativo, nos termos do art. 34 desta Portaria.

§ 1º Cada órgão ou entidade indicará um representante titular e um suplente, por meio de ato do respectivo dirigente, no prazo de 30 (trinta) dias, contados da publicação desta Portaria.

§ 2º A coordenação-geral do GTMC caberá à SEMAC, que designará o coordenador por meio de portaria.

§ 3º A definição dos órgãos responsáveis pelo monitoramento de cada dado, estatística e indicador-chave do sistema MRV observará as atribuições listadas nos incisos deste artigo.

Art. 7º O GTMC contará com uma Secretaria Executiva, vinculada à SEMAC, responsável pelo apoio técnico-administrativo e pela coordenação operacional das ações do PEAC/SE.

Art. 8º A Secretaria Executiva será composta por até 10 (dez) profissionais dedicados em tempo integral à execução das ações do PEAC/SE, estruturados nas seguintes coordenações:

I – Coordenação de Monitoramento: responsável pela obtenção de dados, atualização dos indicadores de responsabilidade da SEMAC e elaboração do Inventário de GEE, devendo ser composta por 6 (seis) profissionais de caráter multidisciplinar;

II – Coordenação de Articulação Setorial: responsável por coordenar e assegurar o envio de dados e indicadores atualizados pelos demais órgãos estaduais integrantes do GTMC, devendo ser composta por 2 (dois) profissionais; e

III – Coordenação de Comunicação: responsável por assegurar o funcionamento da Plataforma de Transparência Climática, dar publicidade aos relatórios e inventários produzidos e coordenar a participação da sociedade civil no progresso do PEAC/SE, devendo ser composta por 2 (dois) profissionais.

§ 1º A composição recomendada das coordenações da Secretaria Executiva, será definida conforme disposição de membros relatada no Quadro 2 no anexo I deste documento.

§ 2º A Coordenação de Monitoramento deverá ser composta por especialistas de diferentes áreas do conhecimento, de modo a assegurar a cobertura de todos os setores

estabelecidos pelos referenciais metodológicos do IPCC para a elaboração de Inventários de GEE.

§ 3º Os coordenadores serão designados pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas.

Art. 9º O GTMC reunir-se-á trimestralmente, em sessões ordinárias, para coordenar a operacionalização do Sistema MRV, incluindo:

I – elaboração e revisão dos Planos de Ação bienais;

II – Consolidação dos Relatórios Trimestrais e Anuais de Progresso;

III – monitoramento e gestão de riscos associados à implementação das ações climáticas; e

IV – preparação de subsídios técnicos para as deliberações do CEEMC-SE.

§ 1º Reuniões extraordinárias poderão ser convocadas pelo coordenador-geral ou por solicitação de um terço dos membros do GTMC, sempre que demandas urgentes assim o exigirem.

§ 2º Recomenda-se a utilização de dashboards interativos e de sistema informatizado de gestão de projetos para apoiar as atividades do GTMC, assegurando visão integrada e atualizada do status de execução dos Planos de Ação.

Art. 10. O regimento interno do GTMC será elaborado pela Secretaria Executiva, constituída nos termos desta Portaria, e aprovado na primeira reunião ordinária, devendo dispor sobre:

I – quórum de instalação e de deliberação;

II – procedimentos de convocação e pauta;

III – sistemática de votação e registro de decisões; e

IV – demais normas de funcionamento interno.

Seção I – Natureza, Finalidade e Estrutura

Art. 11. As Macro-Câmaras Temáticas são órgãos colegiados de caráter consultivo, integrantes do nível consultivo da governança do PEAC/SE, com a finalidade de elaborar estudos técnicos que subsidiarão a tomada de decisões estratégicas do CEEMC-SE.

Art. 12. São atribuições comuns a todas as Macro-Câmaras Temáticas:

I – elaborar estudos técnicos específicos em suas respectivas áreas de atuação;

II – propor e revisar indicadores, metas setoriais ajustadas e metodologias de monitoramento apropriadas;

III – avaliar a viabilidade técnica e econômica das ações propostas pelos órgãos executores no âmbito do PEAC/SE;

IV – recomendar ajustes nas políticas públicas a partir de evidências científicas;

V – disseminar boas práticas e promover o intercâmbio de experiências setoriais; e

VI – prestar informações e subsidiar as deliberações do CEEMC-SE e do GTMC.

§ 1º As Macro-Câmaras Temáticas poderão ser acionadas extraordinariamente conforme demandas do GTMC ou do CEEMC-SE.

§ 2º Um representante de caráter rotativo das Macro-Câmaras Temáticas participará das reuniões do GTMC, nos termos do art. 34 desta Portaria.

Art. 13. Ficam instituídas as Macro-Câmaras Temáticas conforme Anexo I desta Portaria, com as respectivas coordenações e focos temáticos.

§ 1º A coordenação de cada Macro-Câmara Temática será exercida pelo órgão indicado no Anexo I, que deverá indicar seu representante no prazo de 30 (trinta) dias, contados da publicação desta Portaria.

Art. 14. Cada Macro-Câmara Temática será composta por 8 (oito) a 12 (doze) membros, incluindo:

I – representantes de órgãos e entidades do Poder Executivo estadual relacionados ao tema;

II – representantes de órgãos federais, quando pertinente;

III – representantes de municípios, quando pertinente;

IV – representantes do setor privado relacionado ao tema;

V – representantes de universidades e de instituições de ensino superior e de pesquisa; e

VI – representantes da sociedade civil organizada, assegurada, no mínimo, a representação não-governamental equivalente a 50% (cinquenta por cento) dos membros de cada Macro-Câmara.

§ 1º A composição de cada Macro-Câmara Temática será estabelecida em ato do Secretário de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas, mediante proposta do GTMC.

§ 2º Cada membro deverá indicar um suplente para substituí-lo em seus impedimentos eventuais.

Art. 15. O coordenador de cada Macro-Câmara Temática será indicado pelo GTMC, para mandato de 2 (dois) anos, renovável por igual período.

Parágrafo único. O coordenador presidirá as reuniões da respectiva Macro-Câmara Temática, representando-a perante o GTMC e o CEEMC-SE.

Art. 16. As Macro-Câmaras Temáticas reunir-se-ão bimestralmente, em sessões ordinárias, para o cumprimento de suas atribuições.

§ 1º Reuniões extraordinárias poderão ser convocadas pelo coordenador da respectiva Macro-Câmara, ou por solicitação do GTMC ou do CEEMC-SE, sempre que a matéria exigir análise técnica urgente.

§ 2º As reuniões poderão realizar-se em formato presencial, virtual ou híbrido.

§ 3º As deliberações das Macro-Câmaras Temáticas serão formalizadas em atas e encaminhadas ao GTMC no prazo máximo de 10 (dez) dias úteis após a realização de cada reunião.

Art. 17. Cada Macro-Câmara Temática elaborará seu regimento interno, a ser aprovado na primeira reunião ordinária e homologado pelo GTMC, dispondo sobre quórum, votação, substituição de membros e demais normas de funcionamento.

Art. 18. A Macro-Câmara Temática de Agropecuária, Recursos Naturais e Zonas Costeiras, coordenada pela SEAGRI e pela SEMAC, integra os temas de agropecuária e uso da terra, recursos hídricos e zonas costeiras, e tem por foco os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), os biodigestores, a restauração florestal, o controle do desmatamento, a segurança hídrica, a redução de perdas nos sistemas de abastecimento, a recarga de aquíferos, a conservação de manguezais, o controle da erosão costeira, a pesca artesanal e a adaptação à elevação do nível do mar.

Art. 19. A Macro-Câmara Temática de Energia, Transporte, Resíduos e Economia Circular, coordenada pela SEDETEC, pela SEMAC e pela ADEMA, integra os temas de energia e transporte e de resíduos e economia circular, e tem por foco a geração solar distribuída, a mobilidade elétrica, a eficiência energética, a reciclagem, o aproveitamento energético do biogás, a compostagem e o aprimoramento da gestão de aterros sanitários.

Art. 20. A Macro-Câmara Temática de Adaptação Urbana e Saúde Climática, coordenada pela SEDURBI e pela SES, integra os temas de adaptação urbana e de saúde e clima, e tem por foco a infraestrutura verde, a drenagem urbana sustentável, a habitação resiliente às mudanças climáticas, os sistemas de alerta para eventos de calor extremo, a vigilância epidemiológica e o fortalecimento da infraestrutura de saúde diante dos riscos climáticos.

Art. 21. A Macro-Câmara Temática de Financiamento e Justiça Climática, coordenada pela SEPLAG, pela SEFAZ e pela SEMAC, com participação da sociedade civil, integra os temas de financiamento climático e de justiça climática, e tem por foco a captação de recursos, o acesso a fundos climáticos, o desenvolvimento de instrumentos econômicos, a proteção das populações vulneráveis e das comunidades tradicionais, a promoção da equidade e a incorporação de critérios de justiça climática nos mecanismos de financiamento e na priorização das ações.

Art. 22. Compete ao CEEMC-SE, no âmbito do MRV, a aprovação dos relatórios de progresso trimestrais e anuais, bem como a validação da revisão quinquenal do sistema MRV.

Art. 23. O Painel Científico será formado por 15 (quinze) a 20 (vinte) pesquisadores de instituições parceiras (UFS, IFS, UNIT, FAPITEC, INPE, INMET e EMBRAPA), visando à validação metodológica e ao desenvolvimento de cenários climáticos.

Art. 24. O Inventário Estadual de Gases de Efeito Estufa (GEE) será elaborado bienalmente, em anos pares, seguindo as diretrizes metodológicas do IPCC (2006/2019) e padrões do SEEG.

Art. 25. O inventário deverá contemplar, no mínimo, as emissões de CO_2, CH_4, N_2O, SF_6, HFCs e PFCs, abrangendo os setores de Energia, Processos Industriais (IPPU), Agropecuária, Uso da Terra (LULUCF) e Resíduos.

Art. 26. Para cada indicador do MRV, deverá ser estabelecido um protocolo de coleta contendo definição operacional, fonte primária, método de coleta, frequência de atualização e critérios de qualidade.

Art. 27. A rede estadual de monitoramento meteorológico será expandida para 22 (vinte e duas) estações operacionais, cujos dados deverão ser integrados ao MRV via Sistema Meteorológico de Sergipe (SIMESE).

Art. 28. A SEMAC deverá manter a Plataforma de Transparência Climática (clima.se.gov.br) permanentemente atualizada com dashboards interativos e mapas.

Art. 29. Os Relatórios de Reporte de Progresso serão produzidos trimestralmente (formato sintético) e anualmente (formato consolidado), devendo ser encaminhados ao CEEMC-SE e à Assembleia Legislativa.

Art. 30. A verificação externa por auditoria independente ocorrerá bienalmente, em anos ímpares, para assegurar a conformidade dos inventários e da implementação das metas.

Art. 31. O Sistema MRV passará por uma revisão abrangente a cada 5 (cinco) anos para incorporação de novas tecnologias e avanços científicos recomendados pelo Painel Científico.

Art. 32. Serão realizadas consultas públicas periódicas durante o período de revisão prevista no art. 31 desta Portaria, para assegurar a escuta qualificada da sociedade, especialmente de populações vulneráveis.

Art. 33. Os recursos para a manutenção do Sistema MRV serão provenientes do orçamento da SEMAC, podendo ser suplementados por recursos do Fundo Estadual de Mudanças Climáticas (FEMC-SE) e parcerias externas.

Art. 34. SEMAC designará um representante, em regime de rotatividade, para integrar as Macro-Câmaras Temáticas, com a finalidade de promover o intercâmbio de informações, experiências e progressos. A designação observará critérios institucionais, em consonância com a necessidade de integração junto a cada colegiado.

Art. 35. Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

Aracaju, 31 de março de 2026.

SECRETÁRIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AÇÕES CLIMÁTICAS

ANEXO I

FOCO E COORDENAÇÃO DE CADA MACRO-CÂMARA TEMÁTICA

Quadro 1: Focos e coordenação de cada Macro-Câmara Temática.

MACRO-CÂMARA TEMÁTICA	COORDENAÇÃO	FOCO TEMÁTICO
Macro-Câmara de Agropecuária, Recursos Naturais e Zonas Costeiras	SEAGRI e SEMAC	ILPF, biodigestores, restauração florestal, controle do desmatamento, segurança hídrica, redução de perdas no abastecimento, recarga de aquíferos, conservação de manguezais, controle da erosão costeira, pesca artesanal e adaptação à elevação do nível do mar.
Macro-Câmara de Energia, Transporte, Resíduos e Economia Circular	SEDETEC, SEMAC e ADEMA	Geração solar distribuída, mobilidade elétrica, eficiência energética, reciclagem, aproveitamento energético do biogás, compostagem e aprimoramento da gestão de aterros sanitários.
Macro-Câmara de Adaptação Urbana e Saúde Climática	SEDURBI e SES	Infraestrutura verde, drenagem urbana sustentável, habitação resiliente às mudanças climáticas, sistemas de alerta para eventos de calor extremo, vigilância epidemiológica e fortalecimento da infraestrutura de saúde.
Macro-Câmara de Financiamento e Justiça Climática	SEPLAG, SEFAZ e SEMAC, com participação da sociedade civil	Captação de recursos, acesso a fundos climáticos, desenvolvimento de instrumentos econômicos, proteção das populações vulneráveis e comunidades tradicionais e incorporação de critérios de justiça climática no financiamento e na priorização das ações.

Quadro 2: Composição recomendada para a Secretaria Executiva do Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC/SE

COORDENAÇÃO	N° DE MEMBROS
Monitoramento (MRV)	6
Articulação setorial	2
Comunicação	2

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Relatório Técnico das Atividades relativas à implementação das ações necessárias à instituição do novo modelo de avaliação de desempenho
Produto 3.5

São Paulo, março/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVOS 3

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES EXECUTADAS 4

3.1 APRESENTAÇÃO DA ARQUITETURA CONCEITUAL DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO PERIÓDICA 5

3.2 DEMONSTRAÇÃO DA ATUALIZAÇÃO DE INDICADORES CLIMÁTICOS E APRESENTAÇÃO DE REQUISITOS PARA A ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIOS BIENAIS DE GEE 6

3.2.1 Demonstração prática dos protocolos de gestão dos indicadores-chave 6

3.2.2 APRESENTAÇÃO DE REQUISITOS TÉCNICOS E EXIGÊNCIAS MÍNIMAS PARA A ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIOS BIENAIS DE GEE 7

4 RESULTADOS ALCANÇADOS 8

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 9

6 ANEXOS 10

6.1 APRESENTAÇÃO SOBRE A ARQUITETURA CONCEITUAL DO SISTEMA MRV 10

6.2 PLANILHA DE APRESENTAÇÃO DO PROTOCOLO DE GESTÃO DOS INDICADORES CLIMÁTICOS 10

6.3 APRESENTAÇÃO DO PROTOCOLO DE GESTÃO DOS INDICADORES CLIMÁTICOS 10

6.4 SÍNTESE DAS DIRETRIZES METODOLÓGICAS E REQUISITOS MÍNIMOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE INVENTÁRIOS DE GEE SUBNACIONAIS 10

1 APRESENTAÇÃO

Este Relatório Técnico de Atividades tem por finalidade apresentar o conjunto de ações desenvolvidas no âmbito do Produto 3.5 do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE), intitulado “Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe na implementação das ações necessárias à instituição do novo modelo de avaliação de desempenho”.

O planejamento das atividades de apoio técnico e operacional foi realizado em articulação com os demais produtos do Módulo 3 – Monitoramento, com destaque para o Produto 3.1, que estabelece o modelo de avaliação periódica do PEAC/SE, e para o Produto 3.3, que consolida o Manual de Procedimentos para o monitoramento contínuo das ações climáticas.

Nesse sentido, as atividades de apoio técnico e operacional foram integralmente subsidiadas pelos demais documentos elaborados no âmbito do Módulo 3, em especial pelo Produto 3.1, tendo como base as diretrizes, estruturas e procedimentos de monitoramento, reporte e verificação neles estabelecidos, bem como os requisitos mínimos definidos para a coleta, o processamento e a validação dos dados.

No que se refere às atividades relacionadas à elaboração do Inventário Bienal de Gases de Efeito Estufa (GEE), observou-se o alinhamento às diretrizes metodológicas estabelecidas no Produto 1.3 – Inventário Estadual de GEE, que define as bases técnicas para a quantificação de emissões e remoções.

Dessa forma, o presente documento apresenta as ações realizadas no âmbito do apoio técnico e operacional voltado à preparação para a implementação do sistema de avaliação periódica, bem como os resultados obtidos a partir da execução dessas atividades.

Ressalta-se que o Produto 3.5 integra o conjunto de documentos e relatórios técnicos previstos no Contrato n° 08/2025, firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e a Fundação Instituto de Administração (FIA) para o desenvolvimento do PEAC/SE.

2 OBJETIVOS

O Produto 3.5 apresenta como objetivo geral a capacitação institucional da SEMAC para a implementação das ações necessárias à instituição do novo modelo de

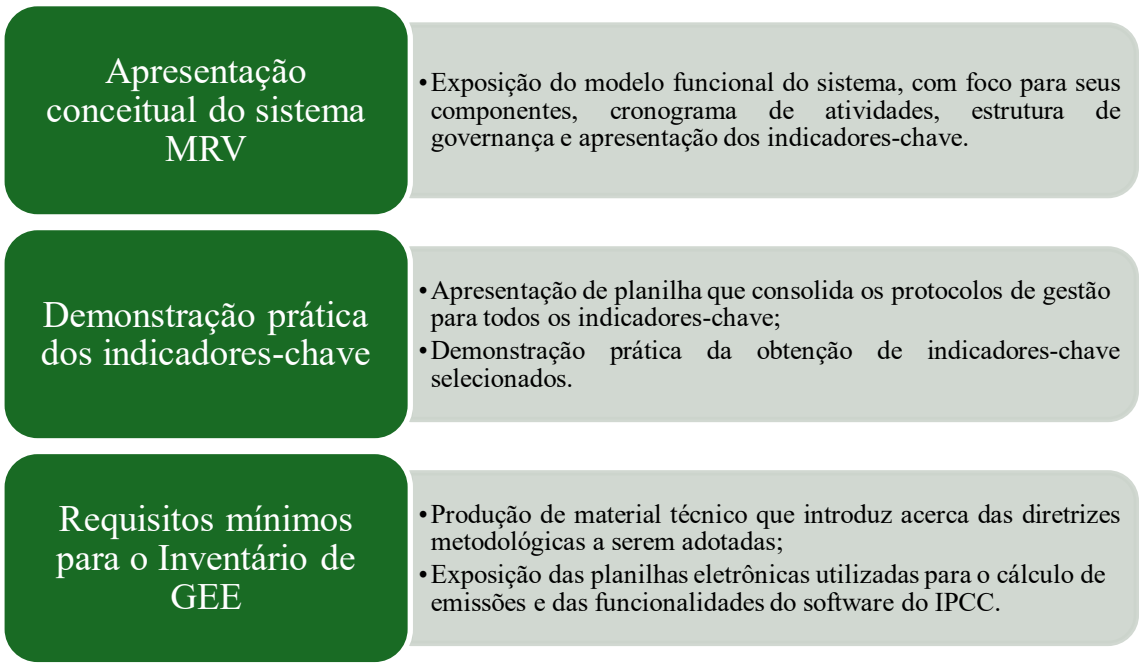
avaliação periódica de desempenho do PEAC/SE, instituído no Produto 3.1. Em relação aos objetivos específicos do produto, têm-se:

- Apresentar os componentes, as responsabilidades e o cronograma de atividades proposto para o sistema MRV;
- Orientar a preparação institucional para a gestão dos indicadores-chave a serem monitorados pelo sistema;
- Instruir a equipe interna da SEMAC quanto aos requisitos necessários para a elaboração dos Inventários Bienais de GEE;
- Subsidiar a estruturação prévia dos processos de coleta, organização e consolidação de dados, visando garantir a consistência das futuras avaliações.

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES EXECUTADAS

As atividades do Produto 3.5 foram desenvolvidas no mês de março de 2026, após a consolidação dos Produtos 3.1, que estabelece o sistema de avaliação periódica, e 3.3, que dispõe sobre os procedimentos de monitoramento contínuo. Essas atividades foram estruturadas em duas frentes complementares, ilustradas na Figura 1.

Figura 1: Frentes de apoio técnico e operacional para o Produto 3.5



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Os tópicos a seguir detalham as atividades de apoio técnico e operacional realizadas no Produto 3.5.

3.1 APRESENTAÇÃO DA ARQUITETURA CONCEITUAL DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO PERIÓDICA

A primeira atividade consistiu na exposição do modelo funcional do sistema MRV, por meio de uma apresentação presencial a membros da SEMAC, realizada em 19/03/2026. Para tanto, foi preparado um material técnico que sintetizou os principais componentes do sistema, a estrutura de governança climática instituída no Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas- PEMAMC-SE e suas atribuições no âmbito do monitoramento climático, os prazos de execução das atividades de monitoramento, reporte e verificação e os requisitos mínimos para a Plataforma de Transparência Climática. Cumpre mencionar que o material técnico desenvolvido consta em anexo deste documento.

Em seguida, realizou-se a reunião presencial em 19/03/2026, em que as informações foram apresentadas por representante da equipe técnica da FIA ao Secretário Adjunto da SEMAC, ao Coordenador de Mudanças Climáticas da SEMAC, bem como a representantes da equipe técnica e revisora do PEAC/SE. A condução da atividade ocorreu em formato expositivo, com apoio de apresentação em slides, estruturada de modo a facilitar a compreensão da arquitetura conceitual do sistema MRV, desde sua contextualização como instrumento de avaliação e transparência do PEAC/SE até o detalhamento de seus componentes operacionais.

Durante a apresentação das informações, foi aberto espaço para a resolução de dúvidas e apresentação de sugestões por parte dos representantes da Secretaria, ocasião em que foram destacados aspectos como:

- Necessidade de integração entre o Sistema Meteorológico de Sergipe (SIMESE) e o sistema MRV;
- A adequação da Plataforma de Transparência Climática em relação aos padrões estabelecidos pelo Governo Estadual, representado pela Emgetis (Empresa Sergipana de Tecnologia da Informação).

De modo geral, a atividade configurou-se como um momento de alinhamento técnico-institucional, ao permitir a validação preliminar da arquitetura proposta, o refinamento de aspectos operacionais e a identificação de requisitos complementares para a futura implementação do sistema de avaliação periódica no âmbito do PEAC/SE.

3.2 DEMONSTRAÇÃO DA ATUALIZAÇÃO DE INDICADORES CLIMÁTICOS E APRESENTAÇÃO DE REQUISITOS PARA A ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIOS BIENAIS DE GEE

A segunda atividade desenvolvida no âmbito do Produto 3.5 consistiu na demonstração prática dos procedimentos associados à atualização dos indicadores climáticos e na apresentação dos requisitos técnicos necessários à elaboração dos Inventários Bienais de GEE. Esta atividade foi executada de maneira remota, em 31/03/2026, em conjunto com membros da equipe técnica da FIA e representantes da SEMAC.

Os subitens a seguir detalham temáticas abordadas na segunda atividade de apoio técnico e operacional.

3.2.1 DEMONSTRAÇÃO PRÁTICA DOS PROTOCOLOS DE GESTÃO DOS INDICADORES-CHAVE

Esta atividade foi iniciada com a preparação de materiais técnicos voltados à apresentação das fórmulas de cálculo, dos métodos de coleta e dos procedimentos de validação aplicáveis à gestão e ao armazenamento dos indicadores-chave. Para tanto, procedeu-se à revisão técnica dos Produtos 3.1 e 3.3, que estabelecem os requisitos metodológicos e operacionais para a gestão dos indicadores climáticos no âmbito do sistema MRV.

Por meio desses produtos, foi desenvolvida uma planilha que busca representar a versão preliminar do Protocolo de Gestão dos Indicadores-Chave, estruturada de modo a contemplar os elementos mínimos necessários à sua operacionalização, tais como fórmulas de cálculo, fontes de dados, métodos de coleta, critérios de qualidade e procedimentos de validação. Ressalta-se que o protocolo poderá ser revisto pela equipe técnica caso sejam detectadas lacunas ou pontos de melhoria, processo que poderá ocorrer mediante reuniões do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas e validado por meio de reuniões específicas.

Além disso, foi elaborada uma apresentação técnica destinada à sistematização dos requisitos para definição dos protocolos de cada indicador, bem como à demonstração prática da obtenção de indicadores selecionados, com vistas a subsidiar a compreensão e a aplicação dos procedimentos por parte da equipe técnica envolvida no monitoramento contínuo.

Após a preparação dos materiais, procedeu-se à apresentação dessas informações aos representantes da SEMAC envolvidos no processo, no mesmo encontro em que

também foram expostos os requisitos técnicos e as exigências mínimas para a elaboração dos Inventários Bienais de Gases de Efeito Estufa (GEE), conforme detalhado no item a seguir.

3.2.2 APRESENTAÇÃO DE REQUISITOS TÉCNICOS E EXIGÊNCIAS MÍNIMAS PARA A ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIOS BIENAIS DE GEE

De maneira análoga ao item anterior, esta atividade teve início com a elaboração de material técnico voltado à apresentação de um roteiro para a elaboração de Inventários de Gases de Efeito Estufa (GEE) em nível subnacional, em conformidade com as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), conforme estabelecido nas IPCC Guidelines (2006), com refinamentos publicados em 2019.

Ressalta-se que o material desenvolvido buscou manter alinhamento com a metodologia adotada no Produto 1.3, referente ao Inventário Estadual de GEE, ao mesmo tempo em que incorporou discussões acerca de oportunidades de aprimoramento dos procedimentos metodológicos.

A apresentação técnica, realizada em 31/03/2026, contemplou, ainda, a exposição das planilhas eletrônicas utilizadas no desenvolvimento do Produto 1.3, bem como a demonstração das funcionalidades do software do IPCC.

Após a exposição das informações, o espaço foi aberto para a apresentação de sugestões e comentários por parte dos participantes. No que concerne à estruturação da equipe técnica responsável, foram sanadas dúvidas relacionadas à sua composição, e reforçada a importância da multidisciplinaridade na formação da equipe. Nesse contexto, foi ressaltada a necessidade de incluir, ao menos, um profissional dedicado a cada setor a ser inventariado, que correspondem a: energia; processos industriais e uso de produtos; agropecuária; uso da terra, mudança do uso da terra e florestas; e resíduos.

Em relação aos desafios intrínsecos ao desenvolvimento de inventários no Estado, foram destacados alguns pontos importantes:

- A ausência e inadequação das informações alimentadas pelos Municípios no Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), e a importância de impor a obrigatoriedade de alimentação do sistema para a inventariação do setor de resíduos, através da capacitação e treinamento prévio dos responsáveis nos Consórcios Intermunicipais e Prefeituras Municipais;
- As lacunas relacionadas às emissões de GEE em distritos industriais e nas indústrias ceramistas e cimentícias, aspecto que evidencia a importância da

articulação com outros órgãos setoriais, como a Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA), no exercício de sua função fiscalizadora no âmbito da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (PEMC-SE).

Ademais, foram apresentadas recomendações voltadas ao aprimoramento contínuo dos inventários estaduais, com vistas ao incremento do rigor metodológico e da confiabilidade das informações. Nesse sentido, sugeriu-se à equipe técnica da SEMAC:

- Solicitação formal de dados por meio de órgãos setoriais, como a ADEMA e a Secretaria da Fazenda (SEFAZ);
- Desenvolvimento de fatores de emissão em nível estadual;
- A utilização das ferramentas computacionais disponibilizadas pelo IPCC, visando à automatização e padronização do processo de elaboração dos inventários.

Por fim, informa-se que o material técnico elaborado para a apresentação será disponibilizado como anexo ao presente documento. Esse material contempla, entre outros conteúdos, os acessos às diretrizes metodológicas e às ferramentas do IPCC, às notas metodológicas do GHG Protocol[1] e às diretrizes do SEEG[2], adotados como referência para a elaboração dos Inventários Bienais de GEE.

4 RESULTADOS ALCANÇADOS

A prestação de apoio técnico e operacional obteve como principal resultado o fortalecimento da capacidade institucional necessária para a implementação do sistema de avaliação periódica do PEAC/SE, evidenciada pelos seguintes aspectos:

- Validação preliminar da arquitetura funcional do sistema MRV, em relação aos seus componentes e atividades;
- Capacitação da equipe interna da SEMAC quanto aos conceitos, instrumentos e obrigações relacionadas ao sistema MRV;
- Disseminação de diretrizes metodológicas e requisitos técnicos para a elaboração e atualização do Inventário Estadual de GEE;
- Disponibilização dos materiais técnicos a serem utilizados como referência para o desenvolvimento dos Inventários Estaduais de GEE;
- Identificação dos desafios operacionais para a implementação do sistema, incluindo a necessidade de recursos tecnológicos e a articulação institucional.

[1] Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol).
[2] Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações desenvolvidas no Produto 3.5 evidenciaram a importância do apoio técnico como etapa imprescindível à adequada implementação do sistema de avaliação periódica. O contato direto com representantes da SEMAC permitiu a troca de ideias, resolução de dúvidas e identificação preliminar de desafios à implementação do sistema.

Os principais pontos destacados nas atividades foram a necessidade de reunir recursos humanos e tecnológicos para a implementação do monitoramento contínuo de indicadores e a estimativa de emissões e remoções de GEE. Cumpre mencionar que a equipe técnica interna deverá ser dotada de especialistas nos setores inventariados, e que suas ações deverão ser subsidiadas pelos membros das Câmaras Temáticas e do Painel Científico do PEAC/SE, no âmbito de suas atribuições. No que concerne aos recursos tecnológicos, reforça-se a necessidade de operacionalização da Plataforma de Transparência Climática, a manutenção de um software destinado ao armazenamento e criação de painel de visualização dos indicadores climáticos e a obtenção de softwares destinados ao geoprocessamento dos dados geoespaciais. Para mais, cita-se a necessidade de prover capacitação para a equipe técnica responsável, que contemple a apresentação de um roteiro para a operacionalização do software do IPCC.

Por fim, destaca-se que a implementação de um sistema de avaliação periódica requer a instituição de uma estrutura de governança climática que assegure a adequada definição e distribuição de competências e responsabilidades entre os órgãos setoriais envolvidos no PEAC/SE, em consonância com o Eixo 2 – Governança Climática – do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE).

6 ANEXOS

Em anexo, serão encaminhados os materiais técnicos elaborados e apresentados à SEMAC no âmbito do Produto 3.5, subdivididos em:

6.1 APRESENTAÇÃO SOBRE A ARQUITETURA CONCEITUAL DO SISTEMA MRV

Material técnico utilizado para a exposição da arquitetura conceitual do Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), contemplando seus principais componentes, fluxos de informação, estrutura organizacional e a lógica de integração entre os subsistemas. O conteúdo tem como objetivo sintetizar os fundamentos que orientam a estruturação do sistema no âmbito do PEAC/SE.

6.2 PLANILHA DE APRESENTAÇÃO DO PROTOCOLO DE GESTÃO DOS INDICADORES CLIMÁTICOS

Planilha estruturada que contém os protocolos de gestão dos indicadores climáticos, incluindo definições operacionais, fontes de dados, métodos de coleta, periodicidade de atualização e critérios de qualidade.

6.3 APRESENTAÇÃO DO PROTOCOLO DE GESTÃO DOS INDICADORES CLIMÁTICOS

Material expositivo elaborado para apresentação dos protocolos de gestão dos indicadores climáticos, destacando sua estrutura, diretrizes metodológicas e procedimentos associados à coleta, processamento e validação dos dados. O conteúdo tem caráter didático e visa apoiar a compreensão e disseminação dos procedimentos entre os atores envolvidos.

6.4 SÍNTESE DAS DIRETRIZES METODOLÓGICAS E REQUISITOS MÍNIMOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE INVENTÁRIOS DE GEE SUBNACIONAIS

Síntese das diretrizes metodológicas e dos requisitos técnicos mínimos para a elaboração de Inventários de Gases de Efeito Estufa (GEE) em nível subnacional, com base nas orientações do IPCC e nas práticas adotadas no âmbito do PEAC/SE.



FIA BUSINESS SCHOOL

Quem sabe lidera.

Apresentação – Sistema MRV

O Sistema MRV (Monitoramento, Relato e Verificação) é o instrumento informacional de avaliação e transparência pública do Plano Estadual de Ações Climáticas. Contempla o monitoramento periódico de indicadores climáticos e emissões de GEE, que deverão ser públicos à população e órgãos de controle.

FIA BUSINESS SCHOOL

Objetivos do Sistema MRV

- Realizar o monitoramento contínuo de 48 indicadores-chave;
- Avaliar o progresso de implementação do PEMAMC-SE;
- Promover a transparência climática do Estado de Sergipe.
- Embasar a tomada de decisões;
- Prestar contas ao CEEMC-SE, à ALESE, à sociedade civil e órgãos federais;
- Assegurar a verificação externa;
- Promover a melhoria contínua do sistema e do PEMAMC-SE.

FIA BUSINESS SCHOOL

Importância do Sistema MRV

Transparência Climática

Consonância com marcos nacionais e acordos internacionais (Acordo de Paris)

Melhoria contínua do PEAC/SE

FIA BUSINESS SCHOOL

Processo de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV)

Monitoramento:
Atualização dos Indicadores Climáticos e Revisão do Inventário de GEE

Relato:
Relatórios e Publicidade das informações na Plataforma Integradora de Dados Climáticos

Verificação:
Envio dos resultados para o CEEMC e auditorias externas

FIA BUSINESS SCHOOL

Estrutura Organizacional

Nível Deliberativo

Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas (9 representantes)

Nível Técnico

Grupo Técnico de Mudanças Climáticas

- 18 órgãos participantes
- Secretaria Executiva (Núcleo Interno – 8 a 10 profissionais)
  - Coordenação de Monitoramento
  - Coordenação de Articulação Setorial
  - Coordenação de Comunicação

Nível Consultivo

Câmaras Temáticas (Nove Câmaras + 1 Coordenador - Mandato)

Nível Consultivo-Científico

Painel Científico (15 a 20 pesquisadores)

FIA BUSINESS SCHOOL

Monitoramento Climático

FIA BUSINESS SCHOOL

Parâmetros para o Monitoramento Climático

Atualização trimestral dos indicadores-chave

- Obtenção de dados interna e externamente para a atualização trimestral dos indicadores.

Revisão bienal do Inventário de Gases do Efeito Estufa (GEE)

- Obtenção de dados externos para revisar o Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) e aplicação da metodologia aprovada pelo IPCC.

FIA BUSINESS SCHOOL

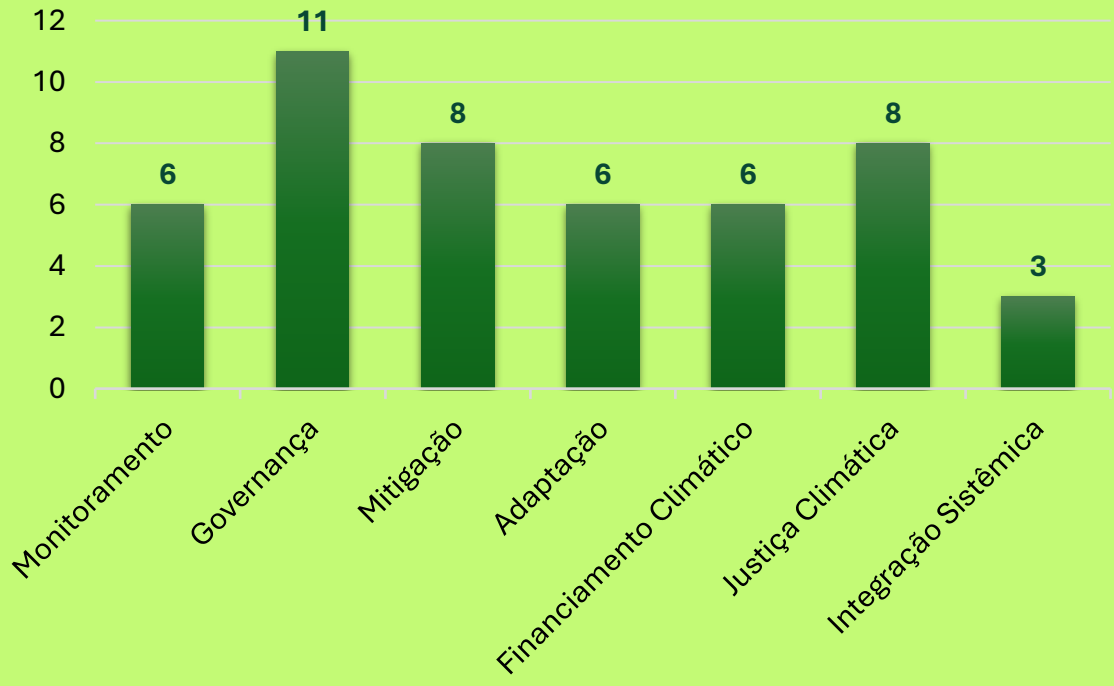
Dimensões dos Indicadores Climáticos

- Monitoramento (Eixo 1)
- Governança (Eixo 2)
- Mitigação (Eixo 3)
- Adaptação (Eixo 3)
- Financiamento Climático (Eixo 4)
- Justiça Climática (Eixo 5)
- Integração Sistêmica (Sinergia)

FIA BUSINESS SCHOOL

Indicadores por Dimensão

DIMENSÃO	NÚMERO DE INDICADORES
Monitoramento	6
Governança	11
Mitigação	8
Adaptação	6
Financiamento Climático	6
Justiça Climática	8
Integração Sistêmica	3



FIA BUSINESS SCHOOL

Periodicidade das Atividades

ATIVIDADE	PERIODICIDADE	RESPONSÁVEL	PRAZO
Coleta de dados	**Trimestral**	Grupo Técnico de Mudanças Climáticas	Dia 15 do mês seguinte
Validação e consolidação de dados	**Trimestral**	Grupo Técnico de Mudanças Climáticas e CEEMC-SE	Dia 30 do mês seguinte
Relatório de progresso	**Trimestral**	Grupo Técnico de Mudanças Climáticas e CEEMC-SE	Até 45 dias após o fim do trimestre
Relatório de progresso	**Anual**	Grupo Técnico de Mudanças Climáticas e CEEMC-SE	Até 31 de março do ano seguinte
Inventário de Emissões de GEE	**Bienal (anos pares)**	Grupo Técnico de Mudanças Climáticas e Painel Científico	Até 31 de março do ano seguinte
Verificação externa	**Bienal (anos ímpares)**	Auditoria independente	Até setembro do ano de verificação
Revisão do Sistema MRV (Abrangente)*	**Quinquenal**	CEEMC-SE e Painel Científico	2030, 2035, 2040, 2045, 2050

FIA BUSINESS SCHOOL

*O sistema MRV também deverá ser revisado anualmente, de maneira simplificada.

Apresentação dos Indicadores

Planilha com Indicadores-Chave

FIA BUSINESS SCHOOL

Sistema de Reporte (Relato)

FIA BUSINESS SCHOOL

Relatórios Técnicos

- Relatórios Trimestrais de Progresso
- Relatórios Anuais de Progresso
- Inventários Bienais de GEE
- Relatórios de Verificação Externa

FIA BUSINESS SCHOOL

Plataforma Integradora de Dados Climáticos

Publicidade das informações

FIA BUSINESS SCHOOL

Plataforma Integradora de Dados Climáticos

FIA BUSINESS SCHOOL

Camada de Dados	• **Emissões**, setores, órgãos líderes, metas, indicadores e alertas.
Camada Administrativa	• Cadastro e edição de dados; • Importação de planilhas; • Geração de alertas; • Gestão de metas e indicadores.
Camada Pública	• Dashboards interativos; • Páginas institucionais; • Downloads; • Contato – obtenção de feedback.
Camada Analítica	• KPIs; • Gráficos interativos; • Visualizações temporais; • Visualizações espaciais; • Acompanhamento de progresso.

Sistema de Verificação

FIA BUSINESS SCHOOL

Revisões anuais do Sistema MRV – Verificação Interna

ATIVIDADES	MÊS										
	J	F	M	A	M	J	A	S	O	N	D
1. Avaliação interna											
2. Consulta a usuários											
3. Reunião de avaliação											
4. Aprovação e deliberação											
5. Implementação											

FIA BUSINESS SCHOOL

Verificação Externa

- Realizadas bienalmente, nos anos ímpares;
- Auditoria independente e certificada;
- Produção de Relatório de Verificação Externa.

INDICADORES	INVENTÁRIO DE GEE	SEGURANÇA	CONFORMIDADE DOS RELATÓRIOS
• Verificação amostral; • Avaliação da conformidade dos processos de coleta.	• Validação das metodologias aplicadas.	• Segurança e integridade dos sistemas de informação.	• Verificar a conformidade dos relatórios com os padrões internacionais de comunicação.

FIA BUSINESS SCHOOL

Revisões quinquenais do Sistema MRV

1. Verificar o cumprimento dos objetivos
2. Análise de custo-benefício
3. Adequação dos indicadores-chave
4. Alinhamento com a NDC Brasileira
5. Avaliação de novas tecnologias para incorporação

FIA BUSINESS SCHOOL

Obrigado!

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AÇÕES CLIMÁTICAS

SERGIPE
GOVERNO DO ESTADO

FIA BUSINESS SCHOOL

Quem sabe lidera.

FIA BUSINESS SCHOOL

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AÇÕES CLIMÁTICAS

SERGIPE GOVERNO DO ESTADO

INVENTÁRIO ESTADUAL DE EMISSÕES DE GEE DECÊNIO 2020 - 2030

Equipe:

José Jailton Marques, DSc (DEAM/CCET/UFS)

Francisco Sandro Rodrigues Holanda, PhD (DEA/CCAT/UFS)

I. OBJETO DO ESTUDO

Produto 1.3. Inventário Estadual de Emissões de GEE

Documento técnico que contempla as estimativas de emissões ocorridas no Estado de Sergipe durante determinado período (a avaliar a disponibilidade de informações) e uma análise histórica de sua evolução. Em seu conteúdo, o documento apresentará:

- Introdução e justificativa para a criação do Inventário;
- O referencial metodológico utilizado;
- Identificação e mapeamento das principais fontes de emissões locais de gases de efeito estufa (GEE);
- Análise histórica das emissões de GEE por setor.

II. METODOLOGIA

Base: Diretrizes do IPCC (2006) e o Refinamento 2019.

OS SETORES INVENTARIADOS

O Inventário está organizado de acordo com as Diretrizes do IPCC 2006, contemplando os seguintes setores:



1. ENERGIA



2. PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (IPPU)



3. AGROPECUÁRIA



4. USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS (LULUCF)



5. RESÍDUOS

OS PRINCIPAIS GEE INVENTARIADOS



FALTARAM DADOS SOBRE



A MÉTRICA DE EQUIVALÊNCIA DOS GASES

IPCC Global Warming Potential (GWP) values relative to CO_2

Common chemical name or industrial designation	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)	Sixth Assessment Report (AR6)
Major Greenhouse Gases				
Carbon dioxide	CO_2	1	1	1
Methane – non-fossil	CH_4	25	28	27.0
Methane – fossil	CH_4	N/A	30	29.8
Nitrous oxide	N_2O	298	265	273
Nitrogen trifluoride	NF_3	17,200	16,100	17,400
Sulfur hexafluoride	SF_6	22,800	23,500	24,300

$$GWP(x) = \frac{a_x}{a_r} \frac{\int_0^{TH} [x](t)\,dt}{\int_0^{TH} [r](t)\,dt}$$

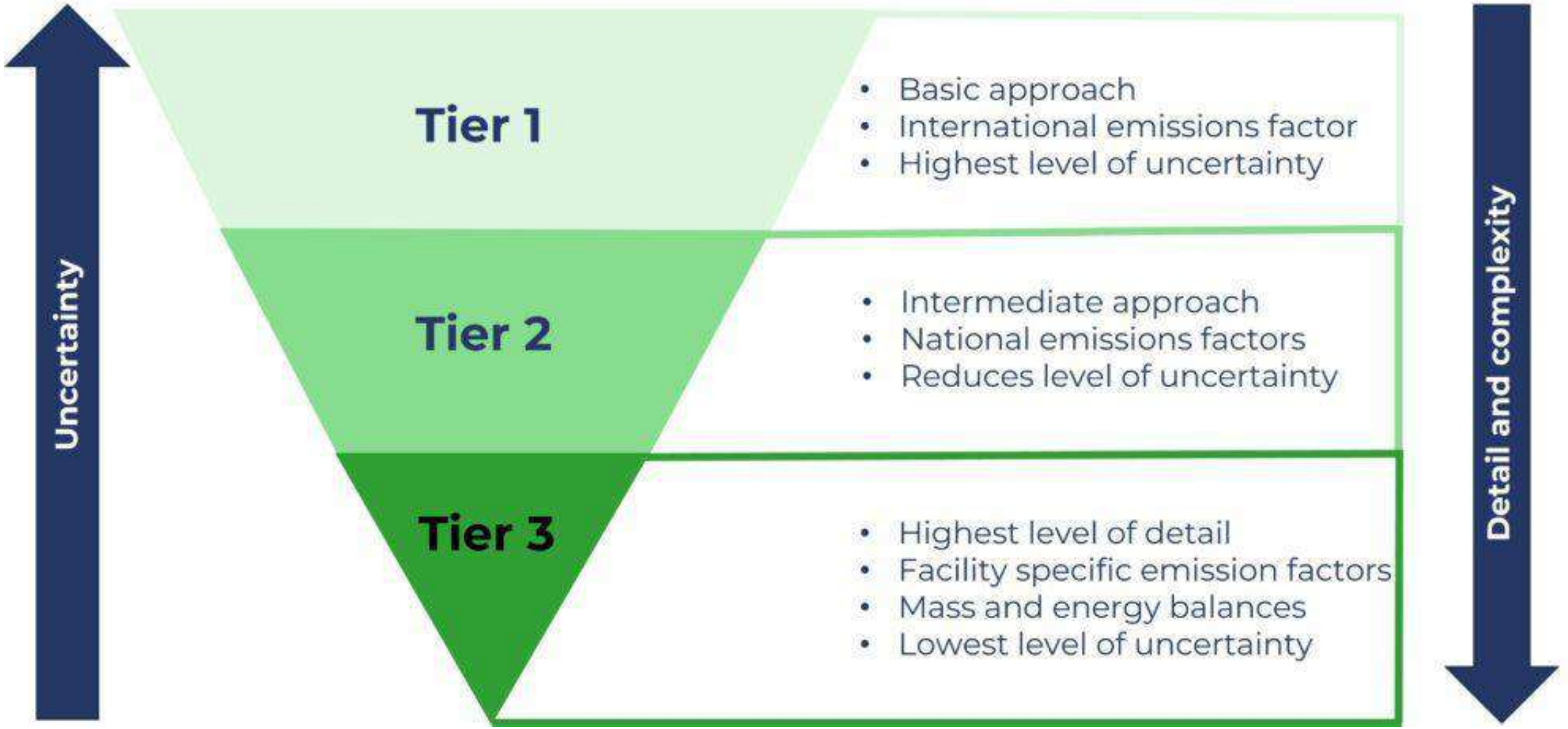
	Gas	Sector				
		Agriculture	Energy	Industrial Processes	Waste	Land Use Change
Greenhouse Gases	CO2		X	X	X	X
	CH4	X				X
	N2O	X	X	X	X	X
Indirect Greenhouse Gases	CO	X	X	X		
	NMVOC		X	X		
	NOx	X	X	X		

Table 1. **GHG emissions estimated by sector in SEEG.**

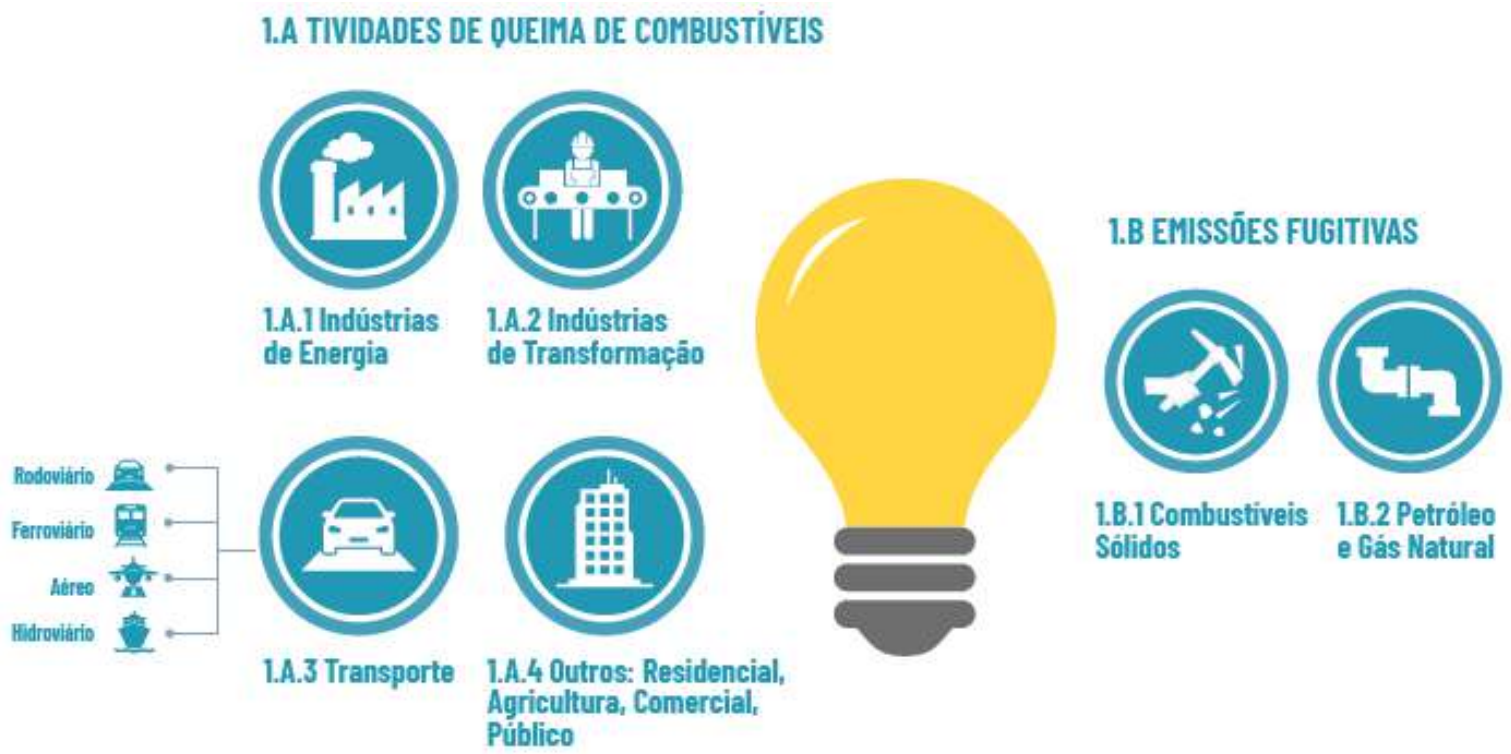
agrecalc

Tier methodological complexity

Source: Booysen et al., 2018



1.SETOR “ENERGIA”



CÁLCULO DAS EMISSÕES: O cálculo se dá basicamente pela multiplicação dos dados de atividade pelo fator de emissão correspondente.



2. SETOR “PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (IPPU)”

- 2.A.1 Cimento
- 2.A.2 Cal
- 2.A.3 Vidro
- 2.A.4 Calcário, dolomita, cerâmica

2.A Indústria Mineral



- 2.B.1 Amônia
- 2.B.2 Ácido Nítrico
- 2.B.3 Ácido Adípico
- 2.B.4 Ácido Glioxílico
- 2.B.5 Carbureto
- 2.B.8 Petroquímica e Negro de Fumo
- 2.B 9 Fluoroquímicos
- 2.B.9 Petroquímicos e negro de fumo

2.B Indústria Química

- 2.C.1 Ferro e Aço
- 2.C.2 Ferro Ligas
- 2.C.3 Alumínio
- 2.C.7 Magnésio

2.C Indústria Metalúrgica

- 2.D.1 Lubrificantes
- 2.D.3 Solventes

2.D Produtos não energéticos

CÁLCULO DAS EMISSÕES:

Dados de atividade **X** Fator de Emissão

Processos Químicos

CO_2 CH_4 N_2O PFCs

Fugitivas de GEE em produtos

N_2O HFCs PFCs SF_6

- 2.E.1 Equipamentos Eletrônicos

2.E Indústria Eletrônica

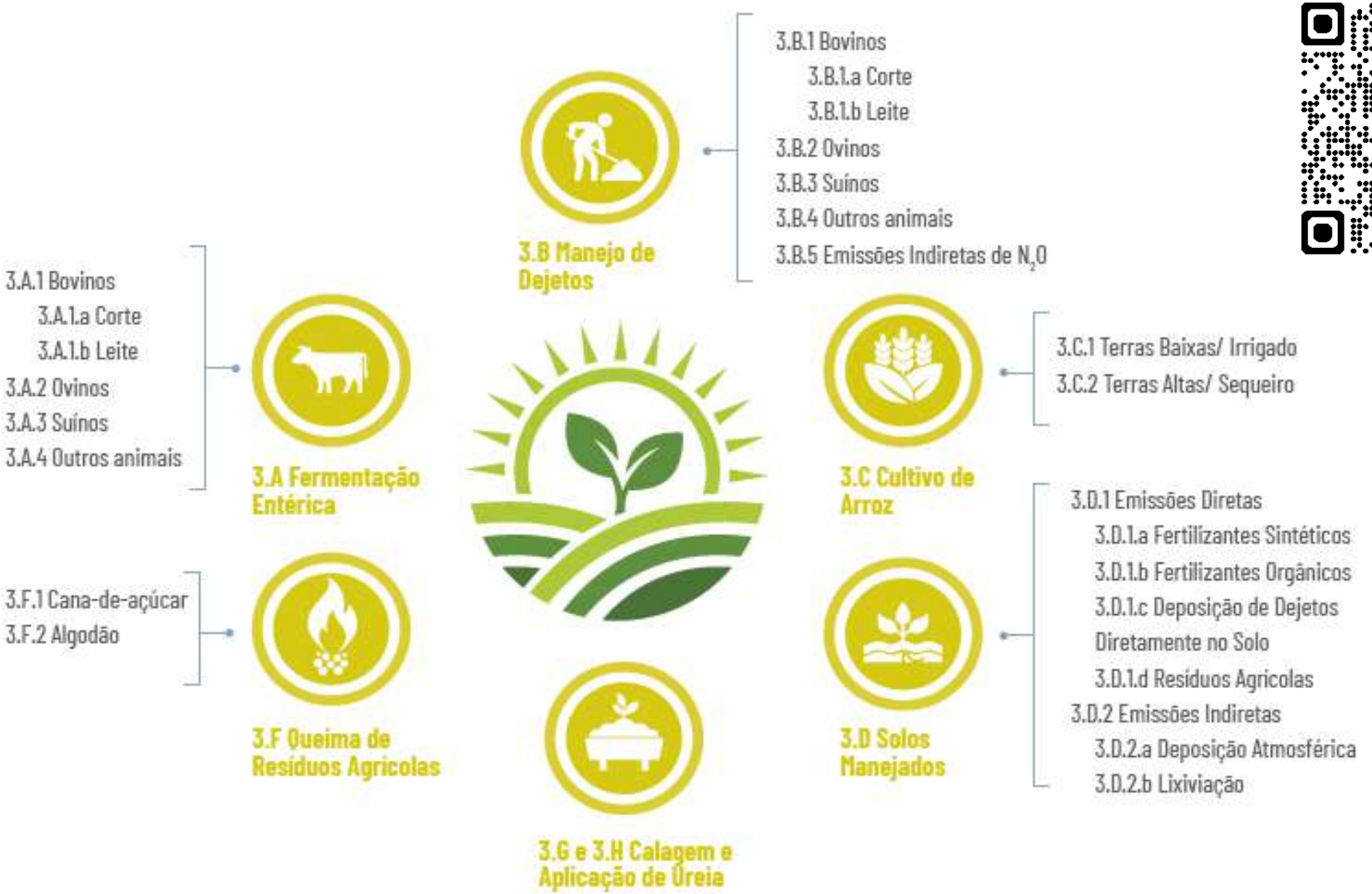
- 2.F.1 Refrigeração e ar-condicionado
- 2.F.2 Espumas
- 2.F.3 Extintores
- 2.F.4 Aerossóis

2.F Usos de substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio

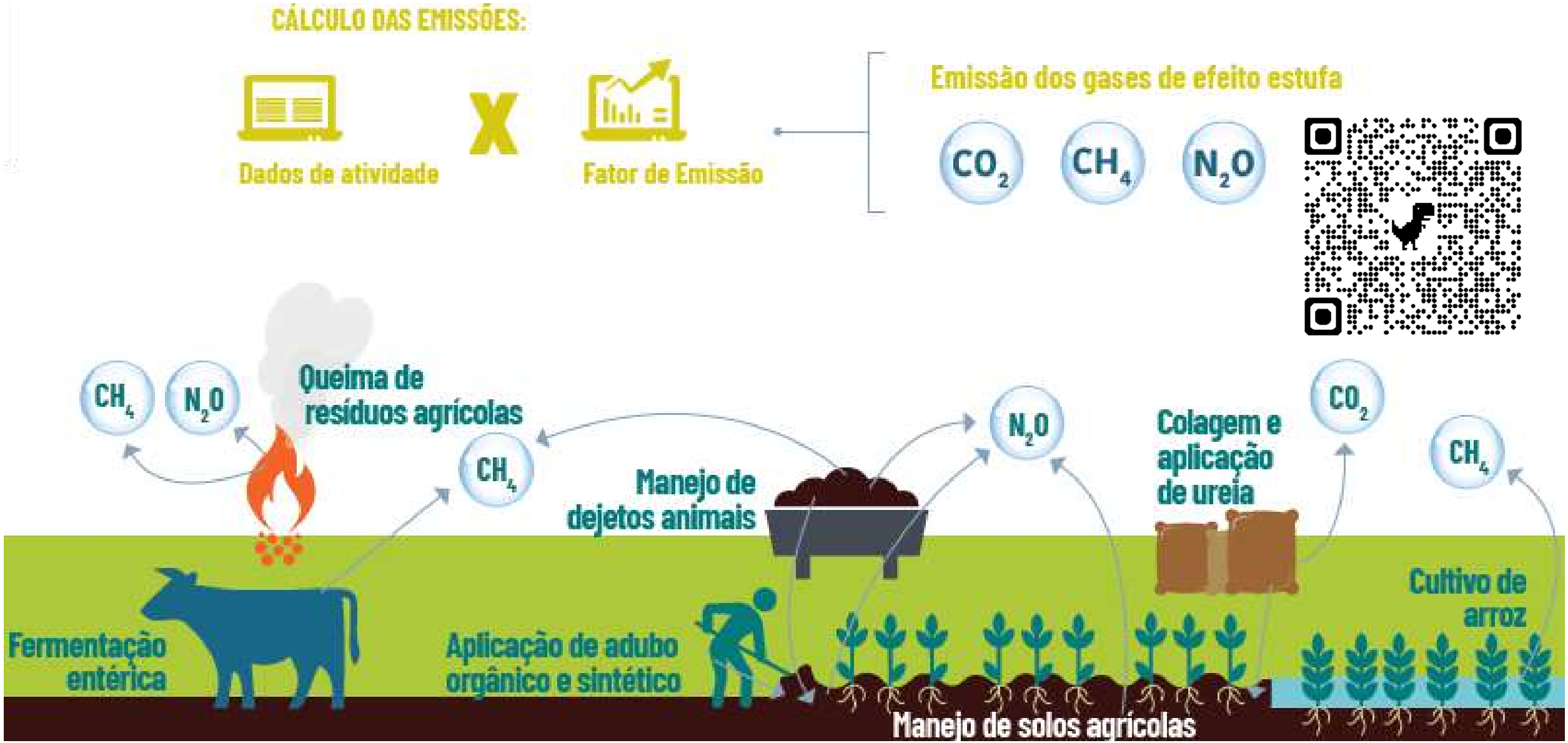
- 2.G.1 Equipamentos de energia elétrica

2.G Fabricação e uso de outros produtos

3. SETOR “AGROPECUÁRIO”



3. SETOR “AGROPECUÁRIO”



4. SETOR “USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS (LULUCF)”



CATEGORIAS

Mudança do uso ou cobertura da terra

4.A.1 Floresta permanecendo Floresta
4.A.2 Área convertida para Floresta
4.B.1 Agricultura permanecendo Agricultura
4.A.2 Área convertida para Agricultura
4.C.1 Campo e Pastagem permanecendo Campo e Pastagem
4.C.2 Área convertida para Campo e Pastagem
4.E.1 Assentamento permanecendo Assentamento
4.E.2 Área convertida para Assentamento
4.F.1 Outras Terras permanecendo Outras Terras
4.F.2 Área convertida para Outras Terras

5. SETOR “RESÍDUOS”



5. SETOR “RESÍDUOS”



PLANILHAS E SOFTWARE DO IPCC

FONTE DE DADOS:

- Software do IPCC: https://www.ipcc.ch/working-group/tfi/
- 2006 IPCC Guidelines: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html
- 2019 Refinement: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html
- GHG Protocol: https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance
- SEEG: https://seeg.eco.br/metodologia/



FIA BUSINESS SCHOOL

Quem sabe lidera.

Módulo de Coleta

O Módulo de Coleta corresponde ao componente do Sistema MRV que visa à coleta de dados e estatísticas de subsidiarão a atualização dos indicadores-chave e o Inventário de GEE.

Dimensões dos Indicadores-Chave

Monitoramento	• Progresso de implementação de sistemas contínuos de monitoramento, reporte e verificação das ações climáticas.
Governança	• Verificação da articulação institucional entre os órgãos líderes, colaboradores, setores privados e a sociedade civil.
Mitigação	• Monitoramento das ações voltadas à redução das emissões e ao aumento dos sumidouros de GEE.
Adaptação	• Monitoramento das ações relacionadas à redução da vulnerabilidade e aumento da resiliência climática dos sistemas naturais e humanos.
Justiça Climática	• Acompanhamento das metas que priorizam populações vulneráveis
Financiamento Climático	• Monitoramento da captação e alocação de recursos financeiros para viabilizar ações climáticas.
Integração Sistêmica	• Expressam a sinergia entre os eixos temáticos do PEMAMC-SE.

FIA BUSINESS SCHOOL

Protocolo para a aquisição e validação

- **Definição operacional**: Descrição técnica precisa do que é mensurado;
- **Fonte de dados primária**: Instituição responsável pela geração dos dados brutos;
- **Método de coleta**: Técnicas e instrumentos utilizados (sensoriamento remoto, questionários, medições diretas, registros administrativos);
- **Frequência de atualização**: Periodicidade da coleta (mensal, trimestral, anual, bienal);
- **Unidade de medida**: Padronização métrica (tCO_2e, hectares, %, número absoluto);
- **Fórmula de cálculo**: Equações matemáticas quando aplicável;
- **Nível de desagregação**: Espacial (municipal, regional, estadual) e temporal (mensal, anual);
- **Critérios de qualidade**: Parâmetros de completude, consistência e acurácia mínimos;
- **Procedimentos de validação**: Checagens automáticas e revisão técnica;
- **Fluxo de transmissão**: Cadeia de responsabilidades desde coleta até consolidação final.

FIA BUSINESS SCHOOL

Protocolos de Gestão dos Indicadores-chave

Protocolos de Gestão dos Indicadores-Chave

FIA BUSINESS SCHOOL

Demonstração

FIA BUSINESS SCHOOL

Indicador – MO6 – N° de pontos no Escala Brasil Transparente

Articular-se com a Controladoria Geral do Estado para a geração do indicador.

BUSINESS SCHOOL



Indicador – MO6 – N° de pontos no Escala Brasil Transparente

Ordem	Detalhamento	Temas/Parâmetros		Pontuação máxima	%
1	Estrutura organizacional	Unidades administrativas	Estrutura organizacional	1,50	1,50%
2			Endereço	0,70	2,10%
			Telefone	0,70	
			Horário de atendimento	0,70	
3	Receitas	Dados das receitas	Previsão	1,00	4,00%
			Arrecadação	1,50	
			Classificação	1,50	
4	Despesas	Empenhos	Número	0,80	12,00%
			Valor	0,80	
			Data	0,80	
			Favorecido	0,80	
			Descrição	0,80	
5		Pagamentos	Valor	1,00	
			Data	1,00	
			Favorecido	1,00	
			Empenho de referência	1,00	
6		Possibilita a consulta de empenhos ou pagamentos por favorecido		3,00	
7		Permite gerar relatório da consulta de empenhos ou de pagamentos em formato aberto		1,00	
8	Licitações	Processos licitatórios	Número/Ano do Edital	0,75	9,00%
			Modalidade	0,75	
			Objeto	0,75	
			Situação/Status	0,75	
9		Disponibiliza o conteúdo integral dos editais		3,00	
10		Possibilita a consulta aos resultados das licitações ocorridas		3,00	

Ordem	Detalhamento	Temas/Parâmetros		Pontuação máxima	%
11	Contratos	Dados dos contratos	Objeto	0,80	4,80%
			Valor	0,80	
			Favorecido	0,80	
			Número/Ano do contrato	0,80	
			Vigência	0,80	
			Licitação de origem	0,50	
12		Disponibiliza o conteúdo integral dos contratos		0,30	
13		Permite gerar relatório da consulta de licitações ou de contratos em formato aberto		1,00	1,00%
14	Obras públicas	Dados para acompanhamento	Objeto	0,40	2,60%
			Valor total	0,40	
			Empresa contratada	0,40	
			Data de início	0,40	
			Data prevista para término ou prazo de execução	0,40	
			Valor total já pago ou percentual de execução financeira	0,30	
			Situação atual da obra	0,30	
15	Servidores Públicos		Nome	1,00	4,00%
			Cargo/Função	1,00	
			Remuneração	2,00	
16	Despesas com diárias		Nome do beneficiário	0,80	4,00%
			Valores recebidos	0,80	
			Período da viagem	0,80	
			Destino da viagem	0,80	
			Motivo da viagem	0,80	
17	Regulamentação da Lei de Acesso à Informação	Divulgação do normativo local que regulamenta a LAI em local de fácil acesso.		2,50	2,50%
18	Relatório estatístico	Divulgação de relatório de atendimentos	Quantidade de pedidos recebidos	1,00	2,00%
			Quantidade e/ou percentual de pedidos atendidos	1,00	
			Quantidade e/ou percentual de pedidos indeferidos	x	
19	Bases de dados abertos	Publica na internet relação das bases de dados abertos do município ou do estado		0,50	0,50%
TRANSPARÊNCIA ATIVA					**50,00%**

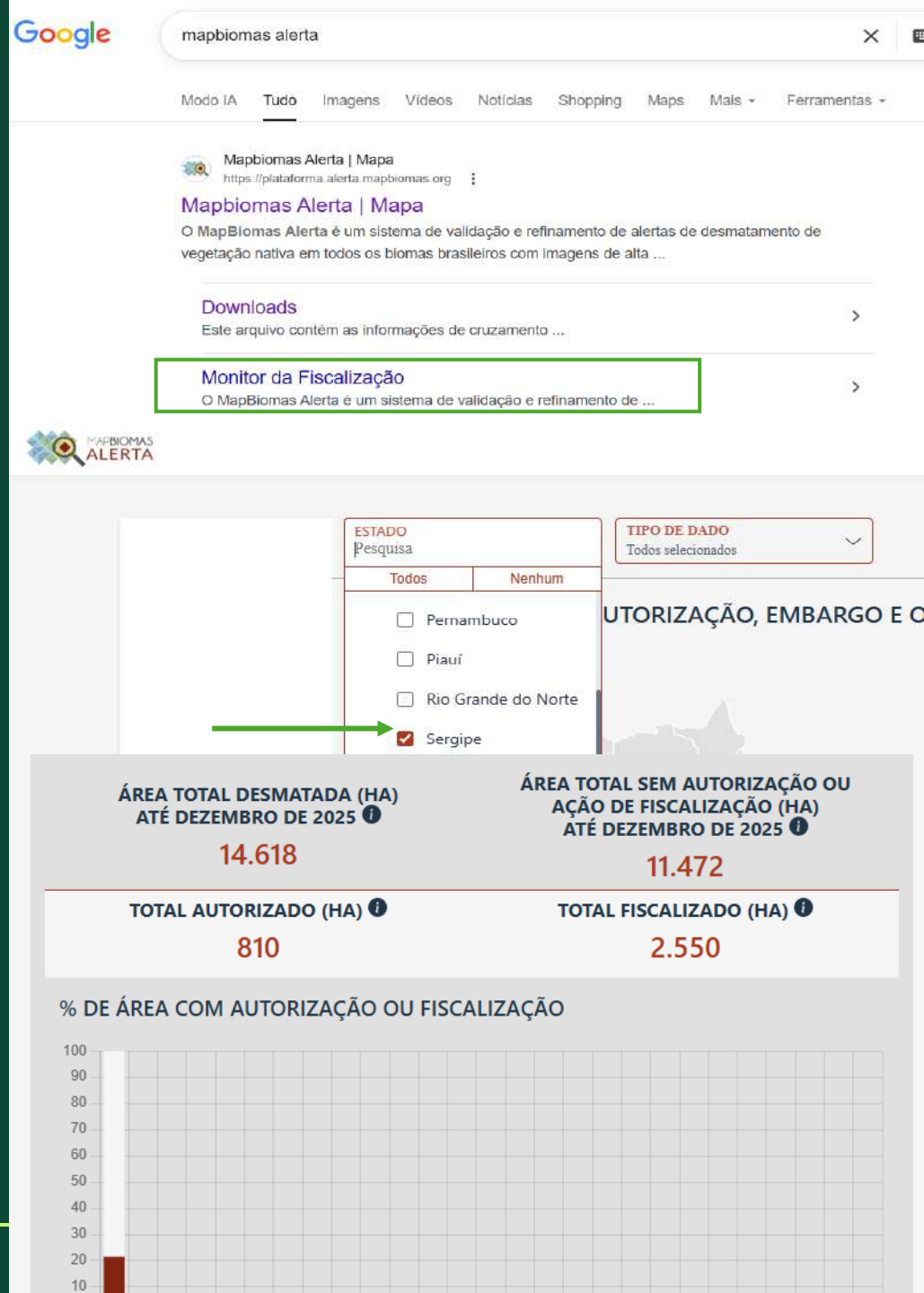
Ordem	Detalhamento	Temas/Parâmetros		Pontuação máxima	%
1	Existência de SIC	Indica o funcionamento de um SIC físico, isto é, com a possibilidade de entrega de um pedido de informação de forma presencial?	Endereço	1,00	3,00%
			Telefone	1,00	
			Horário de atendimento	1,00	
		Existência de alternativa de envio de pedidos de acesso à informação de forma eletrônica	Sistema ou formulário	6,00	6,00%
			E-mail	4,00	
2	Funcionamento do SIC	Não são feitas exigências que dificultem ou impossibilitem o acesso à informação		4,00	4,00%
3		Permite o acompanhamento posterior da solicitação	Data de registro do pedido	2,00	4,00%
			Situação do pedido	2,00	
4		Responde aos pedidos de informação	Resposta ao Pedido 1	0,50	1,50%
			Resposta ao Pedido 2	0,50	
			Resposta ao Pedido 3	0,50	
5		Cumpre os prazos para resposta das solicitações	Resposta no prazo para o Pedido 1	3,00	9,00%
			Resposta no prazo para o Pedido 2	3,00	
			Resposta no prazo para o Pedido 3	3,00	
6		Atende aos pedidos, respondendo o que se perguntou	Resposta em conformidade para o Pedido 1	7,00	21,00%
			Resposta em conformidade para o Pedido 2	7,00	
			Resposta em conformidade para o Pedido 3	7,00	
7		Comunica sobre possibilidade de recurso	Comunicação existente na resposta ao Pedido 1	0,50	1,50%
			Comunicação existente na resposta ao Pedido 2	0,50	
			Comunicação existente na resposta ao Pedido 3	0,50	
TRANSPARÊNCIA PASSIVA					**50,00%**
TOTAL				**100**	**100,00%**

FIA BUSINESS SCHOOL

Indicador – M4 – Hectares de vegetação nativa suprimidos ilegalmente

Validação final: Conferência do dado via sensoriamento remoto e Consulta formal à ADEMA para confirmação da ilegalidade (Trimestral).

FIA BUSINESS SCHOOL



Obrigado!

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AÇÕES CLIMÁTICAS

SERGIPE
GOVERNO DO ESTADO

FIA BUSINESS SCHOOL

Quem sabe lidera.

FIA BUSINESS SCHOOL

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Relatório Técnico de Atividades de apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe em sua atuação junto à sociedade civil
Produto 4.1

São Paulo, maio/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVOS 4

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS 5

3.1 PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES DE PARTICIPAÇÃO SOCIAL 5
3.2 ELABORAÇÃO DO MATERIAL TÉCNICO E INFORMATIVO 6
3.3 MOBILIZAÇÃO E DIVULGAÇÃO 7
3.4 REALIZAÇÃO DAS CONSULTAS PÚBLICAS 10
3.4.1 CONSULTA PÚBLICA – REGIÃO DO SERTÃO 10
3.4.2 CONSULTA PÚBLICA – REGIÃO DO AGRESTE 12
3.4.3 CONSULTA PÚBLICA – REGIÃO DO LITORAL 13
3.4.4 CONSULTA PÚBLICA VIRTUAL 15

4 RESULTADOS OBTIDOS 17

4.1 CONSULTA VIRTUAL PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA 18
4.2 CONSULTA VIRTUAL PARA A REVISÃO DO PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA 24

5 LISTA DE FIGURAS 29

6 LISTA DE QUADROS 30

7 ANEXOS 31

7.1 LISTAS DE PRESENÇA 31
7.1.1 CONSULTA PÚBLICA SERTÃO 32
7.1.2 CONSULTA PÚBLICA AGRESTE 38
7.1.3 CONSULTA PÚBLICA LITORAL 40
7.2 REGISTROS FOTOGRÁFICOS 44
7.2.1 CONSULTA PÚBLICA SERTÃO 44
7.2.2 CONSULTA PÚBLICA AGRESTE 45
7.2.3 CONSULTA PÚBLICA LITORAL 53
7.3 CONTRIBUIÇÕES PARA O PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA 56
7.4 CONTRIBUIÇÕES PARA O PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA 60

1 APRESENTAÇÃO

O presente Relatório Técnico de Atividades integra o conjunto de documentos elaborados no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe (PEAC/SE) e tem como finalidade registrar e sistematizar as atividades desenvolvidas no âmbito do Produto 4.1 – Apoio à Participação Social, componente integrante do Módulo 4 – Governança do referido plano.

O PEAC/SE constitui um instrumento estratégico de planejamento voltado à formulação e implementação de políticas públicas relacionadas ao enfrentamento das mudanças climáticas no território sergipano. Estruturado a partir de diferentes módulos temáticos, o plano contempla etapas de diagnóstico, definição de estratégias de mitigação e adaptação, além da estruturação de mecanismos institucionais e normativos necessários para viabilizar sua implementação. Nesse contexto, o plano busca orientar ações voltadas à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), ao fortalecimento da resiliência socioambiental e à promoção de estratégias de adaptação frente aos impactos decorrentes das mudanças climáticas.

Entre os componentes estruturantes do PEAC/SE, o Módulo de Governança tem como objetivo consolidar os instrumentos institucionais necessários para a operacionalização das diretrizes climáticas estabelecidas pelo plano. Esse módulo contempla um conjunto de produtos voltados à organização da governança climática estadual, incluindo mecanismos de participação social, articulação interinstitucional, proposições normativas e instrumentos institucionais voltados à estruturação da governança climática estadual (Quadro 1).

Quadro 1: Produtos do Módulo 4 do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE)

MÓDULO 4: GOVERNANÇA	Produto 4.1 – Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe em sua atuação junto à sociedade civil nas matérias relativas à execução do Plano de Ações Climáticas, contemplando a participação em consultas públicas e a elaboração de material de apoio e demais documentos necessários à sua realização.
	Produto 4.2 – Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe na promoção de um diálogo efetivo junto às instituições envolvidas na execução do Plano de Ações Climáticas, contemplando o auxílio no estabelecimento de um canal de comunicação e a elaboração de material de apoio e demais documentos necessários à sua realização.
	Produto 4.3 – Modelagem de um plano de governança para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas.
	Produto 4.4 – Minutas de normativos, documentos e informações de apoio necessárias para a estruturação e implementação do novo modelo de governança.
	Produto 4.5 – Relatório técnico contendo a análise da compatibilidade do modelo de governança climática proposto com as políticas

	nacionais e acordos internacionais vigentes, incluindo recomendações de alinhamento institucional e normativo.
	Produto 4.6 – Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe nas atividades voltadas à instituição do novo modelo de governança, mediante entrega de Relatório Técnico de Atividades.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

No âmbito desse módulo, o Produto 4.1 – "Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe em sua atuação junto à sociedade civil nas matérias relativas à execução do Plano de Ações Climáticas, contemplando a participação em consultas públicas e a elaboração de material de apoio e demais documentos necessários à sua realização" tem como finalidade apoiar e documentar o processo participativo conduzido durante a elaboração do plano, incluindo a realização de consultas públicas presenciais e virtuais, bem como as estratégias de mobilização social voltadas à ampliação do diálogo entre poder público, instituições, setor produtivo, academia e sociedade civil.

A participação social constitui elemento fundamental para a construção de instrumentos de planejamento climático, uma vez que possibilita a incorporação de conhecimentos territoriais, percepções locais sobre vulnerabilidades climáticas e contribuições provenientes de diferentes segmentos sociais. Dessa forma, o processo participativo desenvolvido no âmbito do PEAC/SE buscou promover a escuta qualificada da sociedade, fortalecendo a transparência e a legitimidade das diretrizes e ações propostas.

Cumpre mencionar que as consultas públicas foram realizadas com a finalidade de subsidiar a elaboração do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação Climática (PEMAMC-SE) e Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP/SE), que correspondem aos Produtos 2.1 e 2.3, respectivamente.

Os demais produtos associados ao PEAC/SE, bem como seus respectivos objetivos, prazos e escopos de execução, encontram-se estabelecidos no Contrato nº 08/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração (FIA) e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC).

2 OBJETIVOS

O presente Relatório tem como objetivo apresentar e sistematizar as atividades desenvolvidas no âmbito do Produto 4.1, integrante do Módulo 4 – Governança do PEAC/SE. Nesse contexto, o documento busca registrar o processo de planejamento, mobilização e realização das consultas públicas voltadas à construção participativa do plano, bem como descrever os instrumentos utilizados para promover o diálogo com diferentes segmentos da sociedade.

De forma específica, este documento tem por finalidade:

- Descrever as etapas de planejamento e organização das atividades de participação social realizadas no âmbito do PEAC/SE;
- Apresentar as estratégias de mobilização e divulgação adotadas para ampliar a participação de atores institucionais e da sociedade civil;
- Registrar a realização das consultas públicas presenciais promovidas nas diferentes regiões do estado;
- Apresentar a consulta pública virtual disponibilizada à sociedade para o envio de contribuições;
- Sistematizar os resultados obtidos a partir das manifestações e contribuições recebidas durante o processo participativo.

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

O processo participativo foi estruturado a partir de um conjunto de etapas que envolveram o planejamento técnico das consultas públicas, a preparação de materiais informativos e de apoio às discussões, a mobilização de atores institucionais e sociais, bem como a realização de consultas públicas presenciais e a disponibilização de instrumentos de participação virtual.

As ações foram conduzidas de forma articulada entre a SEMAC e a FIA, responsável pela elaboração técnica do plano, garantindo a integração entre os conteúdos técnicos produzidos e o processo de escuta da sociedade.

3.1 PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES DE PARTICIPAÇÃO SOCIAL

O planejamento das atividades de participação social contemplou a definição das estratégias metodológicas, a organização do cronograma de atividades e a articulação institucional necessária para a realização das consultas públicas. As atividades de planejamento foram conduzidas de forma articulada entre a SEMAC e a FIA, responsável pelo apoio técnico à elaboração do plano.

Como parte desse planejamento, foi estabelecida a realização de consultas públicas presenciais em diferentes regiões climáticas do estado, com o objetivo de ampliar a representatividade territorial e possibilitar a participação de atores locais na construção das estratégias de mitigação, adaptação e educação ambiental relacionadas às mudanças climáticas. Para tanto, foram selecionados municípios representativos das mesorregiões do sertão, agreste e litoral sergipano, de modo a contemplar diferentes realidades socioambientais do estado.

Além da definição dos locais de realização das consultas públicas, o planejamento também contemplou a organização da programação dos encontros, a definição das metodologias de participação a serem utilizadas durante as atividades e a articulação com instituições parceiras para apoio e mobilização dos participantes.

Paralelamente às atividades presenciais, foi prevista a disponibilização de instrumentos de participação virtual, com o objetivo de ampliar as possibilidades de contribuição da sociedade ao processo de elaboração do plano.

3.2 ELABORAÇÃO DO MATERIAL TÉCNICO E INFORMATIVO

Essa atividade teve como objetivo sistematizar e traduzir informações técnicas produzidas ao longo do desenvolvimento do plano em conteúdos acessíveis à sociedade, permitindo que os participantes das consultas públicas presenciais e virtuais tivessem condições de compreender o contexto das mudanças climáticas no estado, bem como contribuir de forma qualificada com sugestões e percepções sobre prioridades, desafios e oportunidades para a ação climática em Sergipe.

Os materiais elaborados tiveram como base os estudos técnicos desenvolvidos no âmbito do PEAC/SE, conduzidos pela FIA em parceria com a SEMAC. Entre os conteúdos sistematizados destacam-se informações relacionadas ao diagnóstico climático do estado, ao inventário de emissões de gases de efeito estufa, à análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e à construção de cenários climáticos futuros. Esses elementos compõem a base analítica do plano e foram apresentados de forma sintética e didática durante as consultas públicas, permitindo contextualizar os desafios enfrentados pelo estado diante das mudanças climáticas e orientar o diálogo com os diferentes segmentos da sociedade.

Além da contextualização técnica, o material informativo também apresentou os objetivos e a estrutura do PEAC/SE, bem como suas principais frentes de atuação voltadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa e à adaptação aos impactos das mudanças climáticas. Durante as consultas públicas presenciais, esse conteúdo foi compartilhado por meio de apresentações institucionais e exposições realizadas pela equipe técnica responsável pelo plano, buscando oferecer uma visão geral do processo de elaboração do PEAC/SE, suas etapas de desenvolvimento e a importância da participação social na construção das diretrizes e ações propostas.

No âmbito da participação digital, foram também elaborados e disponibilizados materiais de apoio e instrumentos de coleta de contribuições para as consultas públicas virtuais. Esses instrumentos incluíram formulários estruturados voltados tanto ao Plano

de Mitigação e Adaptação Climática quanto ao Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública, permitindo aos participantes registrar percepções sobre os impactos das mudanças climáticas no estado, identificar prioridades para ações de mitigação e adaptação, bem como sugerir propostas e iniciativas voltadas ao fortalecimento da política climática e das estratégias de educação ambiental em Sergipe. Os formulários foram disponibilizados em ambiente digital, por meio de link eletrônico, e divulgados nas consultas públicas presenciais por meio de QR Code, possibilitando que os participantes acessassem diretamente os instrumentos de contribuição e ampliassem sua participação mesmo após a realização dos encontros presenciais.

3.3 MOBILIZAÇÃO E DIVULGAÇÃO

A mobilização para a realização das consultas públicas do PEAC/SE foi planejada com o objetivo de assegurar ampla participação social e representatividade territorial no processo de construção do plano. Para isso, foi estruturada uma estratégia de articulação institucional voltada à divulgação das consultas e ao convite de atores estratégicos do Poder Público, da sociedade civil, da academia, do setor produtivo e de organizações comunitárias, considerando as especificidades socioambientais das diferentes regiões do estado.

Como parte desse processo, foi elaborado um documento orientador de mobilização contendo diretrizes para a articulação com instituições e entidades relevantes, bem como a definição das datas, locais e regiões de abrangência das consultas públicas presenciais. As consultas foram organizadas de forma regionalizada, considerando as principais zonas climáticas de Sergipe (Sertão, Agreste e Litoral). A divisão dos municípios por região é apresentada no Quadro 2, e teve como objetivo garantir maior proximidade com os territórios e facilitar a participação de representantes locais.

Quadro 2: Divisão de municípios sergipanos por região climática[1].

REGIÃO	MUNICÍPIO
Sertão	Poço Verde
	Tobias Barreto
	Nossa Senhora Aparecida
	Nossa Senhora da Glória
	Monte Alegre de Sergipe
	Porto da Folha

[1]Foram consideradas as características físicas e bióticas dos municípios, bem como sua localização geográfica, para fins de reclassificação. Essa adequação teve como objetivo aprimorar o enquadramento territorial e assegurar contribuições mais representativas e qualificadas por parte dos participantes.

REGIÃO	MUNICÍPIO
	Feira Nova
	Aquidabã
	Cedro de São João
	Propriá
	Telha
	Canhoba
	Nossa Senhora de Lourdes
	Itabi
	Gararu
	Amparo de São Francisco
	Poço Redondo
	Canindé de São Francisco
Agreste	Riachão do Dantas
	Simão Dias
	Tomar do Geru
	Boquim
	Itabaianinha
	Pedrinhas
	Salgado
	Lagarto
	São Domingos
	Campo do Brito
	Itabaiana
	Macambira
	Carira
	Moita Bonita
	Cumbe
	Frei Paulo
	Pinhão
	Pedra Mole
	Ribeirópolis
	São Miguel do Aleixo
	Nossa Senhora das Dores
	Capela
	Graccho Cardoso
	Muribeca
	Malhada dos Bois
	São Francisco

REGIÃO	MUNICÍPIO
	Santana do São Francisco
Litoral	Neópolis
	Brejo Grande
	Japoatã
	Japaratuba
	Pacatuba
	Ilha das Flores
	Carmópolis
	General Maynard
	Pirambu
	Barra dos Coqueiros
	Rosário do Catete
	Divina Pastora
	Maruim
	Siriri
	Santa Rosa de Lima
	Malhador
	Riachuelo
	Areia Branca
	Laranjeiras
	Nossa Senhora do Socorro
	Santo Amaro das Brotas
	Aracaju
	São Cristóvão
	Itaporanga d'Ajuda
	Estância
	Indiaroba
	Santa Luzia do Itanhy
	Arauá
	Umbaúba
	Cristinápolis

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Nesse contexto, foram definidos três encontros presenciais: no Município de Aracaju, representando a região do Litoral; em Nossa Senhora da Glória, representando o Sertão; e em Lagarto, representando o Agreste. Todas as consultas foram realizadas no período da manhã, das 8h às 12h, com programação estruturada de modo a promover

encontros objetivos e dinâmicos, combinando apresentações técnicas introdutórias com atividades participativas voltadas à coleta de contribuições para o plano.

A estratégia de mobilização considerou ainda a identificação e o convite de diferentes instituições públicas estaduais e municipais, incluindo secretarias com interface temática com a agenda climática, como as áreas de agricultura, educação, saúde, desenvolvimento urbano e infraestrutura. Também foram convidados órgãos e instituições com atuação relevante na gestão ambiental, na prevenção e resposta a desastres e na garantia do interesse público, como a Defesa Civil, o Corpo de Bombeiros e o Ministério Público.

Além do Poder Público, a mobilização incluiu representantes da sociedade civil organizada, como associações comunitárias, sindicatos, cooperativas, movimentos sociais e organizações não governamentais. A participação da academia também foi incentivada, reconhecendo o papel dessas instituições na produção de conhecimento científico e no desenvolvimento de soluções técnicas voltadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa e à adaptação aos impactos das mudanças climáticas.

Por fim, cumpre mencionar que o ato formal de convocação dos membros da sociedade civil e representantes das instituições governamentais e de pesquisa foi realizado pela SEMAC.

3.4 REALIZAÇÃO DAS CONSULTAS PÚBLICAS

As consultas foram realizadas de forma regionalizada, considerando as principais zonas climáticas do estado (Sertão, Agreste e Litoral) de modo a contemplar as diferentes realidades socioambientais e econômicas presentes no território. Durante os encontros, foram apresentados os objetivos do PEAC/SE, os principais resultados preliminares dos estudos técnicos em desenvolvimento e as diretrizes gerais dos planos em elaboração. Em seguida, foram realizadas atividades de diálogo e participação, nas quais os participantes puderam apresentar contribuições, compartilhar experiências locais e indicar prioridades para ações de mitigação e adaptação climática.

As contribuições registradas durante as consultas públicas foram sistematizadas e consideradas no processo de elaboração do PEMAMC-SE, PEACP/SE e demais documentos técnicos que compõem o PEAC/SE.

3.4.1 CONSULTA PÚBLICA – REGIÃO DO SERTÃO

A consulta pública referente à região do Sertão foi realizada no município de Nossa Senhora da Glória/SE, no dia 10 de dezembro de 2025, reunindo representantes do

Poder Público, organizações da sociedade civil, setor produtivo, instituições acadêmicas e demais atores locais. A realização do encontro nessa região buscou contemplar as especificidades socioambientais do semiárido sergipano, caracterizado por desafios relacionados à disponibilidade hídrica, à variabilidade climática e à necessidade de fortalecimento de estratégias de convivência com o clima semiárido.

Durante o encontro, foram apresentados os objetivos do PEAC/SE, bem como os principais resultados dos estudos técnicos desenvolvidos no âmbito do plano, incluindo informações relacionadas ao diagnóstico climático estadual, às emissões de gases de efeito estufa e às diretrizes iniciais para a construção de estratégias de mitigação, adaptação e educação ambiental. A exposição teve como finalidade contextualizar os participantes quanto ao processo de elaboração do plano e fornecer subsídios para a formulação de contribuições por parte dos diferentes segmentos representados (Figura 1).

Figura 1: Consulta pública do PEAC/SE na região do Sertão, no município de Nossa Senhora da Glória/SE.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Após as apresentações técnicas, foi aberto espaço para diálogo com os participantes, permitindo a manifestação de percepções, experiências locais e sugestões relacionadas aos impactos das mudanças climáticas na região e às possíveis ações para enfrentamento desses desafios. Considerando as características ambientais do semiárido sergipano, o debate concentrou-se sobretudo nos impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica, a produção agropecuária e as condições de vida das populações rurais. A variabilidade das chuvas e os períodos prolongados de estiagem foram

apontados pelos participantes como fatores que afetam diretamente a segurança hídrica e a sustentabilidade das atividades produtivas na região.

Outro aspecto amplamente discutido foi a necessidade de fortalecimento de práticas agrícolas mais resilientes às condições climáticas do semiárido, incluindo estratégias relacionadas ao manejo sustentável do solo, à conservação da vegetação nativa e à adoção de tecnologias adaptadas às condições locais. Nesse contexto, também foram abordadas as relações entre atividades agropecuárias e emissões de gases de efeito estufa, destacando-se a importância de promover sistemas produtivos de baixo carbono.

Além das questões produtivas, os participantes ressaltaram a importância de ampliar ações de educação ambiental voltadas às comunidades rurais e aos gestores públicos locais. A disseminação de informações sobre mudanças climáticas e alternativas de adaptação foi apontada como elemento fundamental para fortalecer a capacidade de resposta dos territórios frente aos desafios climáticos.

3.4.2 CONSULTA PÚBLICA – REGIÃO DO AGRESTE

A consulta pública referente à região do Agreste ocorreu no dia 16 de dezembro de 2025, no município de Lagarto/SE, nas dependências da Universidade Federal de Sergipe – Campus Lagarto. O encontro integrou o conjunto de atividades participativas previstas no processo de elaboração do PEMAMC-SE e do PEACP/SE.

Durante o evento, foram apresentados aos participantes os objetivos do plano e os principais resultados preliminares dos estudos técnicos em desenvolvimento (Figura 2). A exposição buscou contextualizar os desafios climáticos enfrentados pelo estado e apresentar as bases conceituais que orientam a construção das estratégias de mitigação e adaptação.

Figura 2: Consulta pública do PEAC/SE na região Agreste, no município de Lagarto/SE.



Fonte: Registro Fotográfico – FIA (2026).

Após a apresentação do Plano, foi aberto espaço para diálogo com os participantes, no qual foram discutidos diferentes aspectos relacionados à realidade socioeconômica da região do Agreste. Entre os temas levantados pelos participantes, destacaram-se questões ligadas à gestão dos recursos hídricos, à atividade agropecuária e às oportunidades de redução de emissões em diferentes setores produtivos.

Também foram discutidas iniciativas relacionadas à transição energética, ao incentivo ao uso de fontes renováveis de energia e ao aprimoramento da gestão de resíduos sólidos. No setor agrícola, surgiram propostas associadas à adoção de práticas produtivas mais sustentáveis, capazes de reduzir emissões e, ao mesmo tempo, fortalecer a adaptação das atividades rurais às variações climáticas.

Outro tema recorrente nas contribuições foi o papel da educação ambiental na construção de uma agenda climática mais robusta. Os participantes destacaram a importância de ampliar ações educativas, campanhas de sensibilização e programas de formação voltados tanto para estudantes quanto para a população em geral.

3.4.3 CONSULTA PÚBLICA – REGIÃO DO LITORAL

A consulta pública da região do Litoral foi realizada no dia 18 de dezembro de 2025, no município de Aracaju/SE, no auditório da Companhia de Desenvolvimento

Econômico de Sergipe (CODISE). O encontro reuniu representantes de instituições públicas, pesquisadores, membros da sociedade civil e atores vinculados a atividades econômicas presentes na zona costeira do estado.

Figura 3: Consulta pública do PEAC/SE na região Litoral, no município de Aracaju/SE



Fonte: Registro Fotográfico – FIA (2026).

A realização da consulta na capital teve como objetivo ampliar o diálogo com diferentes segmentos envolvidos na gestão e no uso dos territórios litorâneos, considerando a relevância ambiental, social e econômica dessa região para o Estado de Sergipe. Durante o encontro, a equipe técnica apresentou os objetivos do Plano Estadual de Ações Climáticas, bem como informações sobre os estudos técnicos que vêm sendo conduzidos para subsidiar a formulação das estratégias de mitigação e adaptação. A exposição incluiu aspectos relacionados ao diagnóstico climático do estado e às principais vulnerabilidades identificadas.

Finalizada a apresentação do Plano, o espaço foi aberto para as contribuições dos participantes. Entre os temas discutidos pelos participantes, destacaram-se a conservação dos ecossistemas costeiros, a gestão sustentável de recursos naturais e os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre atividades econômicas locais, como a pesca artesanal e o turismo. Também foram mencionadas preocupações relacionadas à proteção de manguezais, à qualidade ambiental das áreas costeiras e à necessidade de fortalecimento de políticas públicas voltadas à adaptação climática nesses territórios.

A educação ambiental também apareceu como tema relevante nas discussões, sendo apontada como instrumento fundamental para ampliar a conscientização da população e apoiar a implementação de práticas sustentáveis nas comunidades costeiras.

3.4.4 CONSULTA PÚBLICA VIRTUAL

Com o objetivo de ampliar as possibilidades de participação social no processo de elaboração do Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe (PEAC/SE), foi disponibilizada também uma etapa de consulta pública em formato virtual. Essa estratégia permitiu que cidadãos, instituições e representantes de diferentes setores da sociedade pudessem registrar contribuições de forma remota, complementando os debates realizados nas consultas presenciais promovidas nas regiões do Sertão, Agreste e Litoral.

As consultas virtuais foram disponibilizadas por meio de formulários eletrônicos estruturados, elaborados especificamente para coletar percepções, sugestões e propostas relacionadas aos principais eixos dos planos em elaboração. Os formulários foram divulgados pela SEMAC, sendo disponibilizados à população por meio de link eletrônico e QR Code, amplamente divulgados durante as consultas públicas presenciais e em canais institucionais.

A utilização desse mecanismo permitiu ampliar o alcance do processo participativo, possibilitando a contribuição de participantes que não puderam comparecer aos encontros presenciais, além de permitir o registro mais detalhado de sugestões e percepções sobre os desafios climáticos enfrentados pelo estado.

Foram realizadas duas consultas virtuais distintas, correspondentes aos principais instrumentos em elaboração no âmbito do PEAC/SE:

- Consulta virtual para o Plano de Mitigação e Adaptação Climática;
- Consulta virtual para o Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública.

As contribuições recebidas foram posteriormente sistematizadas pela equipe técnica responsável pelo plano e consideradas na consolidação das diretrizes, estratégias e ações propostas nos documentos finais.

3.4.4.1 Consulta virtual para o Plano de Mitigação e Adaptação Climática

A consulta virtual destinada à elaboração do Plano de Mitigação e Adaptação Climática teve como objetivo coletar percepções da sociedade acerca dos impactos das mudanças climáticas no território sergipano, bem como identificar prioridades e

sugestões de ações voltadas à redução de emissões de gases de efeito estufa e ao fortalecimento da capacidade de adaptação das diferentes regiões do estado.

O formulário eletrônico foi estruturado com questões abertas e fechadas que permitiram aos participantes registrar informações sobre o município de residência, a região climática à qual pertence o território e a eventual vinculação institucional dos respondentes. Além disso, os participantes puderam indicar quais vulnerabilidades climáticas são vivenciadas em seus territórios e de que forma essas condições impactam a qualidade de vida das populações locais.

O instrumento também buscou identificar os temas considerados prioritários para o plano, bem como coletar sugestões de ações de mitigação e adaptação climática que poderiam ser implementadas nos territórios. Os participantes tiveram ainda a oportunidade de indicar quais atores institucionais deveriam estar envolvidos na implementação das estratégias propostas e quais são os principais desafios para a execução das medidas previstas.

Outro conjunto de perguntas esteve relacionado às formas de comunicação e participação social, incluindo questões sobre como as informações ambientais e climáticas chegam com maior eficácia à população, quais mecanismos poderiam contribuir para ampliar a participação social e de que forma os participantes gostariam de acompanhar os resultados e o desenvolvimento do plano ao longo do tempo.

Ao final do formulário, foi disponibilizado espaço aberto para que os participantes registrassem sugestões adicionais ou mensagens voltadas ao aprimoramento do Plano de Mitigação e Adaptação Climática.

3.4.4.2 Consulta virtual para o Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública

A consulta virtual voltada à revisão e consolidação do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública teve como finalidade reunir contribuições da sociedade sobre estratégias de sensibilização, formação e mobilização social relacionadas às mudanças climáticas e à promoção da sustentabilidade no Estado de Sergipe.

O formulário eletrônico contemplou inicialmente perguntas relacionadas à caracterização dos participantes, incluindo município de residência, região climática correspondente e eventual representação institucional. Em seguida, os participantes foram convidados a avaliar sua percepção sobre a situação atual da educação ambiental e

climática, bem como indicar os principais problemas ambientais que afetam suas cidades ou regiões.

O instrumento também buscou identificar quais temas deveriam ser considerados prioritários no plano e quais públicos deveriam ser atendidos de forma prioritária pelas ações de educação ambiental. Os participantes puderam ainda indicar quais tipos de iniciativas consideram mais relevantes para fortalecer a educação ambiental e climática, além de sugerir ações específicas que poderiam ser implementadas em seus territórios.

Assim como na consulta referente ao plano de mitigação e adaptação, foram incluídas perguntas relacionadas aos mecanismos de comunicação e participação social, buscando compreender quais são os meios mais eficazes para a disseminação de informações ambientais e climáticas, bem como identificar estratégias capazes de ampliar o engajamento da população nas ações previstas pelo plano.

Os participantes também foram convidados a indicar de que forma gostariam de acompanhar os resultados das políticas e programas relacionados à educação ambiental, além de sugerir mecanismos que permitam a participação contínua da sociedade no processo de implementação e monitoramento do plano. Ao final do formulário, foi disponibilizado um campo aberto para que os respondentes registrassem sugestões adicionais ou contribuições voltadas ao aprimoramento do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública.

4 RESULTADOS OBTIDOS

O processo participativo associado à elaboração do Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe (PEAC/SE) gerou um conjunto de contribuições provenientes de diferentes segmentos da sociedade, obtidas tanto por meio das consultas públicas presenciais realizadas nas regiões do Sertão, Agreste e Litoral, quanto por meio das consultas virtuais disponibilizadas à população em formato digital.

Os resultados aqui sistematizados referem-se especificamente às contribuições coletadas por meio das consultas públicas virtuais, conduzidas de forma complementar às etapas presenciais do processo participativo. As duas consultas virtuais realizadas – uma voltada à elaboração do Plano de Mitigação e Adaptação Climática e outra destinada à revisão do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública – foram estruturadas a partir de formulários eletrônicos com questões abertas e fechadas, abrangendo percepções sobre vulnerabilidades climáticas, prioridades temáticas,

sugestões de ações, identificação de atores envolvidos, desafios para implementação e mecanismos de comunicação e participação social.

As contribuições foram organizadas de modo a subsidiar a consolidação das diretrizes, estratégias e ações propostas nos documentos finais do PEAC/SE. Os resultados são apresentados a seguir, de forma individualizada para cada uma das consultas realizadas.

4.1 CONSULTA VIRTUAL PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA

A consulta pública virtual voltada à elaboração do Plano de Mitigação e Adaptação Climática permaneceu disponível por 37 dias e reuniu 26 participantes distribuídos em diferentes municípios do Estado de Sergipe.

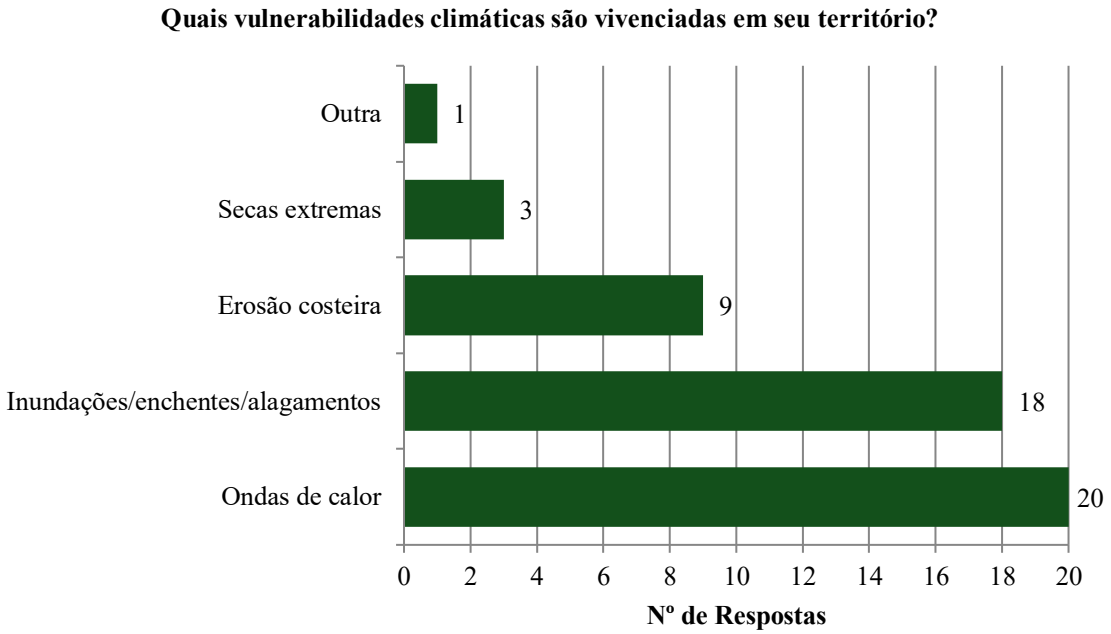
Do ponto de vista territorial, observou-se uma concentração expressiva de participantes residentes em Aracaju, que representaram cerca de dois terços do total. Ainda assim, houve participação de municípios como Nossa Senhora do Socorro, Lagarto, Boquim, Pirambu, Divina Pastora, São Cristóvão, Barra dos Coqueiros e Feira Nova, o que confere certa diversidade à amostra, ainda que com predominância da Região Metropolitana. Essa distribuição também se reflete na classificação regional, com maior presença de respondentes vinculados ao território do Leste Sergipano e da Grande Aracaju.

No que se refere ao perfil institucional, verificou-se a participação de representantes de diferentes setores estratégicos para a agenda climática, incluindo órgãos públicos, instituições de pesquisa, entidades da sociedade civil e setores ligados à infraestrutura, saneamento, energia e segurança. Parte dos participantes contribuiu na condição de cidadão, sem vínculo institucional declarado, o que amplia o caráter plural da consulta.

A percepção dos respondentes sobre as vulnerabilidades climáticas evidencia um cenário marcado pela combinação de eventos extremos associados tanto ao aumento das temperaturas quanto à ocorrência de chuvas intensas. As ondas de calor aparecem como a condição mais frequentemente mencionada, seguidas de perto pelas inundações, enchentes e alagamentos, que também se destacam de forma significativa. A erosão costeira surge como uma preocupação relevante, especialmente considerando a ocupação das zonas litorâneas do estado, enquanto as secas extremas, embora menos citadas, permanecem presentes no conjunto de respostas.

Essa distribuição pode ser observada na Figura 4, que sintetiza as principais vulnerabilidades identificadas pelos participantes.

Figura 4: Vulnerabilidades climáticas vivenciadas nos territórios dos respondentes.

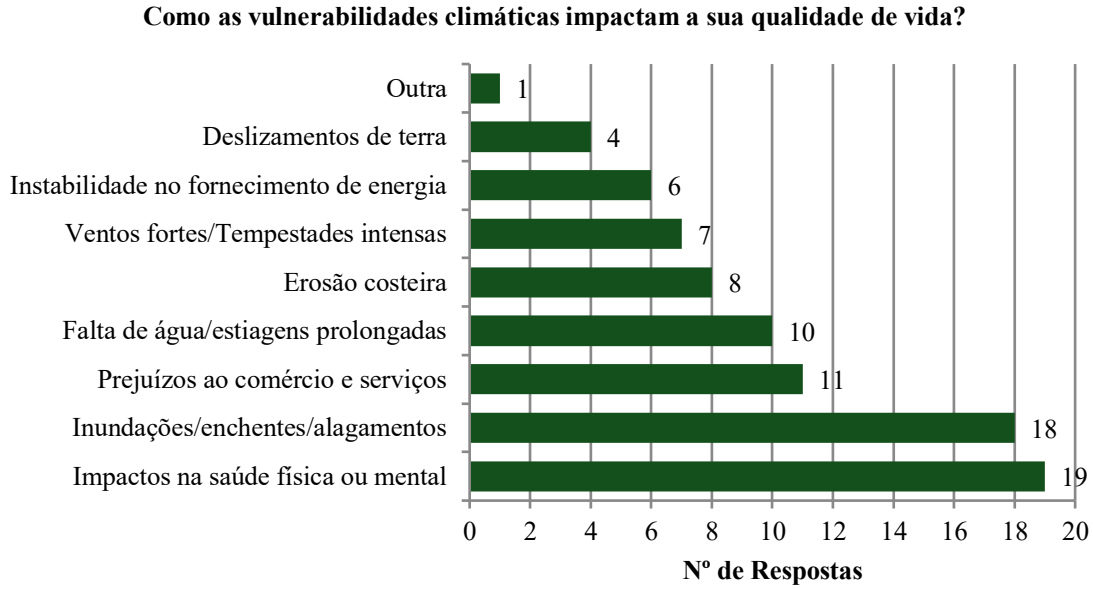


Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Na sequência, ao analisarem os efeitos dessas vulnerabilidades sobre a qualidade de vida, os participantes indicaram, de forma bastante consistente, impactos diretos sobre a saúde física e mental da população, além de prejuízos associados a eventos de inundação, que voltam a aparecer com elevada frequência. Também se destacam impactos sobre atividades econômicas, dificuldades relacionadas ao abastecimento de água e efeitos sobre infraestrutura urbana e serviços essenciais.

A Figura 5 apresenta a forma como esses impactos são percebidos pelos respondentes, evidenciando que as mudanças climáticas já se manifestam de maneira concreta no cotidiano da população.

Figura 5: Impactos das vulnerabilidades climáticas na qualidade de vida.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Quando direcionadas às prioridades do plano, as respostas indicam uma clara valorização de estratégias voltadas à prevenção de eventos extremos, à conservação ambiental e ao monitoramento climático. Além disso, temas relacionados à justiça climática, inclusão socioambiental e economia circular também aparecem de forma consistente, revelando uma compreensão relativamente abrangente sobre os múltiplos aspectos envolvidos na agenda climática.

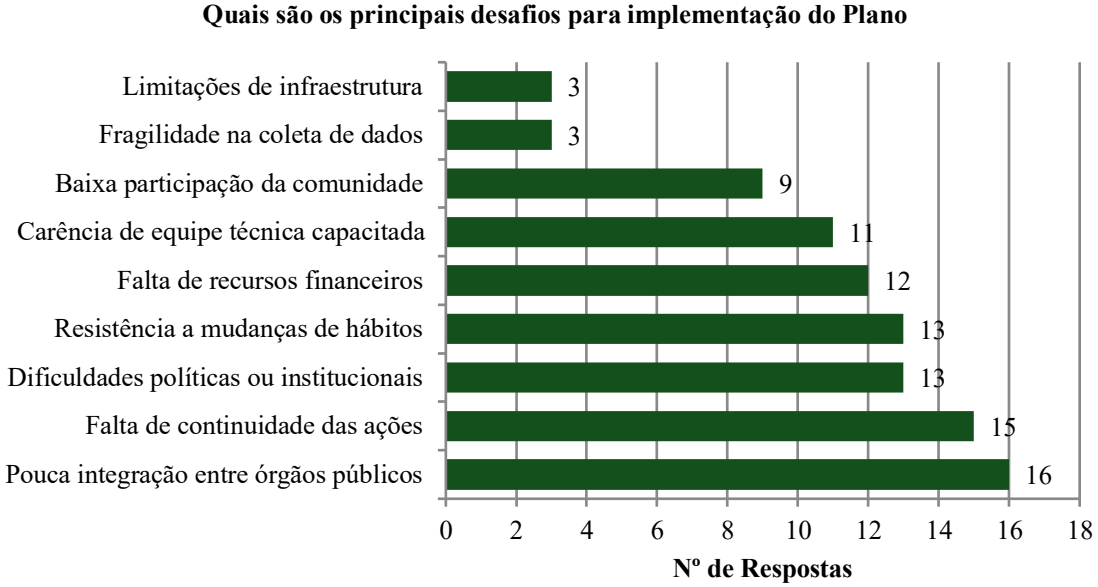
No campo das soluções propostas, observa-se forte convergência em torno de ações com caráter estrutural e preventivo. A ampliação de áreas verdes, a recuperação de áreas degradadas e a proteção de recursos hídricos figuram entre as iniciativas mais recorrentes, acompanhadas por propostas relacionadas à educação ambiental, melhoria da drenagem urbana e fortalecimento de sistemas de alerta. Também aparecem, com menor frequência, medidas voltadas à transição energética, mobilidade sustentável e práticas agrícolas de baixo carbono, indicando uma diversidade de abordagens possíveis para o enfrentamento dos desafios identificados.

A análise dos atores considerados essenciais para a implementação do plano reforça o papel central do Poder Público, ao mesmo tempo em que evidencia a importância da articulação com instituições de ensino, comunidades locais e setor produtivo. Essa percepção aponta para a necessidade de construção de uma governança climática integrada, capaz de mobilizar diferentes segmentos sociais e institucionais.

Por outro lado, os principais desafios identificados pelos participantes indicam entraves estruturais e institucionais relevantes. A baixa integração entre órgãos públicos

e a descontinuidade das ações ao longo do tempo aparecem como os obstáculos mais recorrentes, seguidos por dificuldades políticas, resistência a mudanças de comportamento e limitações financeiras e técnicas. Esses aspectos são sintetizados na Figura 6.

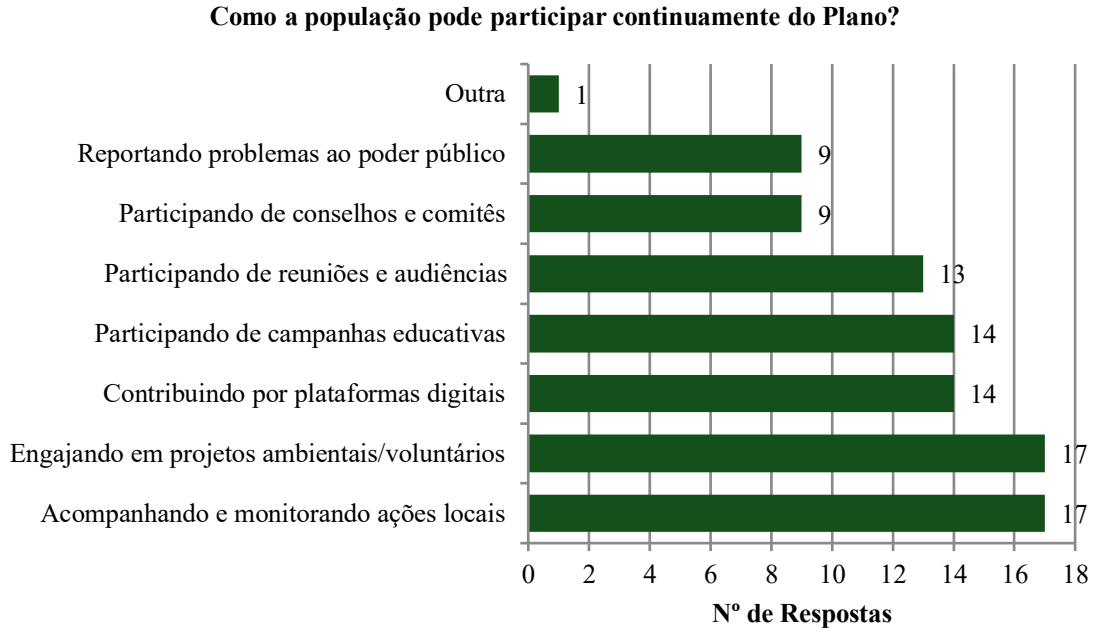
Figura 6: Principais desafios para a implementação do Plano de Mitigação e Adaptação Climática.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

No que se refere à participação social, os resultados indicam uma forte demanda por mecanismos contínuos de envolvimento da população, com destaque para a atuação direta junto ao Poder Público, o acompanhamento de ações locais e o engajamento em projetos comunitários e institucionais. A Figura 7 apresenta essas preferências, evidenciando que a população demonstra interesse não apenas em contribuir pontualmente, mas também em acompanhar e participar ativamente da implementação do plano.

Figura 7: Formas de participação contínua da população no Plano.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

De modo geral, os resultados da consulta virtual indicam uma percepção consolidada sobre a relevância das mudanças climáticas no cotidiano da população sergipana, bem como uma compreensão consistente sobre a necessidade de ações integradas, preventivas e territorialmente orientadas. Ao mesmo tempo, evidenciam desafios importantes relacionados à governança, à capacidade institucional e à continuidade das políticas públicas.

As contribuições qualitativas apresentadas pelos participantes, especialmente por meio das respostas abertas, complementam essa análise ao trazer elementos mais detalhados sobre demandas específicas, propostas e percepções territoriais. Esse conjunto de contribuições encontra-se sistematizado no item “Considerações Finais”.

O conjunto de atividades desenvolvidas no âmbito do Produto 4.1 permitiu consolidar um processo participativo estruturado, abrangente e alinhado às diretrizes contemporâneas de governança climática. A realização das consultas públicas presenciais e virtuais possibilitou a escuta qualificada de diferentes segmentos da sociedade sergipana, incorporando percepções, experiências territoriais e contribuições técnicas ao processo de elaboração do PEMAMC-SE e do PEACP/SE.

A estratégia de regionalização das consultas presenciais mostrou-se adequada para captar as especificidades socioambientais das diferentes zonas climáticas do estado. As discussões realizadas no Sertão, Agreste e Litoral evidenciaram que, embora os impactos das mudanças climáticas apresentem características comuns – como o aumento

da temperatura e a intensificação de eventos extremos, suas manifestações e consequências variam conforme o contexto territorial, exigindo abordagens diferenciadas e adaptadas às realidades locais.

De forma complementar, a consulta virtual ampliou as possibilidades de participação, permitindo o registro de contribuições estruturadas e a sistematização de percepções sobre vulnerabilidades climáticas, prioridades de ação e estratégias de mitigação e adaptação. Os resultados indicam uma percepção consolidada de que os eventos extremos, especialmente ondas de calor e inundações, constituem os principais desafios enfrentados pela população, com impactos diretos sobre a saúde, a segurança hídrica e as atividades econômicas.

As contribuições também evidenciam convergência em torno da necessidade de adoção de soluções baseadas na natureza, ampliação de áreas verdes, melhoria da drenagem urbana, fortalecimento da educação ambiental e incentivo à participação comunitária. Destaca-se, ainda, o reconhecimento da importância de integrar diferentes atores na implementação das ações climáticas, incluindo o Poder Público, instituições de ensino e pesquisa, setor privado e comunidades locais.

No que se refere ao Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública, os resultados apontam para a necessidade de fortalecimento das ações educativas de forma contínua, territorializada e acessível. A educação ambiental é compreendida pelos participantes como elemento estruturante para a efetividade das políticas climáticas, devendo ultrapassar o ambiente escolar e alcançar comunidades, territórios vulneráveis e diferentes grupos sociais. Nesse contexto, a valorização de práticas educativas aplicadas, associadas à realidade local, e o uso de linguagens acessíveis e canais digitais de comunicação aparecem como fatores estratégicos para ampliar o engajamento social.

Outro aspecto relevante identificado ao longo do processo refere-se à demanda por maior articulação entre Estado e municípios, ao fortalecimento das estruturas locais de gestão ambiental, à ampliação da participação social e à adoção de instrumentos econômicos e regulatórios capazes de induzir práticas sustentáveis.

Dessa forma, o processo participativo conduzido no âmbito do PEAC/SE não apenas contribuiu para a qualificação técnica dos planos em elaboração, mas também reforçou a importância da participação social como componente essencial da política climática. Ao incorporar diferentes perspectivas e realidades territoriais, o plano avança no sentido de construir respostas mais robustas, legítimas e aderentes às necessidades da população sergipana.

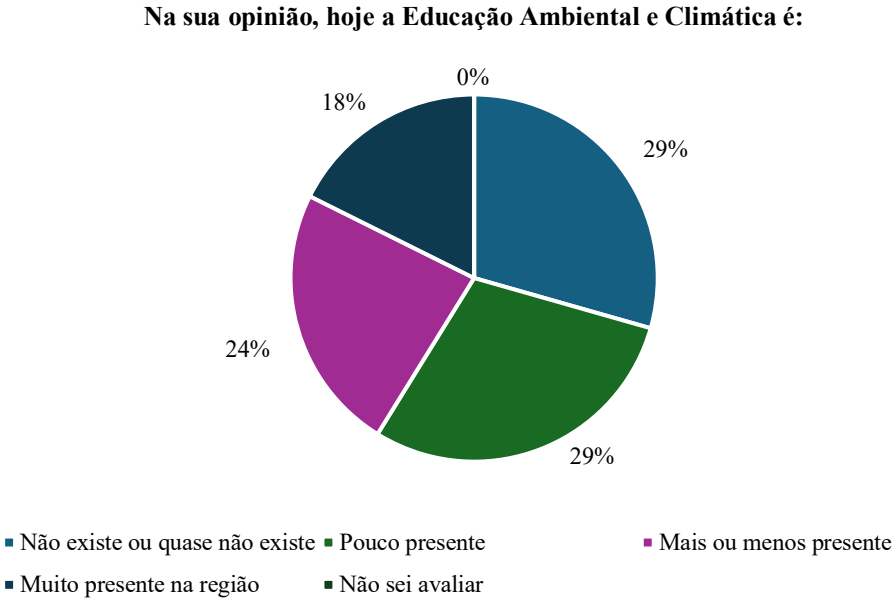
Por fim, ressalta-se que a continuidade do engajamento social ao longo das etapas de implementação, monitoramento e revisão do plano será fundamental para garantir sua efetividade. A consolidação de canais permanentes de participação, aliada à transparência na divulgação de resultados e à valorização das contribuições da sociedade, constitui elemento central para o fortalecimento da governança climática no Estado de Sergipe.

4.2 CONSULTA VIRTUAL PARA A REVISÃO DO PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA

A consulta virtual destinada à revisão do Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública foi realizada por meio de formulário eletrônico, contando com 17 participações. Diferentemente da consulta voltada à mitigação e adaptação climática, as respostas desta etapa apresentaram concentração territorial mais acentuada. Todos os participantes declararam residência no município de Aracaju. Esse padrão evidencia uma limitação na abrangência territorial da amostra, ao mesmo tempo em que permite uma leitura mais direcionada sobre a percepção urbana da educação ambiental no estado.

No que se refere à percepção sobre a educação ambiental e climática, os resultados indicam que a maior parte dos respondentes avalia sua presença como insuficiente. As respostas se distribuem entre as categorias “não existe ou quase não existe” e “pouco presente”, enquanto uma parcela menor considera que essas ações estão mais ou menos presentes ou bem estabelecidas. Esse resultado sugere que, na visão dos participantes, a educação ambiental ainda não se encontra consolidada de forma contínua no território analisado (Figura 8).

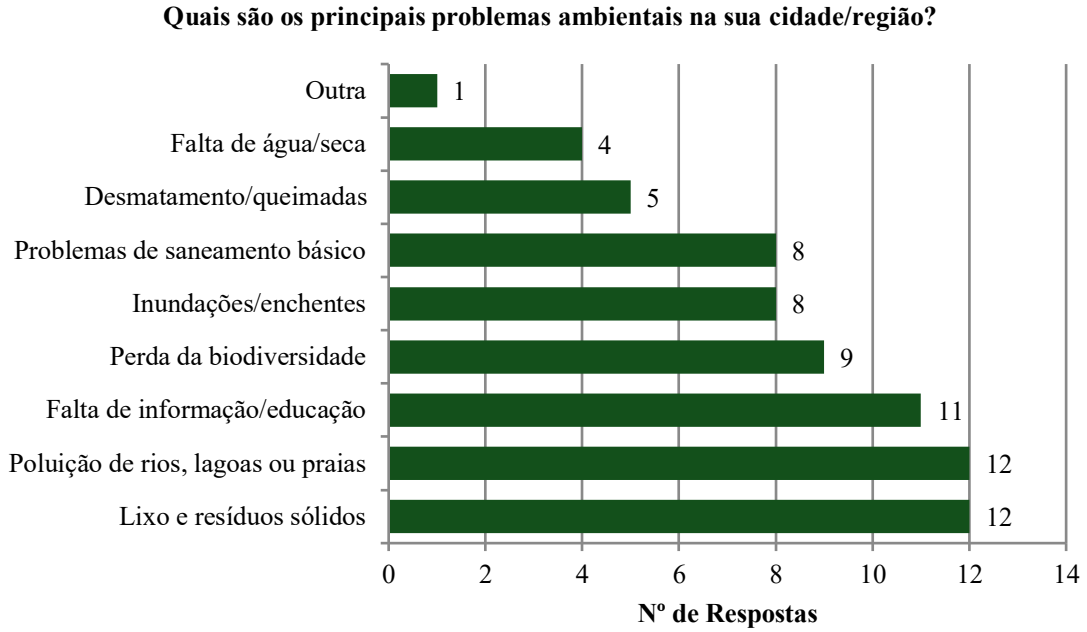
Figura 8: Percepção sobre a educação ambiental e climática.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A análise dos problemas ambientais apontados reforça esse cenário. Entre os temas mais recorrentes destacam-se o lixo e os resíduos sólidos, bem como a poluição de rios, lagoas e praias, ambos com elevada frequência de respostas. A falta de informação e educação ambiental também aparece com destaque, sendo indicada por parte significativa dos participantes, o que evidencia a relação direta entre os problemas ambientais identificados e a necessidade de ações educativas mais estruturadas. Outros temas mencionados incluem perda de biodiversidade, problemas de saneamento básico, ocorrência de enchentes, desmatamento e escassez hídrica (Figura 9).

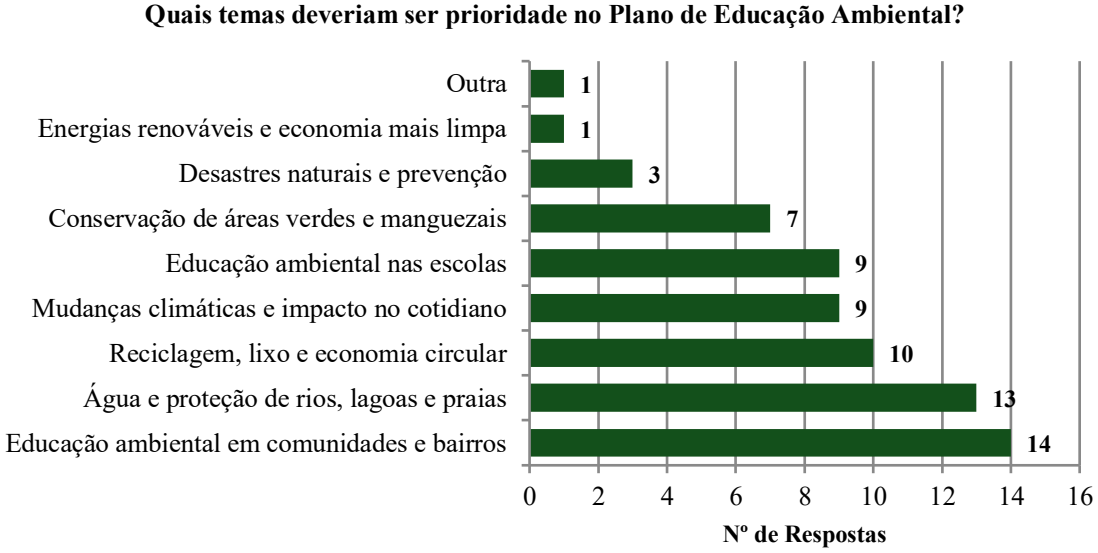
Figura 9: Principais problemas ambientais identificados.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Em relação aos temas prioritários para o plano, as respostas indicam maior concentração em torno da educação ambiental em comunidades e bairros, seguida por ações voltadas à proteção de recursos hídricos e à gestão de resíduos. Também foram mencionados temas como mudanças climáticas, educação ambiental nas escolas e conservação de áreas verdes, demonstrando a diversidade de assuntos considerados relevantes pelos participantes (Figura 10).

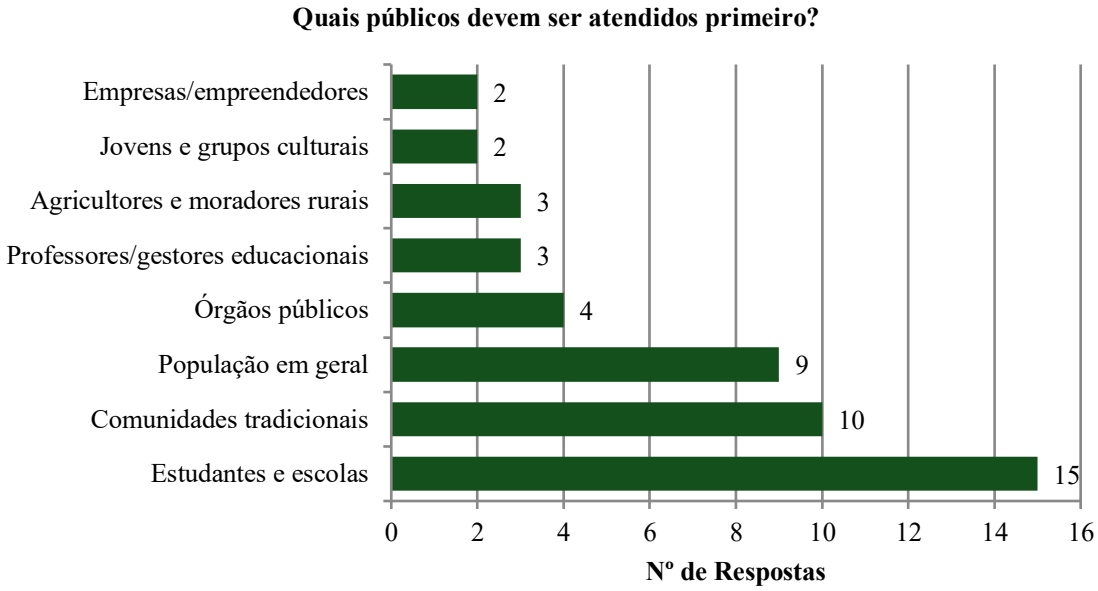
Figura 10: Temas prioritários para o Plano de Educação Ambiental.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A definição dos públicos prioritários apresenta predominância de estudantes e escolas, seguidos por comunidades tradicionais e população em geral. Outros grupos, como órgãos públicos, professores, agricultores e representantes do setor produtivo, também foram mencionados, porém com menor frequência (Figura 11).

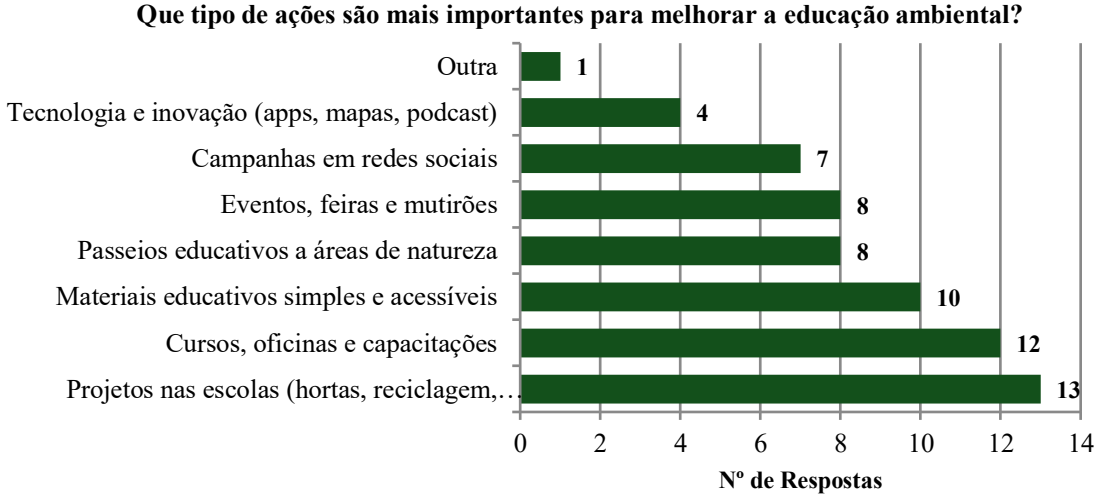
Figura 11: Públicos prioritários para ações de educação ambiental.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

No que diz respeito às ações consideradas mais importantes para fortalecer a educação ambiental, destacam-se os projetos desenvolvidos em escolas, seguidos por cursos, oficinas e capacitações, além da produção de materiais educativos simples e acessíveis. Também foram citadas atividades como eventos, feiras, mutirões e ações com uso de tecnologias, ainda que com menor número de indicações (Figura 12).

Figura 12: Tipos de ações prioritárias para educação ambiental.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Em relação aos canais de comunicação, as redes sociais aparecem como principal meio de acesso à informação ambiental, seguidas por aplicativos de mensagens e encontros presenciais. Esse padrão é semelhante ao observado na consulta voltada à mitigação e adaptação climática, indicando uma tendência consistente quanto aos meios de comunicação mais utilizados pelos participantes.

As contribuições qualitativas registradas nos campos abertos do formulário reforçam alguns aspectos identificados nas respostas estruturadas (ANEXOS). Entre os principais pontos mencionados, estão a necessidade de continuidade das ações de educação ambiental, a importância de utilização de linguagem acessível, a ampliação das iniciativas para bairros e comunidades e a integração entre diferentes instituições. Também foram sugeridas ações práticas, como hortas urbanas, arborização e proteção de ecossistemas, além da articulação com escolas, universidades e órgãos públicos.

Por fim, as contribuições indicam a importância de que as ações previstas no plano sejam efetivamente implementadas, com resultados perceptíveis pela população, reforçando a necessidade de alinhamento entre planejamento e execução.

5 LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CONSULTA PÚBLICA DO PEAC/SE NA REGIÃO DO SERTÃO, NO MUNICÍPIO DE NOSSA SENHORA DA GLÓRIA/SE. 11
FIGURA 2: CONSULTA PÚBLICA DO PEAC/SE NA REGIÃO AGRESTE, NO MUNICÍPIO DE LAGARTO/SE. 13
FIGURA 3: CONSULTA PÚBLICA DO PEAC/SE NA REGIÃO LITORAL, NO MUNICÍPIO DE ARACAJU/SE 14
FIGURA 4: VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS VIVENCIADAS NOS TERRITÓRIOS DOS RESPONDENTES. 19
FIGURA 5: IMPACTOS DAS VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DE VIDA 20
FIGURA 6: PRINCIPAIS DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA. 21
FIGURA 7: FORMAS DE PARTICIPAÇÃO CONTÍNUA DA POPULAÇÃO NO PLANO. 22
FIGURA 8: PERCEPÇÃO SOBRE A EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CLIMÁTICA. 25
FIGURA 9: PRINCIPAIS PROBLEMAS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS. 26
FIGURA 10: TEMAS PRIORITÁRIOS PARA O PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL. 26
FIGURA 11: PÚBLICOS PRIORITÁRIOS PARA AÇÕES DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL. 27
FIGURA 12: TIPOS DE AÇÕES PRIORITÁRIAS PARA EDUCAÇÃO AMBIENTAL. 27
FIGURA 13: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – SERTÃO – PÁGINA 1 32
FIGURA 14: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – SERTÃO – PÁGINA 2 33
FIGURA 15: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – SERTÃO – PÁGINA 3 34
FIGURA 16: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – SERTÃO – PÁGINA 4 35
FIGURA 17: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – SERTÃO – PÁGINA 5 36
FIGURA 18: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – SERTÃO – PÁGINA 6 37
FIGURA 19: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – AGRESTE – PÁGINA 1 38
FIGURA 20: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – AGRESTE – PÁGINA 2 39
FIGURA 21: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – LITORAL – PÁGINA 1 40
FIGURA 22: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – LITORAL – PÁGINA 2 41
FIGURA 23: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – LITORAL – PÁGINA 3 42
FIGURA 24: LISTA DE PRESENÇA DA CONSULTA PÚBLICA – LITORAL – PÁGINA 4 43
FIGURA 25: FORMAÇÃO DA MESA – CONSULTA PÚBLICA SERTÃO 44
FIGURA 26: APRESENTAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DE SERGIPE – CONSULTA PÚBLICA SERTÃO 44
FIGURA 27: APRESENTAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DE SERGIPE – CONSULTA PÚBLICA SERTÃO 45
FIGURA 28: APRESENTAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DE SERGIPE – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 45
FIGURA 29: PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 46
FIGURA 30: PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 46
FIGURA 31: PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 47
FIGURA 32: CONTRIBUIÇÕES DOS PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 47
FIGURA 33: REALIZAÇÃO DA DINÂMICA PARTICIPATIVA – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 48
FIGURA 34: CONTRIBUIÇÕES DOS REPRESENTANTES PRESENTES – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 48
FIGURA 35: CONTRIBUIÇÕES DA REPRESENTANTE DA ADEMA – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 49
FIGURA 36: APRESENTAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DE SERGIPE – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 49
FIGURA 37: PARTICIPAÇÃO DOS BOMBEIROS – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE 50

FIGURA 38: REPRESENTANTES E EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DE SERGIPE – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE.....50
FIGURA 39: PARTICIPANTES, REPRESENTANTES E EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DE SERGIPE – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 51
FIGURA 40: APRESENTAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DE SERGIPE – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 51
FIGURA 41: CONTRIBUIÇÕES DOS PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE.....52
FIGURA 42: CONTRIBUIÇÕES DOS PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE.....52
FIGURA 43: FORMAÇÃO DA MESA – CONSULTA PÚBLICA LITORAL. 53
FIGURA 44: CONTRIBUIÇÕES DOS PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA LITORAL. 53
FIGURA 45: CONTRIBUIÇÕES DOS PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA LITORAL. 54
FIGURA 46: CONTRIBUIÇÕES DOS PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA LITORAL. 54
FIGURA 47: CONTRIBUIÇÕES DOS PARTICIPANTES – CONSULTA PÚBLICA LITORAL. 55
FIGURA 48: PARTICIPANTES, REPRESENTANTES E EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS DE SERGIPE – CONSULTA PÚBLICA AGRESTE. 55

6 LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: PRODUTOS DO MÓDULO 4 DO PLANO ESTADUAL DE AÇÕES CLIMÁTICAS (PEAC/SE).....3
QUADRO 2: DIVISÃO DE MUNICÍPIOS SERGIPANOS POR REGIÃO CLIMÁTICA. 7
QUADRO 3: CONTRIBUIÇÕES DA CONSULTA VIRTUAL PARA O PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA 56
QUADRO 4: CONTRIBUIÇÕES DA CONSULTA VIRTUAL PARA O PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA 60

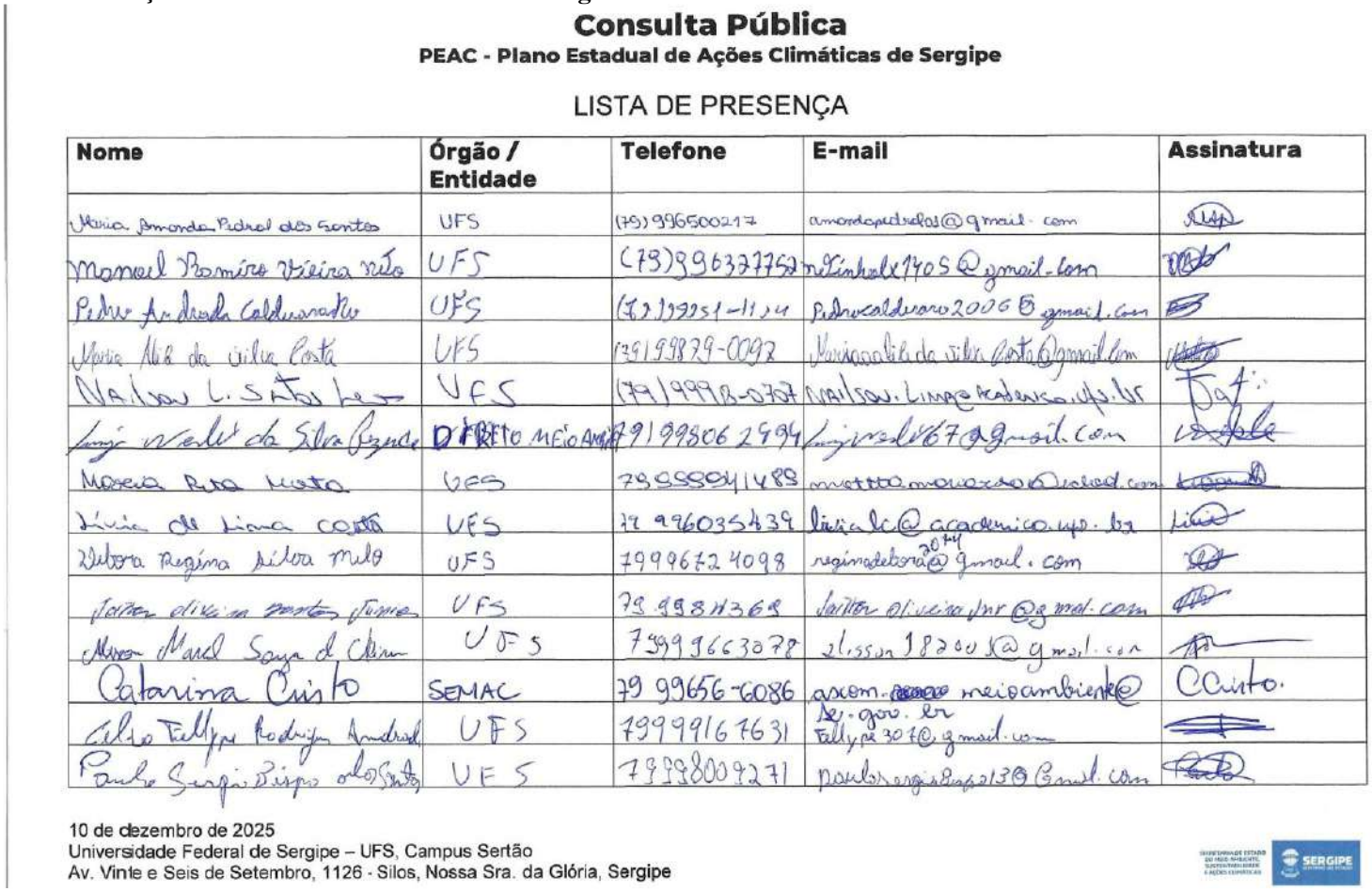
7 ANEXOS

7.1 LISTAS DE PRESENÇA

Nos subtópicos a seguir, serão apresentadas as listas de presença de cada Consulta Pública realizada no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe.

7.1.1 CONSULTA PÚBLICA SERTÃO

Figura 13: Lista de Presença da Consulta Pública – Sertão – Página 1



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

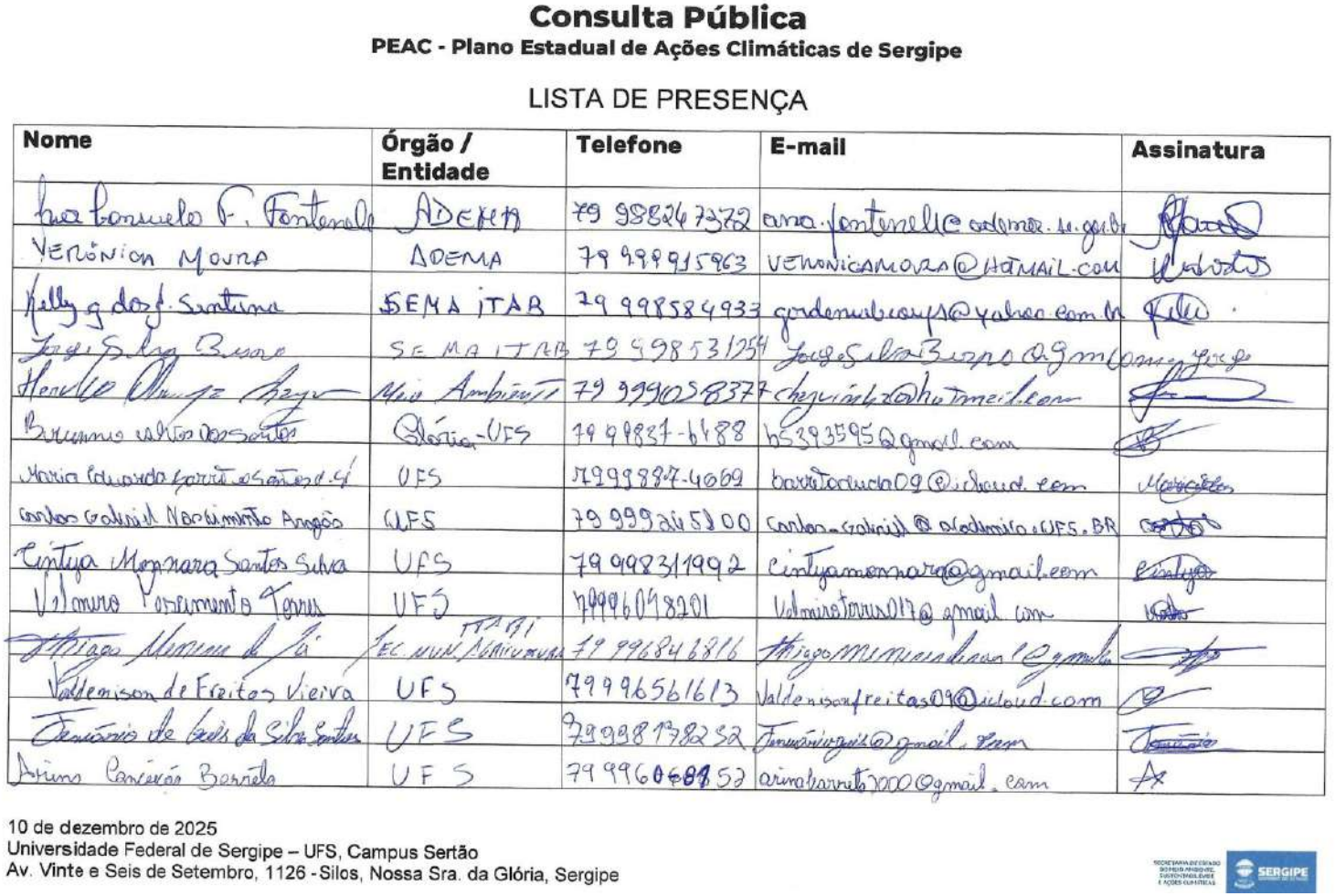
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Maria Amanda Pedrel dos Santos	UFS	(79) 996500217	amandapedrelos@gmail.com	
Manoel Ramiro Vieira Neto	UFS	(79)996337752	[illegible]	
Pedro Arcanjo Caldeirão	UFS	(79)99951-1124	[illegible]	
Maria Alice da Silva Costa	UFS	(79)99879-0092	[illegible]	
Nailson L. Santos	UFS	(79)9998-0787	[illegible]	
[illegible]	DIREITO MEIO AMB	79199806 2494	[illegible]	
Moema [illegible]	UFS	79 9559941488	[illegible]	
Lívia de Lima Costa	UFS	79 996035439	[illegible]	
Débora Regina Silva Melo	UFS	7999672 4098	[illegible]	
[illegible]	UFS	79 998113689	[illegible]	
[illegible]	UFS	7999966 3078	[illegible]	
Catarina Cristo	SEMAC	79 99656-6086	[illegible]	
[illegible]	UFS	79999167631	[illegible]	
[illegible]	UFS	79998009271	[illegible]	

10 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Sertão
Av. Vinte e Seis de Setembro, 1126 - Silos, Nossa Sra. da Glória, Sergipe

Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 14: Lista de Presença da Consulta Pública – Sertão – Página 2



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

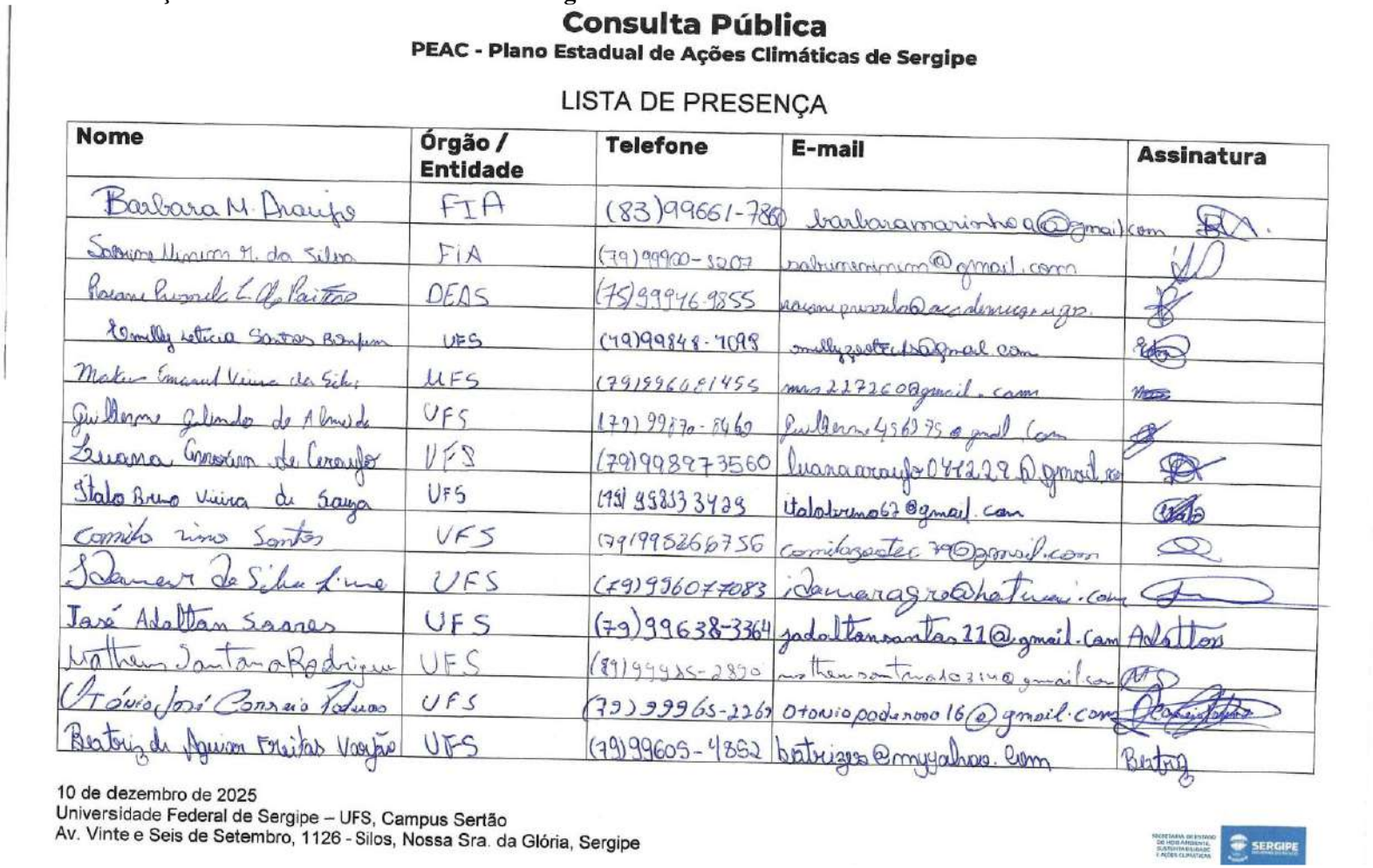
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Ana Manuela F. Fontenele	ADEMA	79 98824 7372	ana.fontenelle@adema.se.gov.br	
VERÔNICA MOURA	ADEMA	79 99991 5963	VERONICAMOURA@HOTMAIL.COM	
Kelly g. dos S. Santana	SEMA ITAB	79 99858 4933	gerenciabrcaps@yahoo.com.br	
Jorge Silva Bispo	SEMA ITAB	79 99853 1254	jorgesilvabispo@gmail.com	
Henrique Alencar Reis	Meio Ambiente	79 99905 8377	chefiadeg@hotmail.com	
Brunno Carlos dos Santos	Glória - UFS	79 99887-6688	bs393595@gmail.com	
Maria Eduarda Garcia dos Santos	UFS	79 99887-4669	barbaraduda09@icloud.com	
Carlos Gabriel Nascimento Aragão	UFS	79 99926 45800	carlos.gabriel@academico.ufs.br	
Cintya Monnara Santos Silva	UFS	79 99831 1992	cintyamonnara@gmail.com	
Valmara Nascimento Farias	UFS	79 99604 8201	valmariasfarias017@gmail.com	
Thiago Menezes de Sá	TEC MUNICIPAL	79 99684 6816	thiagomenezes@gmail.com	
Valdenison de Freitas Vieira	UFS	79 99656 1613	valdenisonfreitas09@icloud.com	
Jenaína de Cássia da Silva Santos	UFS	79 99881 7825 2	Jenainajesus@gmail.com	
Arlima Carneiro Barreto	UFS	79 9960[illegible]53	arlimabarreto2000@gmail.com	

10 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Sertão
Av. Vinte e Seis de Setembro, 1126 - Silos, Nossa Sra. da Glória, Sergipe

Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 15: Lista de Presença da Consulta Pública – Sertão – Página 3



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

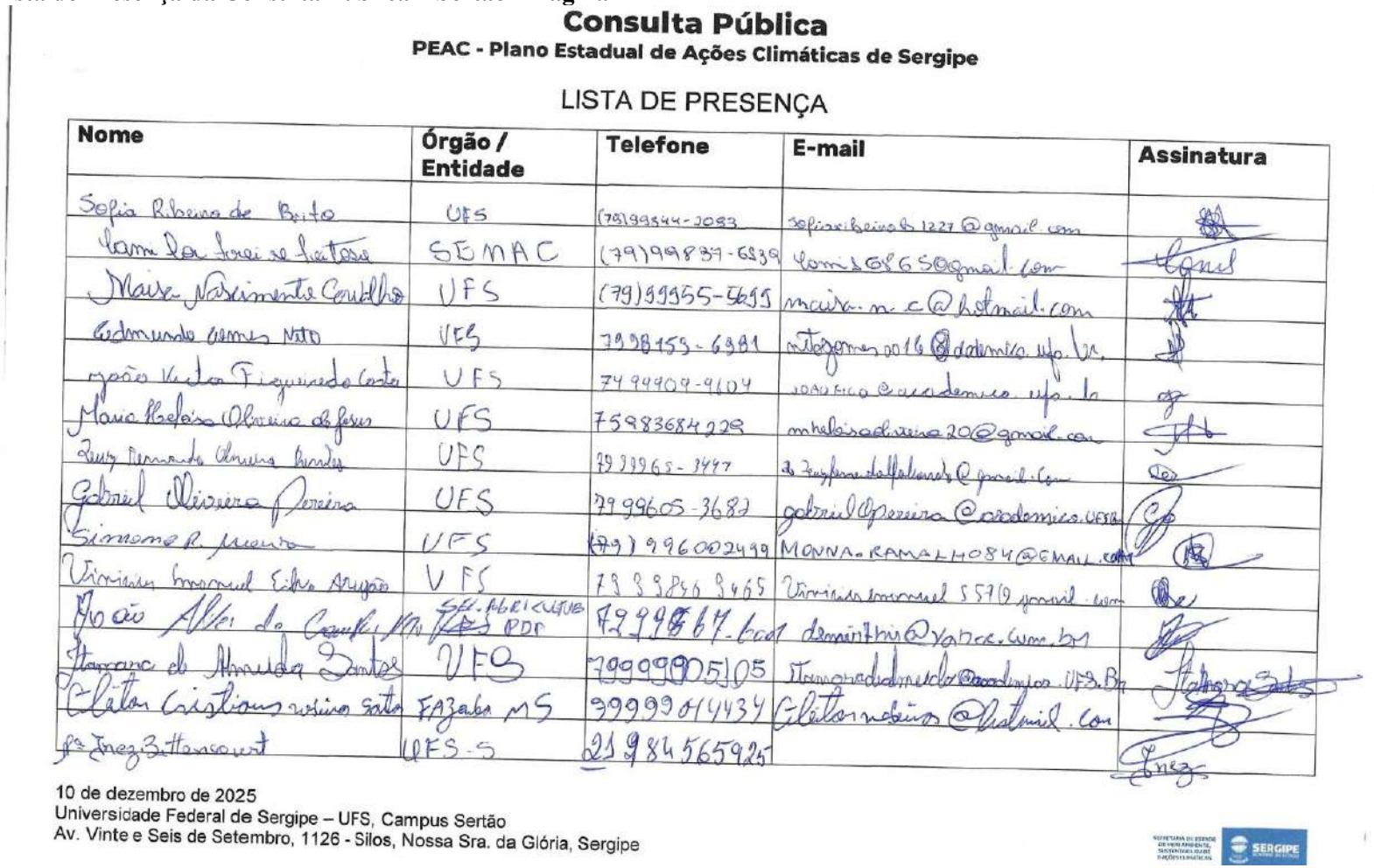
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Barbara M. Araujo	FIA	(83)99661-7860	barbaramarinho@gmail.com	
Sabrina Ximenes M. da Silva	FIA	(79)99900-8207	sabrinaximenes@gmail.com	
Rosana Pascoal C. de Freitas	DEAS	(75)99946-9855	rosanapascoal@academico.ufs.br	
Emilly Leticia Santos Bonfim	UFS	(79)99848-7099	emillyzeeti@gmail.com	
Maria Emanuel Vieira da Silva	UFS	(79)99606-8145	mes227260@gmail.com	
Guilherme Eduardo de Almeida	UFS	(79)9917o-8469	guilherme456975@gmail.com	
Luana Conceição de Carvalho	UFS	(79)998973560	luanacarvalho044229@gmail.com	
Ítalo Bruno Vieira de Souza	UFS	(79)99833 3429	italobruno67@gmail.com	
Camila Lima Santos	UFS	(79)995266756	camilazeetec79@gmail.com	
Idamara de Silva Lima	UFS	(79)996077083	idamaragro@hotmail.com	
José Adaltan Santos	UFS	(79)99638-3364	joadaltansantos21@gmail.com	Adaltan
Matheus Santana Rodrigues	UFS	(89)99985-2820	matheussantana2314@gmail.com	
Otávio José Correia Pedreira	UFS	(79)9996S-2267	Otaviopedreira16@gmail.com	
Beatriz de Aguiar Freitas Vargão	UFS	(79)99609-4852	beatrizgs@myyahoo.com	Beatriz

10 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Sertão
Av. Vinte e Seis de Setembro, 1126 - Silos, Nossa Sra. da Glória, Sergipe

Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 16: Lista de Presença da Consulta Pública – Sertão – Página 4



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

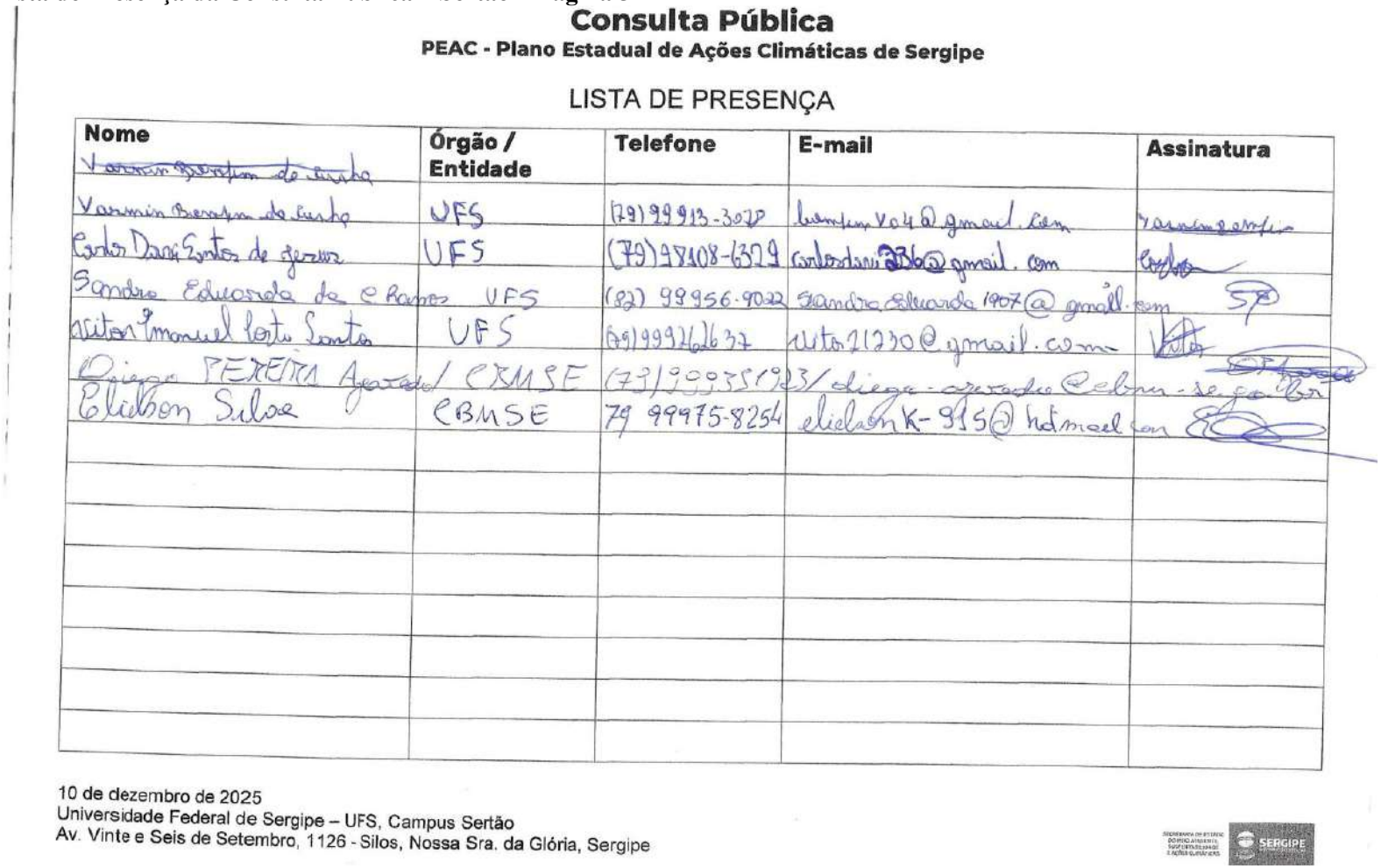
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Sofia Ribeiro de Brito	UFS	(79)99544-2083	sofiaribeiro61227@gmail.com	
Ivanilda Soares de Freitas	SEMAC	(79)99837-6539	ivanildasf65@gmail.com	
Maira Nascimento Coutinho	UFS	(79)99955-7695	maira.n.c@hotmail.com	
Edmundo Gomes Neto	UFS	79981536-6981	netojgomes0016@academico.ufs.br	
Marcos Vinicius Figueiredo Costa	UFS	74 99409-4104	joaofisica@academico.ufs.br	
Maria Heloísa Oliveira de Jesus	UFS	75983684229	mheloisadeoliveira20@gmail.com	
Luiz Fernando Oliveira Santos	UFS	79 99965-3447	luizfernandodeoliveira@gmail.com	
Gabriel Oliveira Pereira	UFS	79 99605-3687	gabriel.opereira@academico.ufs.br	
Simone R. Prado	UFS	(79) 996002499	MONNA.RAMALHO84@GMAIL.COM	
Vinicius Emanuel Silva Araújo	UFS	79 98846 9465	Vinicius.emanuel55719@gmail.com	
João Alves do Carmo Neto	SEC. MEIO AMBIENTE UFS RDS	79 99867-6001	demaintrio@yahoo.com.br	
Tamara de Almeida Santos	UFS	79999905105	tamaradealmeida@academico.ufs.br	
Gleiton Cristiano Freitas Santos	FAZabra MS	99999014434	Gleitonsabino@hotmail.com	
Profª Inez Barbosa	UFS-S	21 984565925		

10 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Sertão
Av. Vinte e Seis de Setembro, 1126 - Silos, Nossa Sra. da Glória, Sergipe

Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 17: Lista de Presença da Consulta Pública – Sertão – Página 5



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

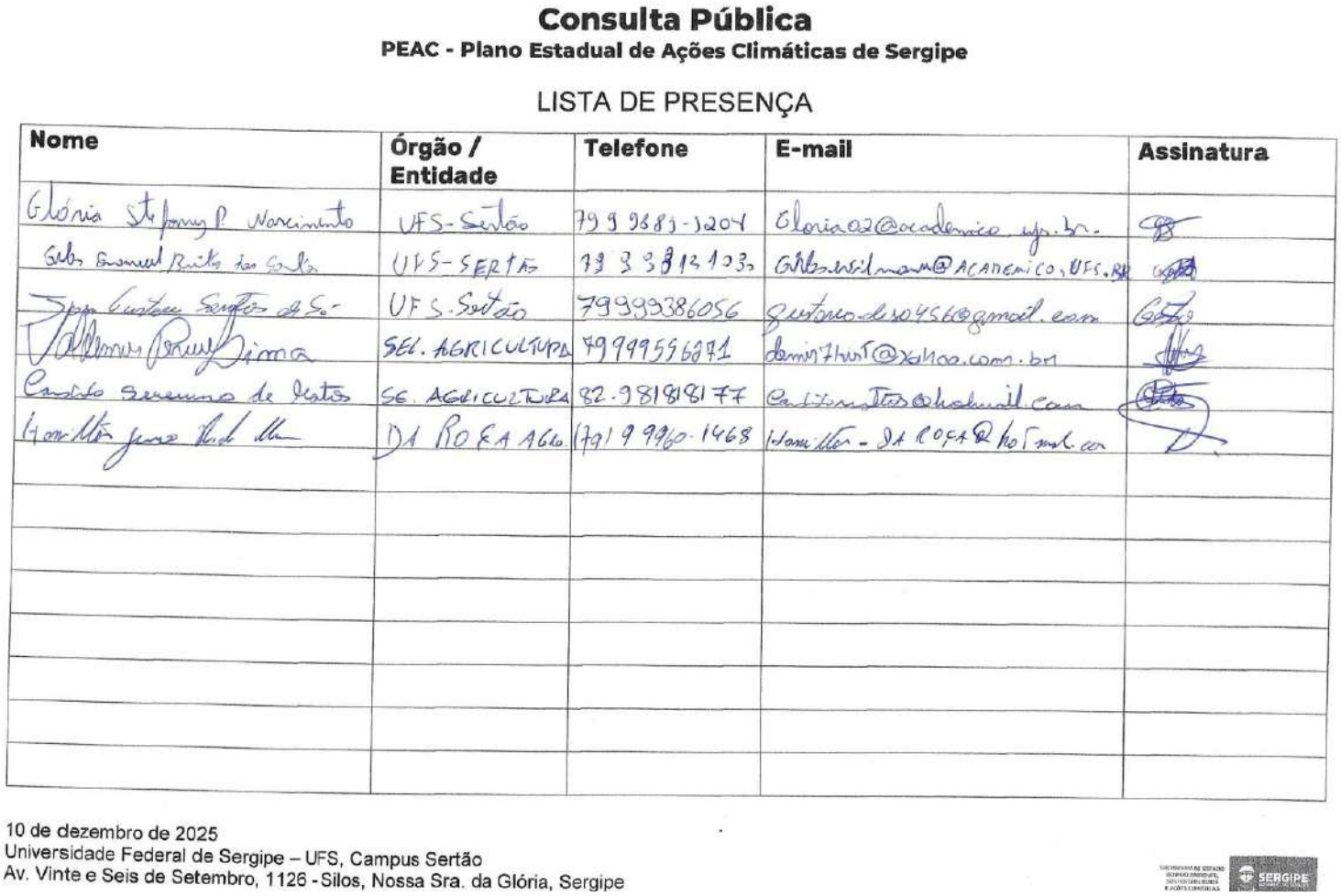
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
~~Vanessa Bezerra de Santa~~				
Vanessa Bezerra de Santa	UFS	(79) 99913-3078	bezerra.v04@gmail.com	
Carlos Daniel Santos de Jesus	UFS	(79) 98108-6379	carlosdaniel2306@gmail.com	
Sandra Eduarda de C Ramos	UFS	(82) 98956-9022	sandraeduarda1907@gmail.com	
Victor Emanuel Porto Santos	UFS	(79) 99926-6637	victor21230@gmail.com	
Diego PEREIRA Agente	CBMSE	(79) 99935-1923	diego.oliveira@cbm.se.gov.br	
Elidson Silva	CBMSE	79 99975-8254	elidsonk-915@hotmail.com	

10 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Sertão
Av. Vinte e Seis de Setembro, 1126 - Silos, Nossa Sra. da Glória, Sergipe

Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 18: Lista de presença da Consulta Pública – Sertão – Página 6



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

LISTA DE PRESENÇA

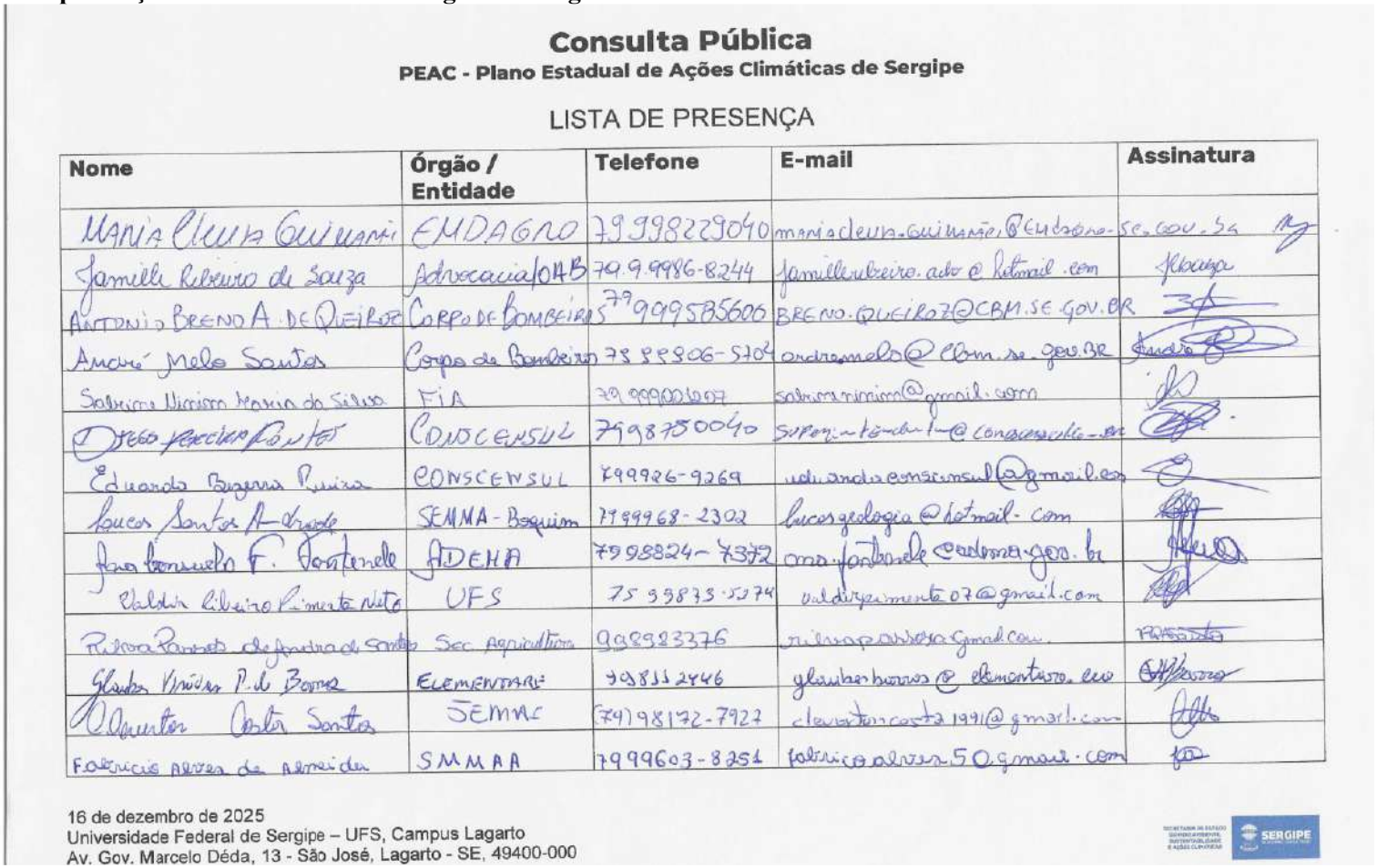
Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Glória Stephany P. Nascimento	UFS-Sertão	79 99883-1204	Gloria02@academico.ufs.br	
Gab. Samuel Brito dos Santos	UFS-SERTÃO	79 3381 2103	GABsamuelmarin@ACADEMICO.UFS.BR	
Igor Gustavo Santos de So	UFS. Sertão	79999386056	gustavo.de.so45@gmail.com	
Adriana Rosa Lima	SEC. AGRICULTURA	79999556871	dorinha7hunt@yahoo.com.br	
Carlos Geraldo de Matos	SE. AGRICULTURA	82.98181877	carlosmatos@hotmail.com	
Hamilton Jose [illegible]	DA ROÇA AGRO	(79) 9996-1468	Hamilton - DA ROÇA@hotmail.com	

10 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Sertão
Av. Vinte e Seis de Setembro, 1126 - Silos, Nossa Sra. da Glória, Sergipe

Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

7.1.2 CONSULTA PÚBLICA AGRESTE

Figura 19: Lista de presença da Consulta Pública – Agreste – Página 1



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

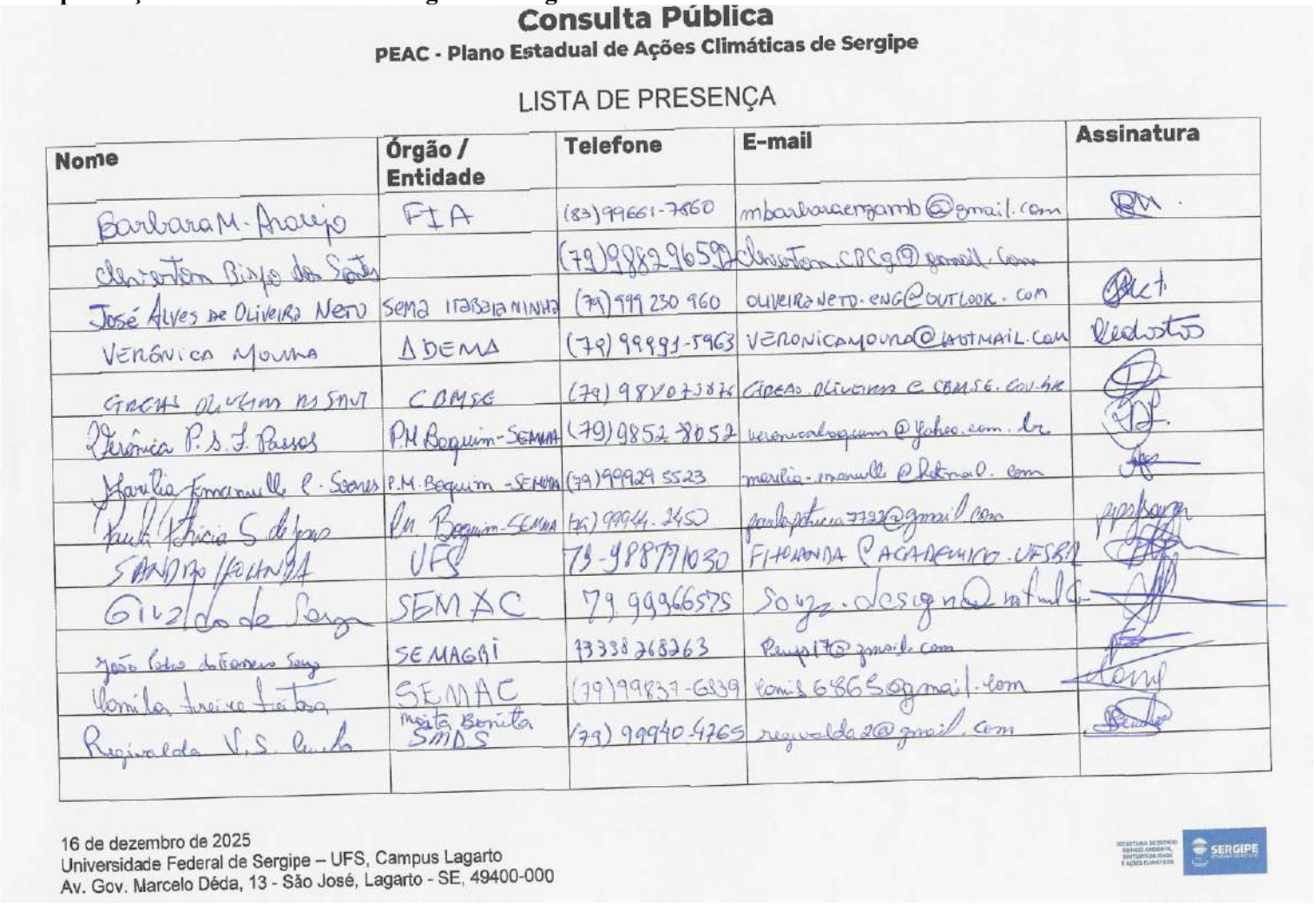
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Maria Cleuza Guimarães	EMDAGRO	79998229040	mariacleuza.guimaraes@emdagro.se.gov.br	
Jamille Ribeiro de Souza	Advocacia/OAB	79 99986-8244	jamilleribeiro.adv@hotmail.com	
Antonio Breno A. de Queiroz	Corpo de Bombeiros	79 999585606	BRENO.QUEIROZ@CBM.SE.GOV.BR	
André Melo Santos	Corpo de Bombeiro	79 98806-5704	andremelo@cbm.se.gov.br	
Sabrina Miriam Maria da Silva	FIA	79 999003607	sabrinamiriam@gmail.com	
Diego Pereira Santos	CONDCENSUL	79987500410	suporte-tecnico1@consensulbr.com	
Eduardo Siqueira Pinheiro	CONSCENSUL	79 99926-9269	eduardo.consensul@gmail.com	
Lucas Santos Andrade	SEMMA - Boquim	79 99968-2302	lucasgeologia@hotmail.com	
Ana Carmelo F. Fontenele	ADEMA	79 98824-7372	ana.fontenele@adema.ser.gov.br	
Valdir Ribeiro Pimenta Neto	UFS	75 99873-5574	valdirpimenta07@gmail.com	
Rilvan Barreto de Andrade Santos	Sec. Agricultura	998983376	rilvanbarreto@gmail.com	
Glauber Vinícius P. de Barros	ELEMENTAR	79 9811 2446	glauberbarros@elementar.eng.br	
Quentin Costa Santos	SEMAC	(79) 98172-7927	deivaoquentin1991@gmail.com	
Fabrício Alves de Almeida	SMMAA	7999603-8251	fabricioalves50@gmail.com	

16 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Lagarto
Av. Gov. Marcelo Déda, 13 - São José, Lagarto - SE, 49400-000

Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 20: Lista de presença da Consulta Pública – Agreste – Página 2



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

LISTA DE PRESENÇA

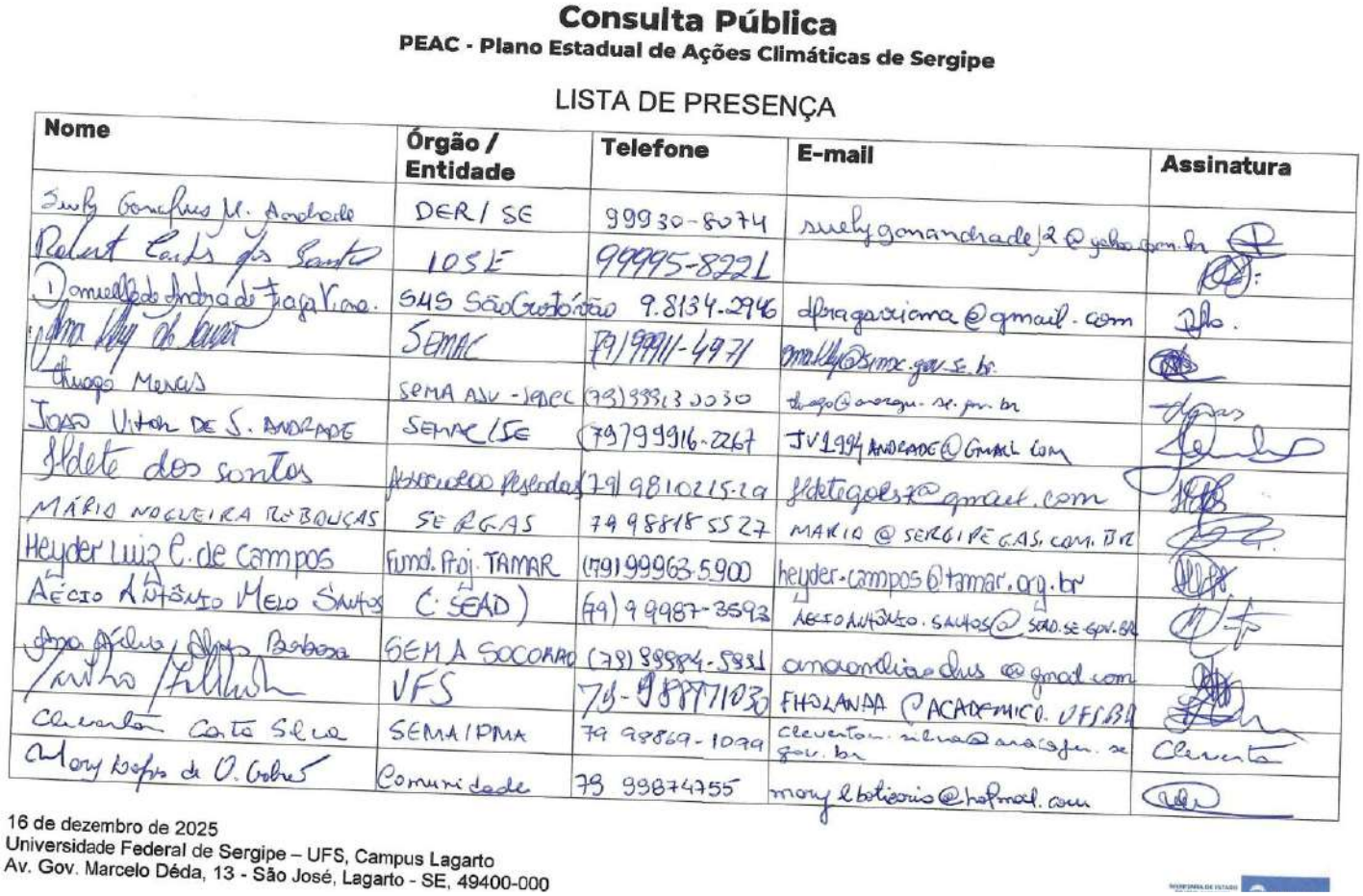
Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Barbara M. Araújo	FIA	(83) 99661-7860	mbarbaraemgamb@gmail.com	
Claristom Bispo dos Santos		(79) 9882 9659	claristom.cpcs@gmail.com	
José Alves de Oliveira Neto	Sema Itabaianinha	(79) 999 230 960	oliveiraneto.eng@outlook.com	
Veronica Moura	ADEMA	(79) 99991-5963	veronicamoura@hotmail.com	
Gracas Oliveira dos Santos	COMSE	(79) 98107 3876	Gracas.oliveira@comse.com.br	
Veronica P. S. F. Passos	PM Boquim-SEMMA	(79) 9852 8052	veronicaboquim@yahoo.com.br	
Marilia Emanuelle P. Soares	P.M. Boquim - SEMMA	(79) 99929 5523	marilia.emanuelle@hotmail.com	
Paula Patricia S de Jesus	Pm Boquim-SEMMA	(79) 9994. 2450	paulapatricia7732@gmail.com	
Sandro Feliciano	UFS	79-988771030	FITOSANIDA@ACADEMICO.UFS.BR	
Gilvaldo de Souza	SEMAC	79 99966575	Souza.design@hotmail.com	
João Pedro de Menezes Souza	SEMAGRI	73338768263	Pempi7@gmail.com	
Ilonilda Freire Freitas	SEMAC	(79) 99837-6839	ionil86865@gmail.com	
Reginalda V. S. Santos	Nossa Senhora da Glória SMDS	(79) 99940 4765	reginalda2@gmail.com	

16 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Lagarto
Av. Gov. Marcelo Déda, 13 - São José, Lagarto - SE, 49400-000

Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

7.1.3 CONSULTA PÚBLICA LITORAL

Figura 21: Lista de presença da Consulta Pública – Litoral – Página 1



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

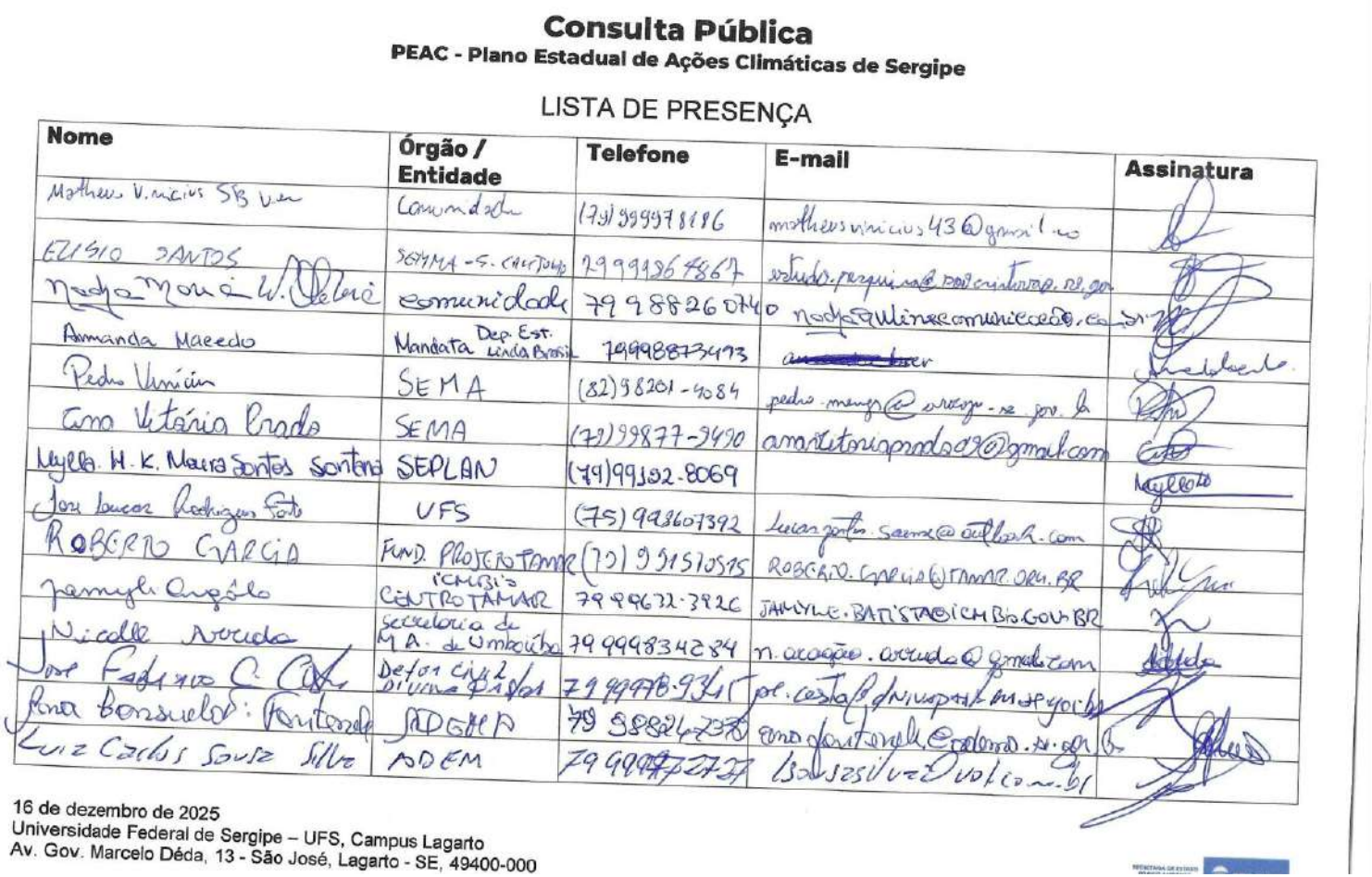
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Suely Gonçalves M. Andrade	DER/SE	99930-8074	suelygonandrade12@yahoo.com.br	
Robert Carlos dos Santos	IOSE	99995-8221		
Daniella de Andrade Fraga Viana	SAS São Cristóvão	9.8134-2946	dfragaviana@gmail.com	
Ana Kelly de Lucena	SEMAC	79/99911-4971	anakelly@semac.gov.se.br	
Thiago Menezes	SEMA ASV - IDEC	(79)3331 3030	thiago@aracaju.se.gov.br	
João Vitor de S. Andrade	SEMAC/SE	(79)99916-2267	JV1994ANDRADE@GMAIL.COM	
Fidete dos Santos	Assentada Reforma	79 98102151-0	fidetegois2@gmail.com	
MÁRIO NOGUEIRA REBOUÇAS	SERGAS	79 98181 5527	MARIO@SERGIPEGAS.COM.BR	
Heyder Luiz C. de Campos	Fund. Proj. TAMAR	(79)99963.5900	heyder.campos@tamar.org.br	
AÉCIO ANTÔNIO MELO SANTOS	C. SEAD)	79) 99987-3593	AECIO.ANTONIO.SANTOS@SEAD.SE.GOV.BR	
Ana Paula Alves Barbosa	SEMA SOCORRO	(79) 99984-5931	anaandrade.dus@gmail.com	
Anita	UFS	79-99977103	FHOLANDA@ACADEMICO.UFS.BR	
Cleverton Costa Silva	SEMA/PMA	79 99869-1099	cleverton.silva@aracaju.se.gov.br	Cleverton
Mary Bispo de O. Cobes	Comunidade	79 99874755	maryebatista@hotmail.com	

16 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Lagarto
Av. Gov. Marcelo Déda, 13 - São José, Lagarto - SE, 49400-000

Fonte: Registro fotográfico (FIA) – 2026.

Figura 22: Lista de presença da Consulta Pública – Litoral – Página 2



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

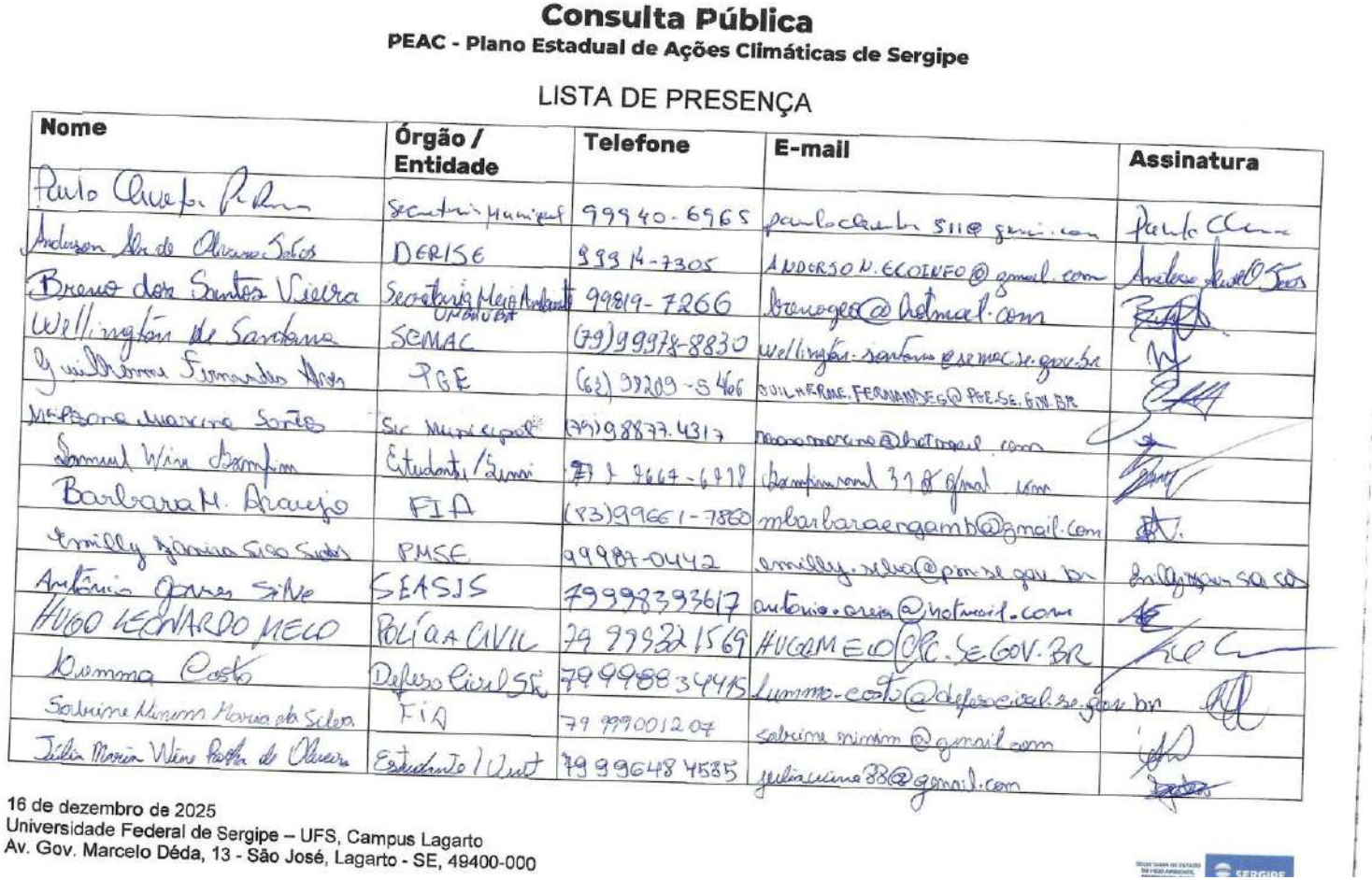
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Matheus Vinicius SB Lima	Comunidade	(79) 99997 8816	matheusvinicius436@gmail.com	
EZISIO SANTOS	SEMMA - S. CRISTOVÃO	79 99996 4867	estudo.pesquisa@cristovao.se.gov	
Nadya Moura W. Oliveira	comunidade	79 98826 0740	nadya@limaecomunicacao.com	
Armanda Maceda	Mandata Dep. Est. Lucia Brasil	79998873473	[illegible]	
Pedro Vinícius	SEMA	(82) 98201-4084	pedro.menezes@aracaju.se.gov.br	
Ana Vitória Prado	SEMA	(79) 99877-3490	anavitoriaprado2@gmail.com	
Lygia M. K. Maura Santos Santana	SEPLAN	(79) 99102-8069		
Jose Lucas Rodrigues Santos	UFS	(75) 998607392	lucasgsantos.saems@outlook.com	
ROBERTO GARCIA	FUND. PROJETO TAMAR	(79) 99151 0575	ROBERTO.GARCIA@TAMAR.ORG.BR	
Jamyle Batista	ICMBio CENTRO TAMAR	79 99632-3926	JAMYLE.BATISTA@ICMBIO.GOV.BR	
Nicolle Macedo	Secretaria de M.A. de Umbaúba	79 99983 4284	n.oliveira.macedo@gmail.com	
José Fabiano C. Costa	Defesa Civil Divina Pastora	79 99978 9315	jose.costa@dn.mppt.mp.gov.br	
Ana Bonsucesso Fontenele	SEDEMA	79 98826 2078	anabonsucesso@yahoo.com.br	
Luiz Carlos Souza Silva	ADEMA	79 99977 2727	luizsilva@adema.se.gov.br	

16 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Lagarto
Av. Gov. Marcelo Déda, 13 - São José, Lagarto - SE, 49400-000

Fonte: Registro fotográfico (FIA) – 2026.

Figura 23: Lista de presença da Consulta Pública – Litoral – Página 3



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

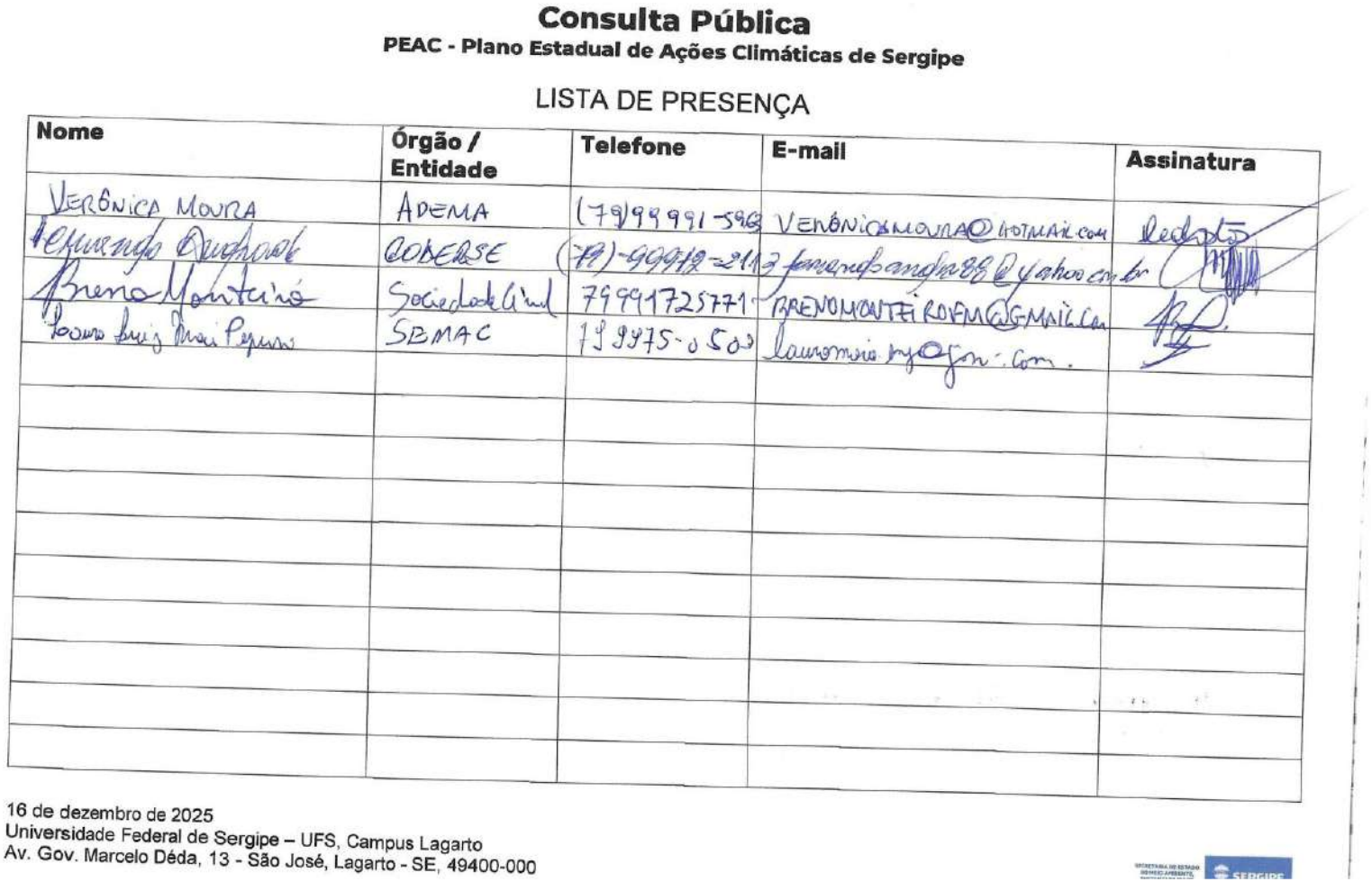
LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
Paulo Cláudio Ribeiro	Secretaria Municipal	99940-6965	pauloclaudio511@gmail.com	
Anderson Alves de Oliveira Santos	DERISE	9991[illegible]-7305	ANDERSON.ECOINFO@gmail.com	
Breno dos Santos Vieira	Secretaria Meio Ambiente UMBAÚBA	99819-7266	brenogeo@hotmail.com	
Wellington de Santana	SEMAC	(79)99978-8830	wellington.santana@semac.se.gov.br	
Guilherme Fernandes Alves	PGE	(61) 99209-5466	GUILHERME.FERNANDES@PGE.SE.GOV.BR	
Maria Joseane Marcina Santos	Sec Municipal	(79)98877-4317	[illegible]	
Samuel Wins Bomfim	Estudante/Jovem	[illegible] 9667-6998	[illegible]	
Barbara M. Araújo	FIA	(83)99661-7860	mbarbaraengamb@gmail.com	
Emilly Gomma Silva Santos	PMSE	99987-0442	emilly.silva@pmse.gov.br	
Antônio Soares Silva	SEASJS	79998393617	antonio.oreia@hotmail.com	
HUGO LEONARDO MELO	POLÍCIA CIVIL	79 99932 1569	HUGOMELO@PC.SE.GOV.BR	
Luanna Costa	Defesa Civil SE	79 99883 4495	luanna.costa@defesacivil.se.gov.br	
Sabrina Miriam Moreira da Silva	FIA	79 99900 1207	sabrina.miriam@gmail.com	
Julia Maria Vieira Rocha de Oliveira	Estudante/Unit	79 99648 4535	juliavieira88@gmail.com	

16 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Lagarto
Av. Gov. Marcelo Déda, 13 - São José, Lagarto - SE, 49400-000

Fonte: Registro fotográfico (FIA) – 2026.

Figura 24: Lista de presença da Consulta Pública – Litoral – Página 4



Consulta Pública

PEAC - Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe

LISTA DE PRESENÇA

Nome	Órgão / Entidade	Telefone	E-mail	Assinatura
VERÔNICA MOURA	ADEMA	(79)99991-596	VERÔNICAMOURA@HOTMAIL.COM	
Fernando Dantas	CODERSE	(79)-99912-2113	fernandsandra88@yahoo.com.br	
Breno Monteiro	Sociedade Civil	79991725771	BRENOMONTEIROFM@GMAIL.COM	
Laura Luiz Dias Peixoto	SEMAC	79 9975-0503	lauramaia.my@gmail.com	

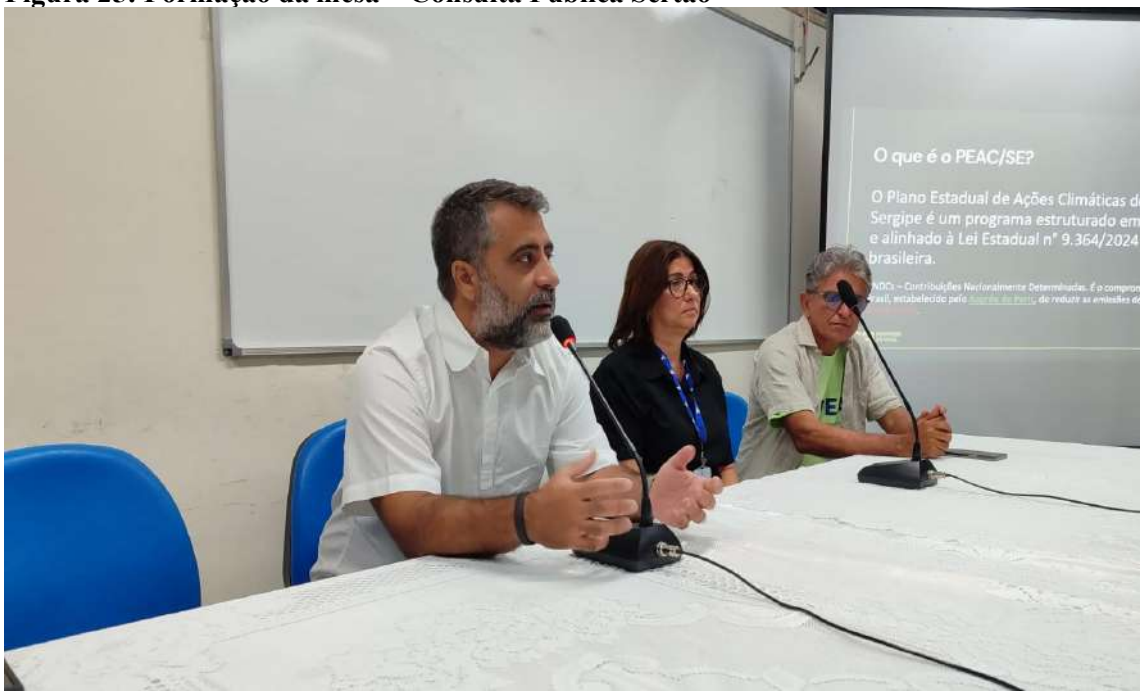
16 de dezembro de 2025
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Campus Lagarto
Av. Gov. Marcelo Déda, 13 - São José, Lagarto - SE, 49400-000

Fonte: Registro fotográfico (FIA) – 2026.

7.2 REGISTROS FOTOGRÁFICOS

7.2.1 CONSULTA PÚBLICA SERTÃO

Figura 25: Formação da mesa – Consulta Pública Sertão



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 26: Apresentação do Plano de Ações Climáticas de Sergipe – Consulta Pública Sertão



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 27: Apresentação do Plano de Ações Climáticas de Sergipe – Consulta Pública Sertão



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

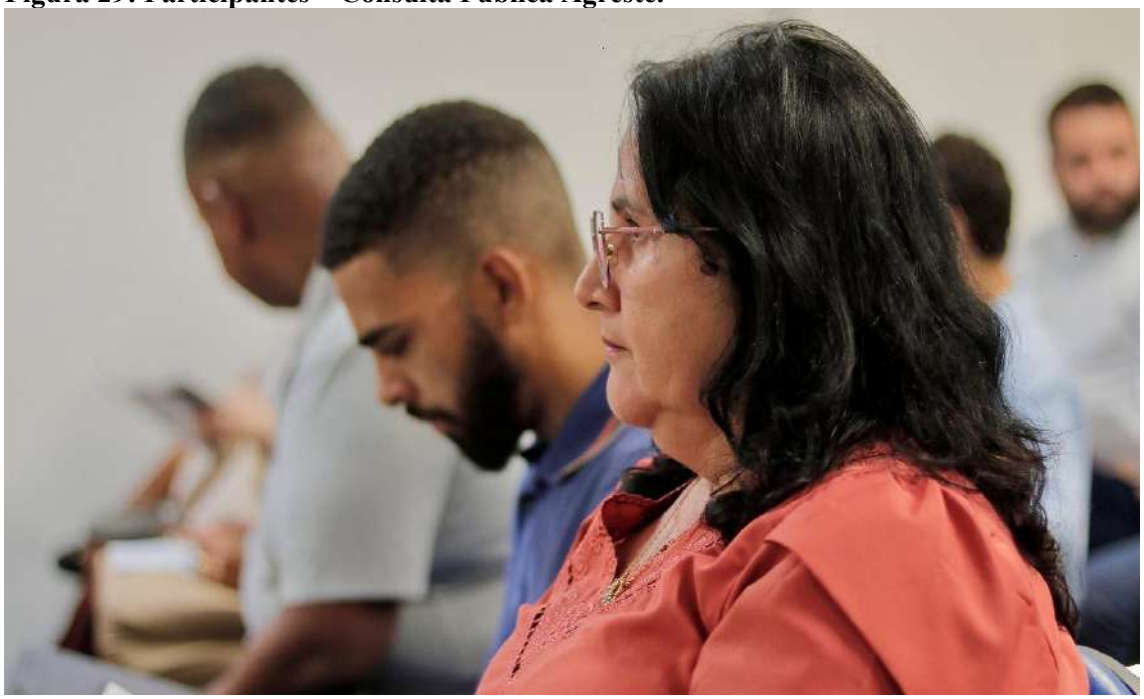
7.2.2 CONSULTA PÚBLICA AGRESTE

Figura 28: Apresentação do Plano de Ações Climáticas de Sergipe – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 29: Participantes – Consulta Pública Agreste.



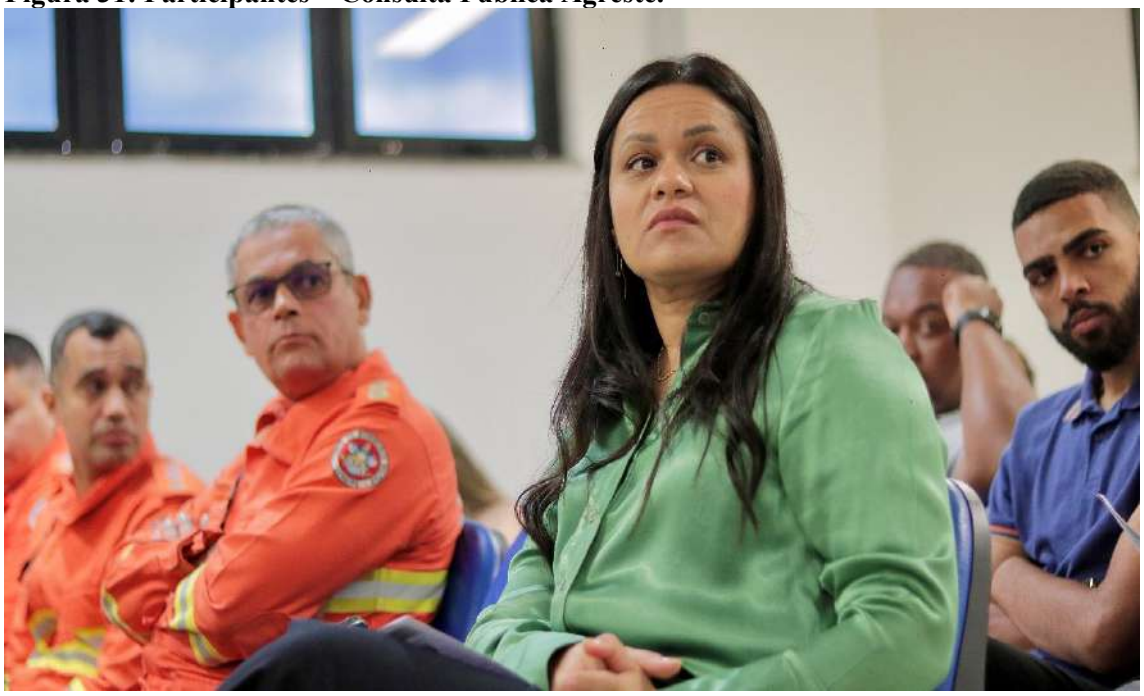
Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 30: Participantes – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 31: Participantes – Consulta Pública Agreste.



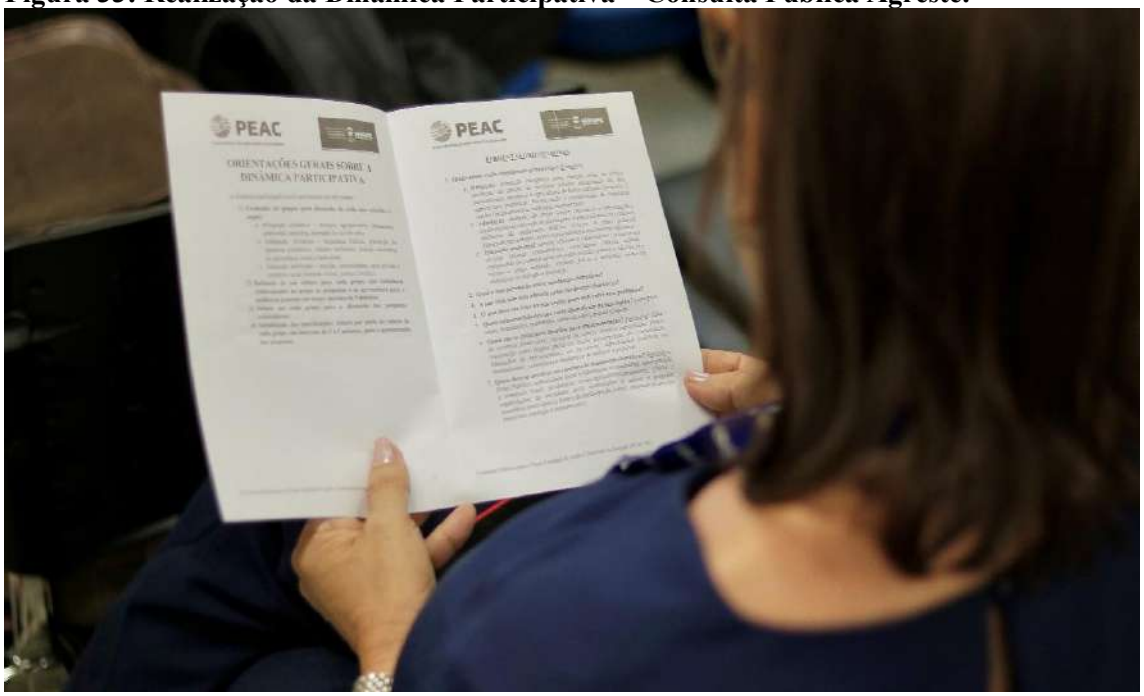
Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 32: Contribuições dos participantes – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 33: Realização da Dinâmica Participativa – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 34: Contribuições dos representantes presentes – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 35: Contribuições da representante da Adema – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 36: Apresentação do Plano de Ações Climáticas de Sergipe – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 37: Participação dos bombeiros – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 38: Representantes e Equipe Técnica de elaboração do Plano de Ações Climáticas de Sergipe – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 39: Participantes, Representantes e Equipe Técnica de elaboração do Plano de Ações Climáticas de Sergipe – Consulta Pública Agreste.



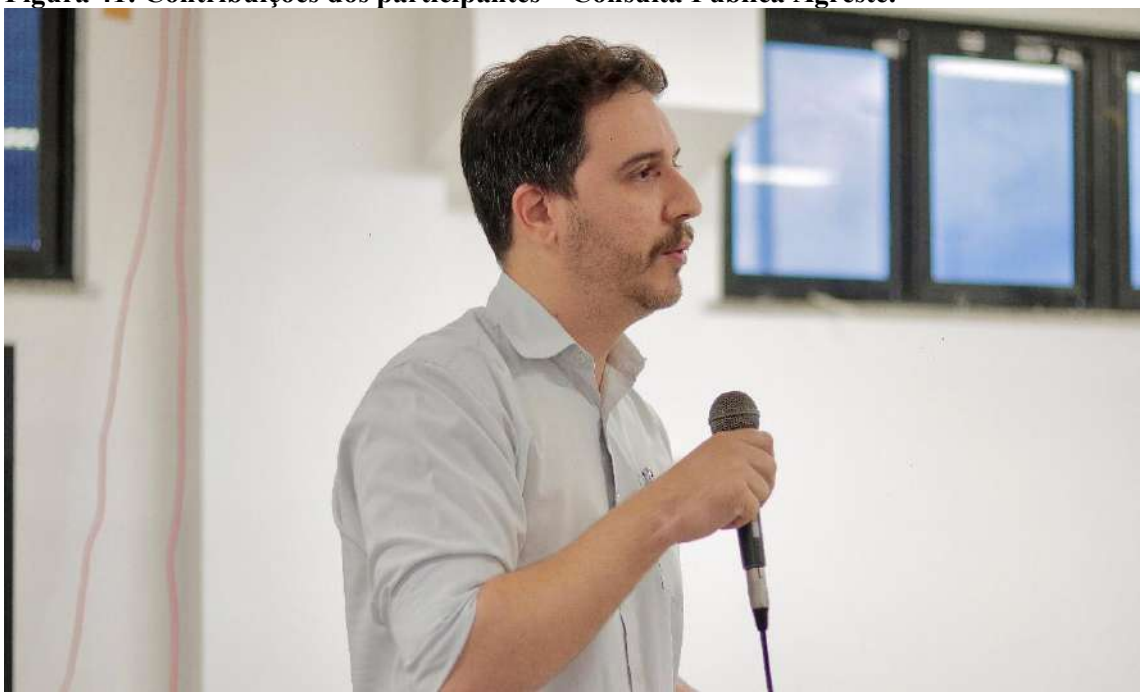
Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 40: Apresentação do Plano de Ações Climáticas de Sergipe – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 41: Contribuições dos participantes – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 42: Contribuições dos participantes – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

7.2.3 CONSULTA PÚBLICA LITORAL

Figura 43: Formação da mesa – Consulta Pública Litoral.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 44: Contribuições dos participantes – Consulta Pública Litoral.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 45: Contribuições dos participantes – Consulta Pública Litoral.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 46: Contribuições dos participantes – Consulta Pública Litoral.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 47: Contribuições dos participantes – Consulta Pública Litoral.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

Figura 48: Participantes, Representantes e Equipe Técnica de elaboração do Plano de Ações Climáticas de Sergipe – Consulta Pública Agreste.



Fonte: Registro fotográfico – FIA (2026).

7.3 CONTRIBUIÇÕES PARA O PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA

O quadro a seguir apresenta as respostas e contribuições dos participantes das consultas virtuais para o PEMAMC-SE.

Quadro 3: Contribuições da consulta virtual para o Plano de Mitigação e Adaptação Climática

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA		
Total de respostas: 26		
Q1. Município de residência		
ARACAJU; Socorro; Aracaju; Lagarto; Boquim; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Pirambu; Divina Pastora; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; São Cristóvão; Aracaju; Aracaju/SE; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Barra dos Coqueiros; Aracaju; Feira nova.		
Q2. A qual região o Município de residência pertence?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Grande Aracaju	20	76,9%
Leste Sergipano	3	11,5%
Sul Sergipano	2	7,7%
Alto Sertão	1	3,8%
Outros/Não informado	0	0,0%
Q3. Você representa algum setor/instituição?		
Não; Secretaria de meio ambiente de Aracaju / Sedec Nacional / Abin; Não; Não; Educação; Não; Sociedade civil; PMSE; Sim. SERGAS; Fundação Projeto TAMAR; Defesa Civil e SMAMA - Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente; Não; UFS; Poder público / SEMA / Aracaju; Não; Setor Elétrico / Energisa; Universidade Federal de Sergipe; Emdagro; Chão - Assessoria Popular; Não; Abes; Não; Não; Não; SIM; Não.		
Resposta	**Quantidade**	**Percentual**
Sim	2	14,29%
Não	12	85,71%
Q4. Quais vulnerabilidades climáticas são vivenciadas em seu território?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Ondas de calor	20	76,9%
Inundações, enchentes e alagamentos	18	69,2%
Erosão costeira	9	34,6%
Secas extremas	3	11,5%
Outra	1	3,8%
Q5. Como as vulnerabilidades climáticas impactam a sua qualidade de vida?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Impactos na saúde física ou mental	19	73,1%
Inundações, enchentes ou alagamentos	18	69,2%

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA		
Prejuízos ao comércio e serviços	11	42,3%
Falta de água/estiagens prolongadas	10	38,5%
Erosão costeira	8	30,8%
Ventos fortes/Tempestades intensas	7	26,9%
Instabilidade no fornecimento de energia	6	23,1%
Deslizamentos de terra	4	15,4%
Outra	1	3,8%
Q6. Quais temas deveriam ser prioridade no Plano?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Prevenção a eventos climáticos extremos	17	65,4%
Conservação da biodiversidade	15	57,7%
Monitoramento climático	13	50,0%
Justiça climática e inclusão socioambiental	13	50,0%
Reciclagem e economia circular	12	46,2%
Estratégias para redução de emissões	10	38,5%
Transição energética	9	34,6%
Governança participativa	8	30,8%
Outra	1	3,8%
Q7. Quais ações de mitigação e adaptação climática você sugeriria para o seu território?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Recuperação de áreas degradadas e ampliação de áreas verdes	21	80,8%
Educação ambiental e engajamento comunitário	20	76,9%
Proteção de nascentes, rios e segurança hídrica	19	73,1%
Melhoria da drenagem e prevenção de enchentes	16	61,5%
Sistemas de alerta para eventos climáticos extremos	13	50,0%
Fortalecimento da coleta seletiva, reciclagem e compostagem	13	50,0%
Mobilidade sustentável	12	46,2%
Incentivo à agricultura sustentável	10	38,5%
Expansão do uso de energia solar e eficiência energética	7	26,9%
Ações de saúde e prevenção de doenças relacionadas ao clima	5	19,2%
Outra	1	3,8%
Q8. Quais atores devem ser envolvidos?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Poder Público	25	96,2%
Instituições de ensino e pesquisa	22	84,6%

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA		
Comunidades locais e lideranças comunitárias	22	84,6%
Setor privado e comércio local	20	76,9%
Empresas de saneamento básico e energia elétrica	15	57,7%
Produtores rurais/agricultores/pescadores	14	53,8%
Outra	1	3,8%
Q9. Quais são os principais desafios para a implementação do Plano?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Pouca integração entre órgãos públicos	16	61,5%
Falta de continuidade das ações ao longo do tempo	15	57,7%
Dificuldades políticas ou institucionais	13	50,0%
Resistência a mudanças de hábitos e práticas	13	50,0%
Falta de recursos financeiros	12	46,2%
Carência de equipe técnica capacitada	11	42,3%
Baixa participação da comunidade	9	34,6%
Fragilidade na coleta e disponibilidade de dados	3	11,5%
Limitações de infraestrutura no território	3	11,5%
Q10. Como as informações ambientais e climáticas chegam melhor para você?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Redes sociais	13	50,0%
WhatsApp	4	15,4%
Escola/Universidade	4	15,4%
TV Local	3	11,5%
Outra	2	7,7%
Rádio comunitária	0	0,0%
Eventos e reuniões presenciais	0	0,0%
Jornais impressos	0	0,0%
Q11. O que ajudaria a aumentar a participação das pessoas?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Incentivos e reconhecimento para quem participa	19	73,1%
Parcerias com escolas, associações e líderes comunitários	19	73,1%
Maior divulgação e comunicação acessível sobre as ações	18	69,2%
Uso de redes sociais e plataformas digitais para engajamento	18	69,2%
Realização de eventos, oficinas e encontros presenciais	15	57,7%
Materiais educativos simples e claros	11	42,3%
Horários e locais de reunião mais acessíveis	10	38,5%

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA		
Transparência sobre como as contribuições serão utilizadas	8	30,8%
Outra	1	3,8%

Q12. Como você gostaria de acompanhar os resultados do plano?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Plataforma online com dados	17	65,4%
Reuniões por território	2	7,7%
Relatórios de fácil entendimento	4	15,4%
Lives e webinários	3	11,5%
Não quero acompanhar	0	0,0%

Q13. Deixe sua sugestão ou mensagem para a elaboração do Plano de Mitigação e Adaptação Climática.	
Resposta	**Nº de Contribuições: 11**
Esse plano precisa ter a participação das escolas públicas e associações comunitárias para que seja efetivamente funcional.	
Inclusão de estudantes e professores da Universidade Federal de Sergipe, que possuem expertise nas áreas ambientais	
Os planos municipais, como a SEMAC vai fazer acontecer com parceria com os municípios	
Mitigação: capacitar equipes técnicas das secretarias de meio ambiente, Defesa Civil, NUPDECs e consultores ambientais para as metodologias do SEEG e do PEAC; financiar inventários e planos municipais de ações climáticas; elaborar inventários regionais e o plano estadual com base no Litoral, Agreste e Sertão; elevar APPs e Unidades de Conservação a ambientes e recursos estratégicos como sumidouros dos GEE. Adaptação: implementar mecanismos como poluidor-pagador e protetor-recebedor para remunerar serviços ecossistêmicos e "empregos verdes"; condicionar às empresas conformidade a instrumentos da legislação ambiental para fins de acesso ao crédito (tecnologias limpas na indústria para benefícios do PSDI, reservas legais conforme legislação informadas no CAR, cumprimento de metas dos planos de saneamento básico); financiar ações de políticas climáticas propostas por municípios e consórcios (PRADs, Educação Ambiental, estudos, oficinas, etc.); estruturar toda a rede de Proteção e Defesa Civil, articulando União, Estado e Municípios.	
Parceria com empresas de serviços essenciais para apoiar no Plano de Mitigação, temos objetivos em comum e podemos atuar juntos.	
O Plano ABC + Sergipe representa uma iniciativa estratégica fundamental para o desenvolvimento sustentável do estado. É imprescindível que sua implementação avance de forma concreta, garantindo que as diretrizes estabelecidas sejam transformadas em ações efetivas. A sociedade sergipana aguarda resultados tangíveis, e cabe às instituições responsáveis assegurar que este projeto saia do papel e se converta em benefícios reais para a população."	
O Plano de Adaptação Climática deve considerar as condições socioeconômicas e culturais das famílias e grupos sociais que ocupa cada território, região ou zonas. Atuar diretamente sobre as desigualdades sociais (desemprego, saúde sobretudo preventiva, educação e cultura) são essenciais para sucesso de qualquer plano. Considerado esse aspecto, investimento público, com medidas eficazes e participativas nos bairros - demandando uma boa estratégia de mobilização e valorização profissional de mobilizadores de bairros e territórios - e envolvendo diversos agentes desde a estrutura burocrática do Estado envolvendo os três poderes, mas a sociedade civil em suas diversas formas de organização (OSCs, Assessorias Populares, Movimentos Sociais e Populares, Associações, Cooperativas, Sindicatos).	
Eu penso que em Aracaju precisa urgente do aumento de áreas verdes, plantio de árvores e melhoria e incentivo ao uso do transporte público e bicicletas. (Incentivar bicicletários e vestiários nas empresas e também incentivo de ICMS e ISS verde)	

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA
É preciso mudar a opinião pública preconceituosa sobre os mangues, demolir a cultura de quintais nas empresas trazer a agroecologia para o meio urbano e explicar os riscos do plantio de árvores exóticas e os benefícios das nativas. Seria interessante estimular a construção de telhados verdes e hortas urbanas em escolas e creches, por exemplo, e a "despavimentação" de imóveis em geral, com programas públicos de incentivo à população como o "*Rainwater Rewards*".
O Poder Público precisa priorizar a resolução de alagamentos e enchentes em Aracaju...problema antigo, recorrente em alguns bairros, mas que vem se agravando no decorrer dos anos e sem ações preventivas de força e efetividade para a resolução desse problema.
Sugiro que o Plano seja amplamente divulgado e que organizem e capacitem a população para o enfrentamento às mudanças climáticas.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

7.4 CONTRIBUIÇÕES PARA O PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA

O quadro a seguir apresenta as respostas e contribuições dos participantes da consulta virtual para o PEACP/SE.

Quadro 4: Contribuições da consulta virtual para o Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA		
Total de respostas: 17		
Q1. Município de residência		
Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; ARACAJU; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju; ARACAJU; Aracaju; Aracaju; Aracaju; Aracaju.		
Q2. A qual região o Município de residência pertence?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Grande Aracaju	15	88,2%
Leste Sergipano	2	11,8%
Outros	0	0,0%
Q3. Você representa algum setor/instituição?		
Não; Não; PMSE; Secretaria meio ambiente / UMBAÚBA; Sociedade Civil; MNU/SERGIPE; Educação ambiental; N; Poder público / SEMA /Aracaju; Secretaria de proteção animal. Educação Ambiental; Energia Elétrica/Energisa; UFS; DESO; Abes; Não; Não; Não.		
Q4. Na sua opinião, hoje a Educação Ambiental e Climática é:		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Muito presente na sua região	3	17,6%
Mais ou menos presente	4	23,5%
Pouco presente	5	29,4%
Não existe ou quase não existe	5	29,4%
Não sei avaliar	0	0,0%
Q5. Quais são os principais problemas ambientais que afetam sua cidade ou região?		

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Lixo e resíduos sólidos	12	70,6%
Poluição de rios, lagoas ou praias	12	70,6%
Falta de informação/educação	11	64,7%
Perda da biodiversidade/animais e plantas	9	52,9%
Inundações/enchentes	8	47,1%
Problemas de saneamento básico	8	47,1%
Desmatamento/queimadas	5	29,4%
Falta de água/seca	4	23,5%
Outra	1	5,9%
Q6. Quais temas deveriam ser prioridade no Plano?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Educação ambiental em comunidades e bairros	14	82,4%
Água e proteção de rios, lagoas e praias	13	76,5%
Reciclagem, lixo e economia circular	10	58,8%
Mudanças climáticas e impacto no cotidiano	9	52,9%
Educação ambiental nas escolas	9	52,9%
Conservação de áreas verdes e manguezais	7	41,2%
Desastres naturais e prevenção	3	17,6%
Energias renováveis e economia mais limpa	1	5,9%
Outra	1	5,9%
Q7. Quais públicos devem ser atendidos primeiro?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Estudantes e escolas	15	88,2%
Comunidades tradicionais	10	58,8%
População em geral	9	52,9%
Órgãos públicos	4	23,5%
Professores/gestores educacionais	3	17,6%
Agricultores e moradores rurais	3	17,6%
Jovens e grupos culturais	2	11,8%
Empresas/empreendedores	2	11,8%
Outra	0	0,0%
Q8. Que tipo de ações você considera mais importantes para melhorar a educação ambiental e climática?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA		
Projetos nas escolas (hortas comunitárias, reciclagem, ciência cidadã)	13	76,5%
Cursos, oficinas e capacitações	12	70,6%
Materiais educativos simples e acessíveis	10	58,8%
Passeios educativos e visitas a áreas de natureza	8	47,1%
Eventos, feiras e mutirões	8	47,1%
Campanhas de comunicação em redes sociais	7	41,2%
Tecnologia e inovação (aplicativos, mapas, podcast etc.)	4	23,5%
Outra	1	5,9%

Q9. Qual(is) ação(ões) de educação ambiental você sugeriria para o seu território?
Eventos em comunidades
Ações de reciclagem e coleta para os catadores independentes. Inserção destas pessoas em alguma cooperativa de resíduos sólidos
Educação ambiental para crianças
Ações voltadas para público empreendedor
O que falta hoje é a informação ser levada de forma simples e acessível para o máximo de público possível.
PROTEÇÃO DOS MANGUEZAIS. AGROFLORESTAS EM TODA A REGIÃO.
Ações efetivas no calendário escolar
.
Incentivo à iniciação científica no Ensino Médio voltada às áreas de conhecimento para enfrentamento às mudanças climáticas (sociais, biológicas, da natureza, linguagens e tecnologias), tendo por referências os glossários da área e a legislação.
Palestras, oficinas, amplas discussões em aspectos q abordem a causa animal
Realização de mutirões de avaliação de saúde da árvore e se necessário, seguido de substituição das árvores com risco de queda.
Moro na periferia, no bairro América, e percebo na vizinhança um grau de instrução muito baixo ou quase inexistente diante da educação ambiente
Uso reciclável nas instituições públicas, com dinâmicas de ensino para fixação. Começando de "casa" a saber reciclar nossos resíduos.
Melhorar o trabalho nas escolas e criar multiplicadores em comunidades, escolas e órgãos públicos,
Ampla divulgação e chamamentos públicos para participação em programas de incentivos para despavimentação, hortas urbanas e telhados verdes. Quando a comunidade vê exemplos serem construídos, funcionando na prática e pessoas sendo beneficiadas ao redor, elas ficam mais interessadas, fazem perguntas, procuram meios para fazer igual e a educação ambiental se faz com observação e vivência.
Eventos de conscientização das comunidades, bairro a bairro, com o intuito de fomentar uma força tarefa designando um representante de cada polo para uma conferência regional, para promover uma ação mais eficaz e atuante. Como: capacitações ativas por meio dos órgãos públicos e meios de comunicação que atinjam o maior número de adesão e participação da população em geral.
Drenagem e conscientização ambiental da comunidade...a minha comunidade deixa os bueiros com lixos.

Q10. Como as informações ambientais e climáticas chegam melhor para você?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA		
Redes sociais	8	47,1%
WhatsApp	3	17,6%
Eventos e reuniões presenciais	3	17,6%
Escola/Universidade	2	11,8%
TV Local	1	5,9%
Rádio comunitária	0	0,0%
Jornais impressos	0	0,0%
Outra	0	0,0%

Q11. O que ajudaria a aumentar a participação das pessoas?
Ações mais efetivas e não esporádicas. Incluir e atender às necessidades da população, ouvir as sugestões e por em prática. Documento pode ser elaborado e deixado de lado depois. Para que haja eficácia é preciso continuar com os projetos, que se tornem fixos e não por gestão
Maior divulgação
Mudar a narrativa "futura" e trazer pra próximo quem já é diretamente impactado
campanha nas redes sociais, com linguagem simples, demonstrando como impacta a vida daquela pessoa.
Engajamento
.
Articulação entre Governo de SE, Municípios, líderes comunitários e difusão de informações nas escolas, CRAS, postos de saúde e divulgação em rádios, TVs e comunicação local.
Ações efetivas e mudanças comportamentais
Ações práticas e menos burocráticas.
Campanhas presenciais nas comunidades periféricas
As empresas em que trabalham aderirem a campanhas.
Ampla divulgação e chamamentos públicos para participação em programas de incentivos para despavimentação, hortas urbanas e telhados verdes. Quando a comunidade vê exemplos serem construídos, funcionando na prática e pessoas sendo beneficiadas ao redor, elas ficam mais interessadas, fazem perguntas, procuram meios para fazer igual e a educação ambiental se faz com observação e vivência. É preciso que o poder público saia do discurso bonito e não faça greenwashing. As pessoas já sabem que a natureza é importante, só não dão prioridade para os detalhes de como preservá-la, achando que não colherão benefícios em curto prazo e só terão trabalho. Elas precisam ver e viver, na prática, soluções práticas que as estimulem a ter comportamentos socioambientalmente positivos. Há muitos profissionais altamente qualificados nos órgãos públicos e universidades e eles precisam fazer parte (dentro de seus expedientes de trabalho) dos esforços para supervisionar iniciativas comunitárias de ampliar a sustentabilidade do estilo atual, seja no meio urbano, no meio rural ou na infraestrutura de transportes.
Informações mais itinerantes boca a boca, de porta em porta, num chamamento público generalizado, expondo a real situação das bacias hidrográficas, dos rios e do tempo que podemos ter um retorno salutar para todos. Unindo forças, que despertem o interesse, haja visto que a maioria das comunidades carentes já sofrem com a irregularidade no abastecimento e passam muitas dificuldades, mesmo as que contam com a distribuição d'água encanada.

CONSULTA VIRTUAL – PLANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA		
Visitas à comunidade.		
Q12. Como você gostaria de acompanhar os resultados do plano?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Plataforma online com dados	10	58,8%
Reuniões por território	3	17,6%
Relatórios de fácil entendimento	3	17,6%
Lives e webinários	1	5,9%
Não quero acompanhar	0	0,0%
Q13. Como a população pode participar continuamente do plano?		
Opção de Resposta	**Nº de Respostas**	**% do Total**
Plataforma online com dados	10	58,8%
Reuniões por território	3	17,6%
Relatórios de fácil entendimento	3	17,6%
Lives e webinários	1	5,9%
Não quero acompanhar	0	0,0%
Q14. Deixe sua sugestão ou mensagem para a complementação do Plano Estadual de Educação Ambiental e Climática		
Educação ambiental deve ser divulgada e mantida em todas as etapas. Educação ambiental não se faz só com a entrega de folders. É preciso questionar: como a população que nunca teve educação ambiental se comportará com as ações do Plano e aplicará no seu dia a dia		
Parabenizo pelas ações e divulgação		
Falta JUSTIÇA CLIMÁTICA		
Educação ambiental incluindo aspectos tb na defesa da causa animal e maus tratos		
.		
Simplificar as metodologias para melhor comunicação; utilização do SEEG (tem site na Internet); iniciação científica no Ensino Médio		
Vamos mudar esse planeta isso é responsabilidade de cada um.		
Parceria com empresas de serviços essenciais, pois possuem objetivos em comum.		
Que seja construído ouvindo a população, ouvindo especialistas e ouvindo gestores		
Ato REAL de replantio nos parques, praças, terrenos sem uso para arborizar Sergipe		
Fazer um trabalho nas escolas e nas redes sociais(principalmente o tik Tok).		
É preciso, cada vez mais, integrar os trabalhos de diferentes Planos e Secretarias, bem como garantir o uso de linguagem simples e acessível, especialmente nas redes sociais. Muito já se acertou e foi feito corretamente neste sentido, mas ainda há bastante a fazer. Sigam determinados, bem fundamentados e contem com a população tocada pelo seu trabalho!		
Todo mérito depende de um processo focado na determinação em realizar da melhor maneira, com dedicação e afinco nas estratégias traçadas, a fim de proporcionar para o todo a segurança e a certeza que estamos no caminho certo! (M. F. N.)		
Desejo mais ações de conscientização ambiental da comunidade em geral, bem como que o Poder Público entenda a necessidade de resolução dos problemas de enchentes e alagamentos em locais críticos de Aracaju.		

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe na promoção de um diálogo efetivo junto às instituições envolvidas na execução do Plano de Ações Climáticas, contemplando o auxílio no estabelecimento de um canal de comunicação e a elaboração de material de apoio e demais documentos necessários à sua realização

Produto 4.2

São Paulo, maio/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVOS 3

3 ATIVIDADES REALIZADAS 4

3.1 DESENVOLVIMENTO DA OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA E ESTRUTURAÇÃO DE CANAL DE COMUNICAÇÃO INSTITUCIONAL 4

3.2 ELABORAÇÃO DE UM GUIA PARA O PLANEJAMENTO, REALIZAÇÃO E REGISTRO DE AUDIÊNCIAS PÚBLICAS 5

4 RESULTADOS OBTIDOS 5

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 6

6 ANEXOS 7

6.1 ANEXO I – MANUAL OPERACIONAL DA OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA 7

6.2 ANEXO II – GUIA PARA O PLANEJAMENTO, REALIZAÇÃO E REGISTRO DE AUDIÊNCIAS PÚBLICAS 7

1 APRESENTAÇÃO

O presente documento consiste em um Relatório Técnico de Atividades voltado ao detalhamento das ações de apoio técnico e operacional desempenhadas no âmbito do Produto 4.2 do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE), denominado “Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe na promoção de um diálogo efetivo junto às instituições envolvidas na execução do Plano de Ações Climáticas, contemplando o auxílio no estabelecimento de um canal de comunicação e a elaboração de material de apoio e demais documentos necessários à sua realização”.

As atividades contempladas neste produto consistiram na elaboração de materiais técnicos de apoio destinados à Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), com vistas à implementação dos instrumentos de governança participativa, ou em rede, previstos no Produto 4.3, intitulado “Modelagem de um Plano de Governança Climática”.

O Plano de Governança Climática estabelece diretrizes para a implementação da Ouvidoria de Justiça Climática, bem como para a realização de audiências públicas e consultas populares — instrumentos que constituíram o foco central da análise e subsidiaram a elaboração dos materiais técnicos desenvolvidos no Produto 4.2.

A elaboração deste produto, assim como dos demais documentos contemplados no escopo do PEAC/SE, está prevista no Contrato n° 08/2025, firmado entre a SEMAC e a Fundação Instituto de Administração (FIA).

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste produto consiste em apoiar tecnicamente o Estado de Sergipe na promoção de um diálogo efetivo junto às instituições envolvidas na execução do Plano de Ações Climáticas.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Auxiliar a implementação de um canal institucional de comunicação voltado à participação social e ao diálogo interinstitucional;
- Desenvolver instrumentos que promovam a escuta ativa e o registro sistemático de demandas socioambientais;
- Elaborar materiais de apoio que orientem a condução e operacionalização dos instrumentos de escuta ativa e participação social;

- Fortalecer a transparência e a rastreabilidade das interações entre Estado e sociedade;
- Assegurar a integração entre os mecanismos de participação e o sistema MRV.

3 ATIVIDADES REALIZADAS

As atividades de apoio técnico e operacional, no âmbito do Produto 4.2, consistiram na elaboração de materiais de apoio destinados à SEMAC, e foram desenvolvidas no período compreendido entre março e abril de 2026. Nos tópicos subsequentes, são apresentados o processo de elaboração e o conteúdo dos materiais produzidos.

3.1 DESENVOLVIMENTO DA OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA E ESTRUTURAÇÃO DE CANAL DE COMUNICAÇÃO INSTITUCIONAL

No âmbito do Produto 4.2, uma das atividades de apoio técnico e operacional executadas consistiu na proposição e estruturação de um canal institucional de comunicação voltado à participação social e ao diálogo contínuo entre o Estado de Sergipe e os diversos atores envolvidos na implementação do Plano de Ações Climáticas.

Essa atividade materializou-se no desenvolvimento de uma Ouvidoria de Justiça Climática, concebida como instrumento de escuta ativa, mediação de demandas socioambientais e fortalecimento da transparência pública no âmbito do sistema MRV. A Ouvidoria foi estruturada a partir de formulário específico, que contempla campos voltados à identificação do manifestante (com possibilidade de anonimato), classificação temática da demanda, caracterização do tipo de manifestação, detalhamento técnico e social da ocorrência, bem como a inserção de evidências e sugestões de melhoria.

Destaca-se que a modelagem do formulário incorporou diretrizes alinhadas aos princípios de justiça climática e participação inclusiva, permitindo a identificação de grupos prioritários (como comunidades tradicionais e populações vulneráveis), a territorialização das manifestações e a categorização por núcleos temáticos estratégicos (tais como erosão costeira, semiárido e salvaguarda de comunidades tradicionais). Complementarmente, o instrumento prevê mecanismos de acompanhamento e retorno ao cidadão, mediante geração de protocolo e indicação de canais de comunicação complementares.

Como estratégia de integração e disseminação da ouvidoria, propõe-se a inserção da Ouvidoria de Justiça Climática na Plataforma de Transparência Climática,

desenvolvida no âmbito do Produto 3.2 do PEAC/SE. Neste ambiente, também serão divulgados os canais institucionais de contato dos distintos órgãos setoriais envolvidos na implementação do PEAC/SE.

A estruturação da Ouvidoria de Justiça Climática foi formalizada por meio da elaboração de um manual operacional, o qual reúne orientações técnicas destinadas à gestão do PEAC/SE para o recebimento, registro, tratamento e resposta às manifestações encaminhadas pela população. O referido Manual Operacional da Ouvidoria de Justiça Climática encontra-se apresentado em anexo.

3.2 ELABORAÇÃO DE UM GUIA PARA O PLANEJAMENTO, REALIZAÇÃO E REGISTRO DE AUDIÊNCIAS PÚBLICAS

Conforme estabelecido no Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), correspondente ao Produto 2.1 do PEAC/SE, prevê-se a realização de ciclos anuais de audiências públicas, bem como de consultas públicas virtuais com a mesma periodicidade, com o objetivo de assegurar a participação social no processo decisório. Cada audiência deverá ser planejada de acordo com finalidade específica, considerando a fase de implementação do PEAC/SE.

Diante dessa diretriz, reafirmada no Plano de Governança Climática (Produto 4.3), foi proposta a elaboração de um guia técnico direcionado à SEMAC, com o propósito de orientar as etapas de planejamento, mobilização, realização, registro e publicização das audiências públicas e consultas virtuais no âmbito do Plano.

O Guia Orientador, apresentado no Anexo II, tem como finalidade principal a padronização dos procedimentos relacionados à condução desses instrumentos participativos, visando assegurar a obtenção de contribuições qualificadas e representativas dos setores público e privado, com ênfase na inclusão de grupos e comunidades vulneráveis e tradicionais.

4 RESULTADOS OBTIDOS

As atividades desenvolvidas no âmbito do Produto 4.2 resultaram na estruturação de instrumentos técnicos voltados ao fortalecimento da governança participativa no PEAC/SE. Destaca-se, como principal resultado, a modelagem da Ouvidoria de Justiça Climática, concebida como canal institucional de escuta ativa, com fluxos definidos para registro, tratamento e acompanhamento de manifestações, promovendo maior transparência e rastreabilidade das demandas sociais.

Além disso, a proposta de integração da Ouvidoria à Plataforma de Transparência Climática contribui para sua inserção no sistema MRV, permitindo a sistematização e o monitoramento das interações entre Estado e sociedade.

Ainda no âmbito da governança participativa, importa mencionar o relevante papel do Guia Orientador (Anexo II), que permitiu a padronização dos processos de planejamento, realização e registro de audiências e consultas públicas no âmbito do PEAC/SE, e, por consequência, assegura que os eventos ocorram com participação social significativa e que as manifestações realizadas, presencialmente ou virtualmente, sejam consideradas no processo decisório.

De forma geral, os resultados obtidos fortalecem os mecanismos de participação social e contribuem para a operacionalização da governança em rede prevista no PEAC/SE.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise dos resultados obtidos, é possível afirmar que as atividades de apoio técnico e operacional apresentadas neste Relatório alcançaram os objetivos específicos previamente definidos, especialmente ao fornecer subsídio à implementação de um canal de escuta ativa à sociedade civil no âmbito do PEAC/SE.

A proposição da Ouvidoria de Justiça Climática, aliada à elaboração de materiais orientadores para a realização de audiências públicas, evidencia a preocupação em assegurar que a governança climática transcenda o âmbito técnico-institucional, incorporando de forma efetiva as contribuições oriundas da sociedade civil, com ênfase para populações vulneráveis e comunidades tradicionais.

Cumpre mencionar que a efetividade dos procedimentos operacionais propostos nos materiais de apoio somente será garantida com a adequada implementação dos instrumentos, medida de responsabilidade da SEMAC, em seu papel coordenador, e demais órgãos setoriais envolvidos.

6 ANEXOS

6.1 ANEXO I – MANUAL OPERACIONAL DA OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA

O Manual Operacional da Ouvidoria de Justiça Climática corresponde a um documento orientador direcionado aos membros da Secretaria Executiva do PEAC/SE que serão responsáveis pela implementação da ouvidoria. O documento está disponível digitalmente.

6.2 ANEXO II – GUIA PARA O PLANEJAMENTO, REALIZAÇÃO E REGISTRO DE AUDIÊNCIAS PÚBLICAS

O Guia busca fornecer orientações à SEMAC, na qualidade de instituição responsável, para planejamento, convocação, execução e registro de audiências públicas no âmbito do PEAC/SE. Este documento está disponível em meio digital.

Manual Operacional da Ouvidoria de Justiça Climática

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVOS 3

3 RESPONSÁVEIS PELA IMPLEMENTAÇÃO 4

4 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DAS REDES DE COMUNICAÇÃO 4

4.1 PLANTÃO DE RESPOSTA RÁPIDA 4
4.2 CANAIS DE ACESSO DIVERSIFICADOS 6

5 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DO CANAL DE OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA 7

5.1 TRIAGEM DAS MANIFESTAÇÕES 7
5.1.1 CLASSIFICAÇÃO PRELIMINAR 8
5.1.2 TRIAGEM TÉCNICA 8
5.2 ENCAMINHAMENTO INSTITUCIONAL 9
5.3 RESPOSTA INSTITUCIONAL 10
5.4 MONITORAMENTO E REGISTRO DAS MANIFESTAÇÕES 10
5.5 ACESSIBILIDADE TERRITORIAL E ESCUTA ATIVA EM ÁREAS RURAIS E COMUNIDADES TRADICIONAIS 12

6 FLUXO ORDINÁRIO DE ATENDIMENTO 12

7 LISTA DE FIGURAS 12

8 LISTA DE QUADROS 13

1 APRESENTAÇÃO

Este manual tem por objetivo principal estabelecer procedimentos e orientações gerais necessários à operacionalização do canal de escuta ativa do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE). As instruções apresentadas neste manual deverão ser consideradas para fins de recebimento, tratamento e resposta às ocorrências, sugestões de melhoria e demais contribuições oriundas de representantes da sociedade civil.

O canal de comunicação, denominado Ouvidoria de Justiça Climática, configura-se como instrumento estratégico de participação social e transparência. Além disso, será um importante aliado na formulação de ações de mitigação e adaptação no âmbito da revisão do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação Climática (PEMAMC-SE) e do Sistema MRV (Monitoramento, Relato e Verificação), que deverão ser realizadas com periodicidade quinquenal.

2 OBJETIVOS

Estabelecer diretrizes, procedimentos e instrumentos operacionais para a implementação e gestão da Ouvidoria de Justiça Climática no âmbito do PEAC/SE, de modo a assegurar o recebimento, tratamento, encaminhamento e resposta qualificada às manifestações da sociedade, em consonância com os princípios de transparência, participação social e governança do Sistema MRV.

- Definir o fluxo padronizado de triagem, classificação e encaminhamento das manifestações recebidas;
- Estabelecer critérios técnicos para análise, priorização e tratamento das demandas socioambientais;
- Padronizar os modelos de resposta institucional;
- Orientar a articulação entre os órgãos setoriais responsáveis pela análise e resposta das manifestações;
- Definir estratégias de comunicação e divulgação da Ouvidoria de Justiça Climática;
- Subsidiar a geração de informações estratégicas para apoio à tomada de decisão e aprimoramento das políticas climáticas estaduais.

3 RESPONSÁVEIS PELA IMPLEMENTAÇÃO

Os procedimentos operacionais previstos neste Manual deverão ser liderados pelo Ouvidor-Geral de Mudanças Climáticas, cargo ocupado por profissional designado diretamente pelo Secretário da SEMAC, com mandato fixo de 2 anos (sendo permitida uma recondução) para assegurar a autonomia técnica. Este profissional deverá possuir trânsito livre entre a ADEMA e as secretarias de Infraestrutura, Fazenda e Defesa Civil.

A equipe que irá prestar suporte técnico e operacional ao Ouvidor-Geral corresponde aos membros da Coordenação de Comunicação, vinculada à Secretaria Executiva do PEAC/SE.

4 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DAS REDES DE COMUNICAÇÃO

Para além do Canal de Ouvidoria de Justiça Climática, integrado à Plataforma de Transparência, deverão ser implementados e operacionalizados canais complementares de comunicação que viabilizem o envio ágil, acessível e eficiente de manifestações e denúncias. Tais canais deverão priorizar a recepção de ocorrências críticas, assegurando o pronto encaminhamento e a rápida mobilização dos órgãos competentes para adoção das medidas cabíveis.

Nos itens a seguir, serão apresentados os procedimentos operacionais para os canais complementares de comunicação da Ouvidoria de Justiça Climática.

4.1 PLANTÃO DE RESPOSTA RÁPIDA

O Plantão de Resposta Rápida deverá ser estruturado para atendimento de manifestações urgentes relacionadas a desastres climáticos, riscos iminentes ou ocorrências que possam comprometer a vida, a segurança, a saúde, a moradia, o abastecimento hídrico, a mobilidade, a infraestrutura pública ou a subsistência de comunidades vulneráveis. Esse plantão deverá ser composto por equipe rotativa de servidores previamente designados, em regime de prontidão, com integração operacional à Superintendência Estadual de Proteção e Defesa Civil (Supdec) e aos demais órgãos competentes.

A implantação do plantão exigirá a definição formal de escala de servidores, matriz de responsabilidades, fluxos de acionamento, canais internos de comunicação, protocolos de prioridade, níveis de severidade e procedimentos de registro. A equipe deverá contar, no mínimo, com representante da Ouvidoria de Justiça Climática

(Ouvidor-Geral de Mudanças Climáticas), ponto focal da SEMAC, ponto focal da Defesa Civil, suporte técnico de monitoramento climático e canal de articulação com municípios afetados.

As manifestações recebidas pelo plantão deverão ser classificadas em três níveis operacionais:

- Nível 1 – Urgência crítica: risco imediato à vida, desastre em curso, isolamento de comunidades, colapso de infraestrutura essencial, inundação, deslizamento, alagamento severo, seca com comprometimento de abastecimento ou evento que demande acionamento emergencial da Defesa Civil;
- Nível 2 – Prioridade alta: ocorrência com potencial de agravamento, dano ambiental relevante, impacto direto sobre população vulnerável, risco à saúde pública, erosão costeira com ameaça a moradias ou conflito socioambiental com necessidade de vistoria técnica;
- Nível 3 – Atendimento ordinário: reclamações, solicitações, sugestões, denúncias sem risco imediato, pedidos de informação e manifestações relacionadas à transparência ou à execução das políticas climáticas.

Para manifestações classificadas como Nível 1, relacionadas a risco iminente, desastre climático ou situação com potencial de comprometimento imediato da vida, a plataforma deverá adotar fluxo de resposta emergencial direta, sem intermediação inicial da Ouvidoria. Nesses casos, ao selecionar a opção correspondente, o sistema deverá exibir alerta interativo orientando o usuário a acionar imediatamente os canais competentes, como Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, SAMU, órgãos municipais de proteção e defesa civil ou demais serviços de emergência aplicáveis, preferencialmente com funcionalidade de redirecionamento direto para ligação ou contato imediato.

A Ouvidoria, nesses casos, deverá atuar apenas de forma complementar e posterior, mediante registro do evento, acompanhamento institucional das providências adotadas e sistematização das informações recebidas. Assim, o fluxo operacional da Ouvidoria deverá concentrar-se prioritariamente nas manifestações de Níveis 2 e 3: nos casos de Nível 2, com encaminhamento prioritário à área técnica e solicitação de manifestação em prazo reduzido; e, nos casos de Nível 3, mediante aplicação do fluxo ordinário de atendimento.

4.2 CANAIS DE ACESSO DIVERSIFICADOS

A Ouvidoria de Justiça Climática deverá assegurar canais múltiplos de acesso, de modo a evitar que a participação social fique restrita à população com acesso regular à internet. Para isso, deverão ser disponibilizados, de forma integrada, linha telefônica 0800, WhatsApp institucional, atendimento presencial assistido e terminais físicos em unidades do Centro de Atendimento ao Cidadão (CEAC) ou em outros pontos de atendimento público definidos pela SEMAC.

A linha 0800 deverá permitir o registro de manifestações por telefone, com atendimento humano em horário comercial e mensagem orientativa fora desse período. Em emergências climáticas, o atendimento telefônico deverá estar integrado ao Plantão de Resposta Rápida, cuja equipe deverá possuir grau de especialização compatível com a natureza das ocorrências recebidas, incluindo capacitação em gestão de riscos e desastres, triagem de manifestações urgentes, fluxos de acionamento institucional, comunicação em situação de crise e encaminhamento aos órgãos competentes. O atendente deverá preencher o formulário digital em nome do cidadão, registrar a manifestação no sistema, informar o número de protocolo e orientar sobre os prazos de resposta, observando os protocolos técnicos definidos para cada nível de criticidade.

O WhatsApp institucional deverá funcionar como canal complementar para recebimento de mensagens, fotos, vídeos, localização e documentos. Sua operação deverá prever mensagem automática inicial, termo simplificado de uso e privacidade, opção de atendimento humano, integração com a plataforma de protocolos e filtros para identificação de casos urgentes. As conversas relevantes deverão ser registradas no banco da Ouvidoria, preservando a rastreabilidade do atendimento. Este canal de comunicação permitirá o anexo de documentos e imagens ao processo de denúncia/manifestação, o que enriquece o conhecimento sobre o caso e, por consequência, a resposta institucional.

Os terminais físicos em unidades do CEAC deverão permitir que cidadãos sem internet possam registrar manifestações com apoio de servidor ou atendente capacitado. Esses pontos deverão dispor de formulário padronizado, acesso ao sistema digital, material informativo em linguagem simples e orientação sobre anonimato, sigilo, acompanhamento por protocolo e encaminhamento de demandas urgentes. Sempre que possível, deverão ser priorizadas unidades com maior capilaridade territorial e facilidade de acesso para populações rurais, costeiras, periféricas e comunidades tradicionais.

5 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DO CANAL DE OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA

Nos itens a seguir, serão detalhados os procedimentos operacionais a serem executados a partir do recebimento das manifestações por parte da sociedade civil no Canal de Ouvidoria de Justiça Climática, vinculado à Plataforma de Transparência Climática.

5.1 TRIAGEM DAS MANIFESTAÇÕES

Para a integração da Ouvidoria de Justiça Climática com a Plataforma de Transparência, foi desenvolvida a seção de "Contato". Nessa seção, as manifestações serão recebidas por meio do preenchimento de formulário eletrônico, conforme indicado na Figura 1.

Figura 1: Captura de tela do Canal de Ouvidoria de Justiça Climática da Plataforma de Transparência Climática



O formulário é constituído por 4 (quatro) seções, compostas por 7 (sete) perguntas no total. As seções e perguntas são detalhadas abaixo:

- Seção 1: Identificação do Manifestante:
  - Nome completo/Instituição;
  - Perfil socioeconômico/identitário;
  - Município de moradia;
- Seção 2: Classificação por núcleos especializados:
  - Qual o tema da manifestação?

        - Núcleo de Erosão Costeira;
        - Núcleo de Resiliência no Semiárido;
        - Núcleo de Salvaguarda de Comunidades Tradicionais;
    - Seção 3: Natureza da Manifestação:
        - Classificação do tipo de ocorrência:
            - Impacto Climático Direto – inundações, secas e ondas de calor extremas;
            - Racismo ambiental – degradação ambiental que atinge de forma desproporcional sua comunidade;
            - Gestão pública – ineficiência de políticas de adaptação ou falta de transparência em metas climáticas;
            - Conflito socioambiental – disputas com empreendimentos que afetam a resiliência local;
            - Outra.
    - Seção 4: Detalhamento da Ocorrência e Sugestões de Melhoria:
        - Detalhamento e Evidências;
        - Sugestão de Melhoria.

Com base nas respostas recebidas, procede-se às etapas de triagem, que correspondem à classificação preliminar e triagem técnica. O detalhamento dessas etapas será apresentado nos subtópicos a seguir.

5.1.1 CLASSIFICAÇÃO PRELIMINAR

Após o recebimento, a manifestação deverá ser classificada segundo os seguintes critérios:

- Natureza da manifestação: impacto climático direto, racismo ambiental, gestão pública ou conflito socioambiental;
- Núcleo temático: erosão costeira, semiárido/resiliência hídrica, comunidades tradicionais ou outros eixos correlatos;
- Localização geográfica: município e microrregião;
- Grau de urgência: baixo, médio ou alto, considerando risco à população ou dano ambiental.

5.1.2 TRIAGEM TÉCNICA

A triagem será realizada pela equipe da Coordenação de Comunicação, integrada à Secretaria Executiva, ou unidade responsável pela gestão da plataforma, que deverá:

- Verificar a completude das informações;

- Solicitar complementação, quando necessário;
- Identificar o órgão setorial competente para análise da demanda;
- Avaliar a necessidade de encaminhamento prioritário (casos urgentes ou sensíveis).

5.2 ENCAMINHAMENTO INSTITUCIONAL

O fluxo de encaminhamento institucional deverá observar a natureza das manifestações, conforme a lógica operacional apresentada no Quadro a seguir.

Quadro 1: Fluxo operacional de encaminhamento institucional para cada tipo de manifestação

NATUREZA DA MANIFESTAÇÃO	PROCEDIMENTO OPERACIONAL
Manifestações relacionadas a eventos climáticos extremos ou riscos iminentes (Nível Crítico)	Deverão ser encaminhadas imediatamente à Defesa Civil Estadual e, quando pertinente, às Coordenadorias Municipais de Proteção e Defesa Civil.
Manifestações relacionadas a infrações ambientais, degradação ou danos ambientais	Deverão ser encaminhadas prioritariamente à ADEMA, responsável pela fiscalização e licenciamento ambiental no âmbito estadual. Nos casos que envolvam competências federais (ex.: áreas da União, recursos hídricos federais ou unidades de conservação federais), o encaminhamento deverá ser feito ao IBAMA. A Ouvidoria deverá anexar todas as evidências fornecidas e solicitar manifestação técnica formal.
Manifestações relacionadas à gestão de políticas climáticas, metas ou transparência	Deverão ser respondidas pela SEMAC, na condição de órgão coordenador do PEAC/SE. Caberá à SEMAC articular respostas com os demais órgãos integrantes da governança climática, quando necessário.
Manifestações relativas a abastecimento ou segurança hídrica	Para temas de abastecimento de água e segurança hídrica, deverão ser contactadas as concessionárias de abastecimento para envio de respostas institucionais ou acionamento (em eventuais emergências).
Manifestações envolvendo conflitos socioambientais e populações vulneráveis	Deverão ser registradas pela SEMAC e encaminhadas aos órgãos de proteção social e jurídica, como a Defensoria Pública do Estado de Sergipe e o Ministério Público do Estado de Sergipe, especialmente quando houver indícios de violação de direitos coletivos ou difusos.
Manifestações relacionadas à infraestrutura, mobilidade ou serviços públicos afetados por eventos climáticos	Deverão ser encaminhadas às secretarias setoriais competentes (infraestrutura, saúde, assistência social, planejamento urbano).

5.3 RESPOSTA INSTITUCIONAL

As respostas institucionais deverão ser encaminhadas para o e-mail ou telefone de contato dos manifestantes. Para cada fase do fluxo de atendimento, haverá respostas institucionais padrão, conforme descrito no Quadro 2.

Quadro 2: Respostas institucionais para cada fase

ETAPA	RESPOSTA INSTITUCIONAL
Confirmação de recebimento (automática)	"Prezado(a), Sua manifestação foi registrada com sucesso na Ouvidoria de Justiça Climática do Estado de Sergipe. Protocolo nº: [XXXX] Acompanhe o andamento por meio da Plataforma de Transparência Climática."
Solicitação de complementação de informações	"Prezado(a), Para dar continuidade à análise de sua manifestação, solicitamos o envio das seguintes informações complementares: [descrever]. O atendimento a esta solicitação permitirá maior precisão na avaliação da demanda."
Encaminhamento para órgão competente	"Prezado(a), Sua manifestação foi analisada e encaminhada ao órgão competente para providências cabíveis: [órgão]. O prazo estimado para resposta é de até [XX] dias úteis."
Resposta conclusiva	"Prezado(a), Em atenção à sua manifestação, informamos que: [descrever análise, providências adotadas e resultados]. Agradecemos sua contribuição para o aprimoramento das políticas climáticas do Estado."
Encaminhamento externo	"Prezado(a), Considerando a natureza da manifestação, informamos que o caso foi encaminhado à(s) seguinte(s) instituição(ões): [Defensoria Pública, Ministério Público etc.], para as providências cabíveis."

5.4 MONITORAMENTO E REGISTRO DAS MANIFESTAÇÕES

As manifestações serão direcionadas ao e-mail registrado pela SEMAC, em sua atribuição de órgão coordenador do PEAC/SE, no formulário digital para fins de Ouvidoria de Justiça Climática. O próprio formulário disponibiliza informações

consolidadas, tais como: quantitativo de respostas, agrupamento por município de referência e demais dados que auxiliam a sistematização inicial das contribuições recebidas.

Entretanto, o registro formal das manifestações deverá ser realizado em banco de dados próprio, preferencialmente em planilha estruturada ou sistema interno, de modo a garantir a rastreabilidade, organização e acompanhamento das demandas. Esse banco de dados deverá conter, no mínimo, os seguintes campos:

- Número de protocolo: utilizar planilha de controle para a geração automática de número de protocolo;
- Data de recebimento da manifestação: inserir a data que consta no banco de dados do formulário digital;
- Identificação do manifestante: inserir o nome completo ou instituição do manifestante, caso tenha sido informado;
- Classificação por Núcleos Especializados: indicar se a manifestação apresenta relação com os seguintes núcleos:
    - Núcleo de Erosão Costeira: Impactos do avanço do mar;
    - Núcleo de Resiliência no Semiárido: Conflitos de acesso à água ou processos de desertificação no Alto Sertão;
    - Núcleo de Salvaguarda de Comunidades Tradicionais: Violações de direitos de povos e comunidades tradicionais.
- Natureza da Manifestação: classificar a manifestação quanto aos seguintes temas:
    - Impacto Climático Direto: Inundações, secas severas ou ondas de calor extremas;
    - Racismo Ambiental: Identificação de que a degradação ambiental atinge de forma desproporcional sua comunidade;
    - Gestão Pública: Reclamação sobre a ineficiência de políticas de adaptação ou falta de transparência em metas climáticas;
    - Conflito Socioambiental: Disputas com empreendimentos que afetam a resiliência local.
- Prazo de resposta: indicar a data final de resposta à manifestação (considerando eventuais prorrogações);
- Status da manifestação: inserir status da manifestação quanto ao envio de resposta institucional, como “Não respondida” ou “Respondida”.

5.5 ACESSIBILIDADE TERRITORIAL E ESCUTA ATIVA EM ÁREAS RURAIS E COMUNIDADES TRADICIONAIS

Com o objetivo de ampliar o acesso à Ouvidoria de Justiça Climática em áreas rurais, territórios tradicionais e comunidades com menor conectividade digital ou dificuldade de deslocamento até os canais institucionais, deverão ser previstas estratégias complementares de escuta ativa e atendimento territorializado. Para tanto, recomenda-se a formalização de parcerias operacionais com instituições e agentes que já atuam de forma recorrente nesses territórios, a exemplo da EMDAGRO, dos Agentes Comunitários de Saúde, lideranças comunitárias, associações locais e demais órgãos ou serviços públicos com presença territorial consolidada.

Esses atores poderão, mediante capacitação prévia, atuar como vetores de aproximação entre a população e a Ouvidoria, auxiliando na divulgação dos canais de atendimento, no preenchimento assistido dos formulários, na identificação de demandas climáticas recorrentes e no encaminhamento de manifestações relacionadas a riscos, impactos, vulnerabilidades e necessidades de adaptação. Para isso, deverão ser disponibilizados materiais orientativos, formulários padronizados, protocolos simplificados de registro e mecanismos seguros de transmissão das informações coletadas.

6 FLUXO ORDINÁRIO DE ATENDIMENTO

Em conformidade com a modelagem do Plano de Governança Climática, o fluxo ordinário de atendimento deverá ocorrer de acordo com os prazos apresentados no Quadro 3:

Quadro 3: Descrição das etapas do fluxo de atendimento

ETAPA	AÇÃO	PRAZO SUGERIDO
Recepção	Registro da manifestação (denúncia, reclamação, sugestão).	Imediato (Automático)
Triagem	Classificação: Justiça Climática, Dano Ambiental ou Gestão de Pessoas	Até 24 horas
Encaminhamento	Envio para a área técnica (SEMAC/ADEMA), com pedido de providências	48 horas
Resposta	Devolutiva fundamentada ao cidadão sobre as medidas tomadas	Até 20 dias (prorrogáveis)

7 LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CAPTURA DE TELA DO CANAL DE OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA DA PLATAFORMA DE TRANSPARÊNCIA CLIMÁTICA 7

8 LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: FLUXO OPERACIONAL DE ENCAMINHAMENTO INSTITUCIONAL PARA CADA TIPO DE MANIFESTAÇÃO 9
QUADRO 2: RESPOSTAS INSTITUCIONAIS PARA CADA FASE 10
QUADRO 3: DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO FLUXO DE ATENDIMENTO 12

Guia para o Planejamento, Realização e Registro de Audiências Públicas no âmbito do PEAC/SE

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 3

2. OBJETIVOS 3

3. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS PRESENCIAIS 3

1.1 PLANEJAMENTO DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS 4
1.2 MOBILIZAÇÃO DE ATORES REGIONAIS 7
1.3 REALIZAÇÃO DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS 8
1.4 REGISTRO DAS AUDIÊNCIAS E CONTRIBUIÇÕES 9

4. PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA AS CONSULTAS PÚBLICAS VIRTUAIS 9

5. RESPONSÁVEIS PELA IMPLEMENTAÇÃO 10

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 10

7. LISTA DE QUADROS 11

1. APRESENTAÇÃO

O presente Guia tem por finalidade estabelecer diretrizes técnicas e operacionais para o planejamento, realização e registro de audiências públicas no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE). O Guia fundamenta-se nas premissas fornecidas pela modelagem do plano de governança do PEAC/SE, sobretudo em relação à governança climática participativa, um dos cinco eixos de governança previstos no documento.

2. OBJETIVOS

O presente Guia tem como objetivo geral orientar os órgãos estaduais e atores envolvidos quanto aos procedimentos necessários à realização de audiências públicas no âmbito do PEAC/SE.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Assegurar a participação social qualificada no processo de formulação, implementação e revisão das políticas climáticas;
- Padronizar os procedimentos de planejamento, condução e registro das audiências públicas;
- Garantir a transparência e a rastreabilidade das contribuições recebidas;
- Promover a inclusão de grupos vulneráveis e comunidades tradicionais, em consonância com os princípios de justiça climática;
- Integrar os resultados das audiências públicas ao Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), contribuindo para o aprimoramento contínuo das políticas públicas;
- Fortalecer a governança climática participativa e multissetorial.

3. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS PRESENCIAIS

Nos tópicos subsequentes serão detalhados os procedimentos operacionais para as distintas fases de realização das audiências públicas no âmbito do PEAC/SE.

1.1 PLANEJAMENTO DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS

De maneira prévia à realização das audiências públicas, deverá ser conduzida uma etapa de planejamento, que apresenta como principal foco a estruturação do local de recebimento do público que irá comparecer às audiências. A escolha do espaço deverá considerar os seguintes critérios:

1. Representatividade do Município para a região climática e/ou território político;
2. Facilidade de acesso ao espaço;
3. Disponibilidade de equipamentos: projetores, caixas de som, espaço para projeção;
4. Infraestrutura: sanitários, número de assentos mínimos (200), fornecimento de água.

No que concerne à representatividade do Município, deverão ser considerados os principais centros populacionais das três regiões climáticas (Agreste, Litoral e Sertão) e/ou seu posicionamento estratégico, com a finalidade de reduzir as distâncias a serem percorridas pelos participantes.

A definição do espaço também será condicionada pelo período de realização das audiências. Preferencialmente, os eventos deverão ser conduzidos em períodos com ausência de festividades, a fim de assegurar um maior índice de participação. Os períodos ideais são de março a maio e de julho a novembro. O horário ideal para a realização dos eventos, por sua vez, é de 8 às 12h.

Com a definição das datas e do espaço, deverão ser contratadas as equipes de suporte técnico, que deverão ser responsáveis pela operação de áudio e vídeo, a gravação do áudio e respectiva transcrição, bem como a preparação de coffee break. Ademais, deverá ser subcontratada equipe destinada à preparação do ambiente, incluindo a limpeza, organização, preparação dos equipamentos, impressão de banners e demais elementos visuais, assim como à recepção e registro dos participantes.

Em seguida, procede-se à definição dos atores regionais que deverão compor as audiências públicas, considerando as especificidades das regiões climáticas. De maneira geral, deverá ser realizada a convocação dos seguintes grupos e instituições:

Quadro 1: Grupos, instituições e associações a serem convocadas para as audiências públicas.

GRUPOS	ENTIDADES/ASSOCIAÇÕES/ÓRGÃOS/INSTITUIÇÕES
Representantes do Poder Público e Empresas Estatais	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia (SEDETEC):

GRUPOS	ENTIDADES/ASSOCIAÇÕES/ÓRGÃOS/INSTITUIÇÕES
	• Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC); • Companhia de Desenvolvimento Econômico de Sergipe (CODISE).
	Secretaria de Estado da Educação (SEED);
	Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural (SEAGRI):
	Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (Emdagro).
	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).
	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Infraestrutura (SEDURBI):
	Defesa Civil.
	Secretarias Municipais (realizar a mobilização conforme a região climática).
	Órgãos e entidades do SISNAMA: • Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA); • Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); • Secretarias Municipais de Meio Ambiente (realizar a mobilização conforme a região climática).
	Capitania dos Portos.
	Ministério Público (MP).
	Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH): • CBH do Rio Sergipe; • CBH do Rio Piauí; • CBH do Rio Japaratuba.
	Companhia De Desenvolvimento do Vale São Francisco (CODEVASF).
	Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF).
Entidades e Conselhos de Classe	Ordem dos Advogados do Brasil Seccional Sergipe (OAB/SE).
	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Sergipe (CREA/SE).
Representantes da Sociedade Civil (Convocar em conformidade com a região climática)	Associações de Pescadores.
	Associações de Artesanato.
	Associações e Movimentos de Agricultura Familiar.
	Associações de Catadoras e Catadores de Mangaba.
	Cooperativas de Reciclagem.
	Assentamentos de Reforma Agrária do Estado de Sergipe.
	Comunidades Tradicionais do Estado de Sergipe (contactar fóruns e demais organizações para facilitar a mobilização).
	Sindicatos dos Trabalhadores Rurais.
	Sindicato dos Trabalhadores na Indústria de Energia Elétrica no Estado de Sergipe (Sinergia).
	Sindicato dos Trabalhadores na Área da Saúde do Estado de Sergipe (Sintasa).

GRUPOS	ENTIDADES/ASSOCIAÇÕES/ÓRGÃOS/INSTITUIÇÕES
	Movimentos das Marisqueiras de Sergipe (MMS) e demais movimentos relacionados a comunidades tradicionais.
	Movimento dos Trabalhadores Rurais sem Terra (MST).
Representantes da Academia e Instituições de Pesquisa	Universidade Federal de Sergipe – UFS.
	Instituto Federal de Sergipe – IFS.
	Universidade Tiradentes – UNIT e do Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP).

A próxima etapa de planejamento consiste na definição clara do objetivo da audiência e preparação do material técnico que será exposto nas audiências públicas. Para tanto, deverá ser considerada a fase de implementação do PEAC/SE, assim como de seus respectivos planos, como o Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), Plano de Educação Ambiental e Conscientização Pública (PEACP/SE), bem como o Plano de Governança Climática. No Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas – PEMAMC-SE, foram previstas as seguintes audiências anuais:

1. Priorização de áreas para restauração florestal;
2. Revisão de metas setoriais;
3. Critérios de alocação do Fundo Estadual de Mudanças Climáticas;
4. Revisão quinquenal do PEMAMC-SE.

De maneira preliminar, recomenda-se que as audiências públicas priorizem os temas já estabelecidos neste instrumento de planejamento. Contudo, a partir da análise dos Relatórios Anuais de Progresso do PEAC/SE, poderão ser identificados pontos de melhoria ou necessidades de ajustes, ensejando a incorporação de objetivos complementares, a serem incorporados no material técnico. Ressalta-se que, no total, deverão ser realizadas 5 (cinco) audiências por ano, assegurando que o tema seja debatido em cinco regiões representativas para o Estado, considerando a divisão climática e política.

Por fim, a última atividade de planejamento consiste na definição clara dos participantes da Mesa Diretora, das regras da audiência e definição de papéis na realização da audiência. No âmbito da divisão de responsabilidades, deverão ser definidos os responsáveis pelas seguintes funções fundamentais na realização das audiências:

- Presidente da Mesa: responsável pela leitura dos objetivos da audiência, das regras da audiência (a serem definidas nesta fase) e designação dos responsáveis por cada resposta técnica às manifestações;

- Moderador: gestão das inscrições e do tempo de fala de cada participante, gestão de eventuais conflitos, bem como a apresentação dos membros que comporão a Mesa Diretora.

Em relação às regras da audiência, deverão ser definidos elementos como o tempo de fala de cada participante, a ordem de manifestações e o tempo de resposta institucional.

1.2 MOBILIZAÇÃO DE ATORES REGIONAIS

A etapa de mobilização de atores regionais deverá ocorrer com antecedência mínima de 30 (trinta) dias, sendo preferível o seu início com 45 (quarenta de cinco) dias de antecipação. O primeiro ato de mobilização consiste na publicação, por parte da SEMAC, de um Edital de Convocação de Audiência Pública. Neste documento, deverá estar contido a data, horário e local de realização da audiência, assim como o objetivo principal de sua realização. Em anexo, deverão constar os documentos técnicos que serão discutidos na audiência, a exemplo de relatórios de progresso, minutas de lei, estudos ambientais, entre outros.

Para obter, de maneira preliminar, o quantitativo de participantes que participarão das audiências presenciais, deverá ser produzido um formulário digital de inscrição na audiência pública, a ser preenchido com as seguintes informações:

- Nome do participante (opcional);
- Instituição/Organização que representa;
- Confirmação (Sim/Não/Talvez).

O formulário digital deverá constar nos e-mails institucionais encaminhados, bem como na descrição de publicações em mídias sociais e/ou em sites institucionais.

No quadro a seguir, serão descritas as estratégias de mobilização para os grupos introduzidos no tópico anterior.

Quadro 2: Estratégias de mobilização para cada grupo.

GRUPO	ESTRATÉGIA DE MOBILIZAÇÃO
Representantes do Poder Público e Empresas Estatais	Expedição de ofícios e envio de e-mails institucionais de convocação, com detalhamento da data, local, horário e objetivo da audiência.
Entidades e Conselhos de Classe	Convite formal direcionado às diretorias institucionais, via ofício e/ou e-mail institucional.
	Solicitar a indicação de representantes técnicos para cada conselho, que deverão confirmar a participação no formulário digital.

GRUPO	ESTRATÉGIA DE MOBILIZAÇÃO
Representantes da Sociedade Civil	Divulgação da audiência pública em mídias sociais da SEMAC, bem como em canais televisivos regionais e jornais de grande circulação.
	Consulta a fóruns de povos e comunidades tradicionais para a obtenção de contatos de lideranças locais e convocação formal e informal desses participantes.
	Agendar visitas a comunidades tradicionais e assentamentos rurais em áreas remotas, com o objetivo de informar sobre a importância da audiência e a disponibilização de transporte.
	Disponibilização de transporte para comunidades tradicionais e agricultores familiares que vivem em áreas remotas.
Representantes da Academia e Instituições de Pesquisa	Solicitar formalmente aos reitores de universidades indicações de representantes técnicos de departamentos estratégicos, como biologia, engenharia ambiental, engenharia civil, engenharia elétrica, economia, entre outros.

1.3 REALIZAÇÃO DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS

Em conformidade com as diretrizes apresentadas na modelagem do plano de governança climática, as audiências públicas deverão ser conduzidas de acordo com a seguinte estrutura padrão:

1. Abertura e composição da Mesa Diretora:
    a. Convocação de membros representantes das entidades responsáveis pela implementação do PEAC/SE;
    b. Apresentação, por parte do Presidente da Mesa (definir na fase de planejamento), das regras da audiência, como tempo de fala, ordem de inscrição, entre outros;
2. Exposição Técnica: apresentação do tema ou projeto que suscitou a realização da audiência pública (conforme previsto no Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas – PEMAMC-SE do PEAC/SE);
3. Manifestação dos inscritos na audiência: abertura do espaço para a participação ativa dos inscritos, incluindo representantes de ONGs, comunidades tradicionais, associações e especialistas;
4. Respostas e esclarecimentos: os técnicos e autoridades que compõem a Mesa Diretora realizam suas considerações sobre as manifestações dos participantes;

5. Encerramento: realiza-se um resumo dos questionamentos apontados e informa aos inscritos onde constará a transcrição do áudio e a ata da audiência pública.

Poderão ocorrer eventuais modificações na estrutura padrão prevista para a audiência pública, desde que priorizem a participação social de grupos vulneráveis, de especialistas e que não prejudiquem o cumprimento do tempo estabelecido na etapa de planejamento.

1.4 REGISTRO DAS AUDIÊNCIAS E CONTRIBUIÇÕES

As audiências públicas serão registradas oficialmente por meio de ata, que, em seus anexos, conterá a lista de presença dos participantes (que inclui nome completo, instituição/movimento que representa e telefone para contato) e a transcrição do áudio. Além disso, a ata deverá conter, no mínimo, as seguintes informações:

- Objetivo da audiência;
- Local;
- Data e horário de início e fim;
- Síntese das manifestações e respostas institucionais.

As atas e seus respectivos anexos deverão ser publicizadas por meio da Plataforma de Transparência Climática, com o objetivo de assegurar a transparência das manifestações e resultados obtidos.

4. PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA AS CONSULTAS PÚBLICAS VIRTUAIS

Com vistas a assegurar a ampla participação social, deverão ser instituídas consultas públicas em formato virtual, por meio de formulário eletrônico, destinadas à coleta de manifestações de representantes da sociedade civil, instituições de pesquisa e membros da Administração Pública que não possam participar presencialmente das audiências públicas.

Os formulários deverão ser amplamente divulgados por meio de canais institucionais, meios de comunicação e mídias sociais, de modo a maximizar o alcance e a representatividade das contribuições. Ressalta-se que, no momento da divulgação, os formulários deverão estar acompanhados dos materiais técnicos que subsidiarão as manifestações, de maneira análoga à audiência pública.

O período para preenchimento deverá compreender o intervalo entre a publicação do edital de convocação e até 10 (dez) dias após a realização da audiência pública, com a finalidade de assegurar tempo adequado para análise e envio das manifestações.

O conteúdo mínimo do formulário deverá contemplar:

- Identificação do participante:
  - Nome completo;
  - Instituição/Movimento que representa;
  - Município de origem;
- Acesso prévio à informação: confirmação do recebimento ou não do material técnico de apoio;
- Espaço para envio da manifestação (sem limite de linhas).

5. RESPONSÁVEIS PELA IMPLEMENTAÇÃO

O processo de planejamento, realização e registro das audiências públicas e consultas públicas virtuais é de responsabilidade da SEMAC, centralizada na Coordenação de Comunicação que, por sua vez, está vinculada à Secretaria Executiva do PEAC/SE. Para a composição da Mesa Diretora, no âmbito das audiências públicas, poderão ser contactados os representantes das Câmaras Temáticas, que deverão subsidiar as respostas técnicas às manifestações dos participantes conforme suas respectivas especialidades.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente documento consolida o conjunto de diretrizes e procedimentos a serem seguidos na realização de audiências públicas e consultas públicas virtuais no âmbito da implementação do PEAC/SE, incluindo a revisão do PEMAMC-SE, do sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), entre outros.

A adoção dos procedimentos aqui definidos favorece a ampliação da participação social, com a inclusão de diferentes segmentos, especialmente comunidades tradicionais e grupos vulneráveis, e assegura a diversidade de perspectivas no processo decisório. Essa abordagem está alinhada aos princípios de justiça climática e à necessidade de construção coletiva de soluções adaptativas e mitigadoras, considerando as especificidades territoriais do Estado de Sergipe.

Ademais, o Guia reforça a importância da integração das audiências públicas ao sistema MRV, garantindo que as contribuições da sociedade civil sejam devidamente registradas e incorporadas aos instrumentos de planejamento de monitoramento do PEAC/SE.

7. LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: GRUPOS, INSTITUIÇÕES E ASSOCIAÇÕES A SEREM CONVOCADAS PARA AS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS.....4
QUADRO 2: ESTRATÉGIAS DE MOBILIZAÇÃO PARA CADA GRUPO.....7

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Modelagem de um Plano de Governança para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (Produto 4.3)

São Paulo, maio/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVOS 3

3 PREMISSAS CONCEITUAIS 4

4 ARQUITETURA DA GOVERNANÇA CLIMÁTICA 5

4.1 GOVERNANÇA CLIMÁTICA VERTICAL OU *TOP DOWN* 6

4.1.1 Análise de impacto regulatório ambiental 8

4.2 GOVERNANÇA INTEGRADA OU MULTISSETORIAL 12

4.3 GOVERNANÇA EM REDE OU PARTICIPATIVA 17

4.3.1 OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA 20

4.3.2 CONSULTA POPULAR 23

4.4 GOVERNANÇA MULTINÍVEL OU MULTIESCALAR 28

4.4.1 PILARES ESTRATÉGICOS DE GOVERNANÇA 30

4.4.2 PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO DE GOVERNANÇA MULTIESCALAR. 45

4.4.3 ESTRUTURA MÍNIMA PARA ELABORAÇÃO DOS PLANOS MUNICIPAIS DE AÇÕES CLIMÁTICAS 54

4.5 GOVERNANÇA POLICÊNTRICA OU TRANSNACIONAL 55

5 PARCERIAS PÚBLICO PRIVADAS E O PAPEL DA ALESE 56

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 58

7 REFERÊNCIAS 61

8 LISTA DE FIGURAS 63

9 LISTA DE QUADROS 63

1 APRESENTAÇÃO

O Plano busca orientar as ações do Estado de Sergipe no enfrentamento da crise climática, promovendo a integração entre mitigação e adaptação, bem como a incorporação de critérios de sustentabilidade nas políticas públicas estaduais.

A elaboração do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE) vincula-se ao Contrato n° 08/2025, firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e a Fundação Instituto de Administração (FIA).

O PEAC-SE tem por finalidade definir as diretrizes, estratégias e medidas necessárias à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e ao fortalecimento da capacidade adaptativa da sociedade sergipana frente aos impactos climáticos. Seu desenvolvimento segue uma abordagem intersetorial e participativa, baseada em evidências científicas e na articulação entre governo, academia, setor produtivo e sociedade civil. Essa estrutura reforça o compromisso de Sergipe com a governança climática e com a transição justa para uma economia de baixo carbono.

Organizado em eixos estratégicos, o Plano compreende ações voltadas ao diagnóstico técnico das emissões e vulnerabilidades, à governança climática, à integração das políticas de mitigação e adaptação, ao planejamento e monitoramento contínuos e à mobilização de financiamento climático.

2 OBJETIVOS

Em consonância com as disposições do Termo de Referência, o presente documento tem por objetivo principal fornecer uma modelagem de governança para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas, no intuito de promover a fluidez do processo de tomada de decisões, planejamento e implementação da adaptação local às mudanças do clima.

Os objetivos específicos deste produto são:

- Institucionalizar o Fórum Sergipano de Mudanças Climáticas, garantindo que ele tenha caráter deliberativo e conte com a participação ativa do setor público, iniciativa privada, academia e comunidades tradicionais;
- Analisar e estabelecer uma estrutura de Governança climática para o Estado de Sergipe;

- Estabelecer um Comitê Intersetorial de Mudanças Climáticas que reúna representantes de todas as Secretarias de Estado;
- Criar uma Rede Sergipana de Municípios Resilientes para oferecer suporte técnico e jurídico às prefeituras;
- Formalizar um Painel Científico de Assessoramento, conectando a Universidade Federal de Sergipe (UFS), o ITPS e outros centros de pesquisa diretamente ao gabinete de decisão;
- Criação de canais de governança participativa e inclusiva - Reestruturar o Fórum Estadual de Mudanças Climáticas para garantir cadeiras permanentes e com direito a voto para comunidades tradicionais (quilombolas e marisqueiras) e o setor produtivo;
- Realizar verificações periódicas na legislação estadual existente para identificar e corrigir conflitos entre normas ambientais, fiscais e de desenvolvimento urbano;
- Desenvolver um Observatório de Governança Climática, um portal público onde os cidadãos possam acompanhar, em tempo real, o cumprimento das metas, o uso dos recursos e os indicadores de progresso de cada órgão do governo em relação ao plano climático;
- Estabelecer promoção de Parcerias Público-Privadas (PPP) para Resiliência Climática;
- Implementar programas contínuos de formação em Gestão de Riscos Climáticos para servidores de carreira.

3 PREMISSAS CONCEITUAIS

Para a Administração Pública, a governança é definida como um conjunto de mecanismos de liderança, estratégia e controle postos em prática para avaliar, direcionar e monitorar a gestão, para conduzir as políticas públicas e a prestação de serviços de interesse da sociedade. Essas diretrizes são dispostas no Decreto Federal n.º 9.203, de 22 de novembro de 2017, que dispõe sobre a matéria em âmbito federal.

A governança determina o estabelecimento de um ordenamento administrativo, englobando instituições e divisões que integrem o Estado, a sociedade civil e o mercado, com o objetivo de fomentar uma gestão compartilhada e adaptativa frente às ameaças das mudanças climáticas no mundo. A norma determina ainda a promoção de parcerias estratégicas entre órgãos governamentais, a iniciativa privada, entidades sociais e a comunidade.

As dimensões políticas e administrativas da governança, juntamente com suas configurações organizacionais, têm servido habitualmente como um cenário favorável para a execução de medidas de adaptação, apresentando-se como fatores de oportunidade. Contudo, em diversas situações, essas mesmas estruturas podem acentuar a fragilidade local, transformando-se em verdadeiros entraves ao progresso das estratégias adaptativas.

A implementação de um plano de governança para Sergipe permitirá a confecção de uma estrutura administrativa de cooperação essencial para os processos de coordenação e de organização da participação de agentes na elaboração do Plano de Adaptação à Mudança do Clima.

4 ARQUITETURA DA GOVERNANÇA CLIMÁTICA

Neste tópico, será descrita a concepção geral da Governança climática, com foco nos fundamentos que orientam a organização lógica do sistema, definindo as estruturas e os tipos conceituais de governança que podem ser aproveitadas no Estado de Sergipe.

A estrutura administrativa do Estado (administração direta e indireta), contempla um conjunto de entes, órgãos e entidades que atuam na prestação de serviços públicos, fomento, poder de polícia e intervenção no domínio econômico.

A governança climática do Estado de Sergipe deve ser entendida como um processo adaptativo e democrático para todo esse conjunto de atores. A integração da ciência à política, a fim de criar uma estrutura administrativa sólida, a descentralização para o nível municipal e o foco na redução das desigualdades territoriais são os pilares para que o estado atinja a neutralidade climática em 2050.

O fortalecimento institucional da SEMAC e a cooperação técnica entre os órgãos de agricultura, planejamento e infraestrutura são os motores necessários para transformar os riscos projetados em um futuro resiliente para todos os sergipanos.

A governança é aqui compreendida como o arranjo institucional que permite a tomada de decisão transversal, indo além da gestão ambiental stricto sensu. O trabalho detalha as competências das secretarias estaduais, órgãos da administração indireta e os mecanismos de cooperação interfederativa.

Abaixo, serão detalhados os componentes, requisitos e diretrizes para a operacionalização de cada um dos tipos de governança estabelecidos na literatura nacional e estrangeira.

4.1 GOVERNANÇA CLIMÁTICA VERTICAL OU *TOP DOWN*

As estruturas de governança e seus modelos institucionais costumam atuar como facilitadores para medidas adaptativas, apresentando-se como oportunidades estratégicas. Contudo, essas mesmas estruturas podem, por vezes, elevar a vulnerabilidade regional e se tornar obstáculos ao progresso. Estudos indicam que o ambiente institucional molda as decisões e o planejamento, mas ressaltam que a execução prática exige vencer barreiras de gestão, limitações de recursos e falhas de comunicação.

Para que a criação conjunta de soluções ocorra, é necessário o engajamento total dos envolvidos. O consenso acadêmico é claro: o aprimoramento institucional da governança climática é essencial para gerar as condições necessárias e a capacidade de resposta para enfrentar a crise ambiental de maneira integrada. (MENEZES, 2021, p. 108)

Nesse modelo de governança, a Administração Pública assume o papel central na criação e aplicação do processo decisório; a estrutura administrativa permite que a autoridade central aplique as diretrizes mandatórias de cima para baixo. No Estado de Sergipe, a Lei Estadual nº 9.364, de 05 de janeiro de 2024, que estabeleceu a política estadual do meio ambiente, materializa esse modelo de governança.

A abordagem top-down nas políticas públicas é definida pela restrição da autonomia decisória do corpo técnico e por uma forte inclinação organizacional. No que tange à discricionariedade, esse modelo se distancia da liberdade de ação comum aos "burocratas de nível de rua" do modelo bottom-up; em vez disso, exige que gestores e administradores sigam rigorosamente as normas das instituições executoras (LIPSKY, 1980). Essa dinâmica reflete uma estrutura focada no planejamento estratégico, na hierarquia e no controle centralizado das decisões, reservando à base apenas a execução das tarefas delegadas.

Nesse modelo, a SEMAC é considerada a autoridade central para controle da política de meio ambiente. O Nível Deliberativo, representado pelo Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas (CEEMC-SE), exerce o comando central para aprovar relatórios de progresso e revisões do sistema MRV. A SEMAC, novamente, atua como coordenadora geral, garantindo que as diretrizes do Acordo de Paris e da NDC brasileira sejam cumpridas no território estadual.

Esse formato de articulação entre o Estado e a sociedade civil, marcado pela predominância de redes de políticas, possui uma essência centralizadora, distinguindo-se do corporativismo clássico ao focar em como a institucionalização de regras e as conexões organizacionais moldam as políticas públicas.

Sob essa ótica, gestores e burocratas mantêm interlocução com diversos segmentos e agências, ficando suscetíveis à influência ou mesmo à cooptação, por grupos de pressão. Em suma, tais modelos teóricos convergem ao posicionar os agentes estatais como os protagonistas centrais da ação pública. Ao priorizar o modelo burocrático em vez das demandas diretas dos beneficiários, essas perspectivas consolidaram as bases da abordagem *top-down*.

Figura 1: Estrutura organizacional da SEMAC.



Fonte: SEMAC, 2026[1].

Conforme Bulkeley e Betsill (2013), a governança vertical é essencial para estabelecer marcos legais e metas vinculantes que orientam as ações locais sob uma estratégia nacional e global coordenada.

Em 2024, o Estado de Sergipe criou o Comitê Estadual de enfrentamento de mudanças climáticas com o objetivo geral de mobilizar o governo estadual, as instituições públicas e privadas e a sociedade civil para a elaboração conjunta de estratégias em resposta aos problemas climáticos, e objetivos específicos de divulgação de inventários de emissões de GEE e discussão das ações municipais de mitigação e adaptação.

[1] https://www.se.gov.br/semac/transparencia/institucional/estrutura_organizacional - Acesso em 27/03/2026.

Dessa forma, a governança vertical se define centralmente pela existência de um setor especializado que possui a atribuição formal de gerir a agenda climática. Com foco prioritário na adaptação, essa estrutura opera por meio de um fluxo hierárquico (*top-down*), exercendo influência direta sobre os processos de decisão, a formulação de planos e a execução de políticas adaptativas (MACEDO & JACOBI, 2019).

Como é possível observar, esse modelo de governança vem sendo utilizado pela Administração Pública Estadual e segue como sendo um modelo base de governança, que deve ser implementado e aperfeiçoado por outros modelos com o objetivo de aperfeiçoamento climático de governança.

4.1.1 ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO AMBIENTAL

A Análise de Impacto Regulatório (AIR) convencional consiste em um processo sistemático de gestão que utiliza evidências e dados para avaliar os prováveis efeitos de propostas normativas antes de sua implementação. Seu objetivo central é garantir a qualidade regulatória, verificando se os benefícios da intervenção superam os custos e se as opções escolhidas são as mais eficientes para solucionar um problema identificado.

No Brasil, esse mecanismo foi fortalecido pela Lei de Liberdade Econômica (Lei nº 13.874, de 20 de setembro de 2019) e pelo Decreto nº 10.411, de 30 de junho de 2020, que tornaram a AIR obrigatória para agências reguladoras e órgãos da administração direta, visando evitar falhas de mercado e excesso de burocracia.

Na esfera ambiental, a AIR assume uma complexidade adicional, pois deve mensurar externalidades que nem sempre possuem valor de mercado imediato, como a preservação de serviços ecossistêmicos, a proteção da biodiversidade e a resiliência climática. Diferentemente da abordagem puramente econômica, a AIR ambiental integra o princípio da precaução e a análise de riscos de longo prazo, buscando equilibrar o desenvolvimento produtivo com a sustentabilidade. Ela se torna um instrumento vital para garantir que novas normas ambientais sejam eficazes na proteção do patrimônio natural sem impor restrições desproporcionais que inviabilizem a atividade econômica legal.

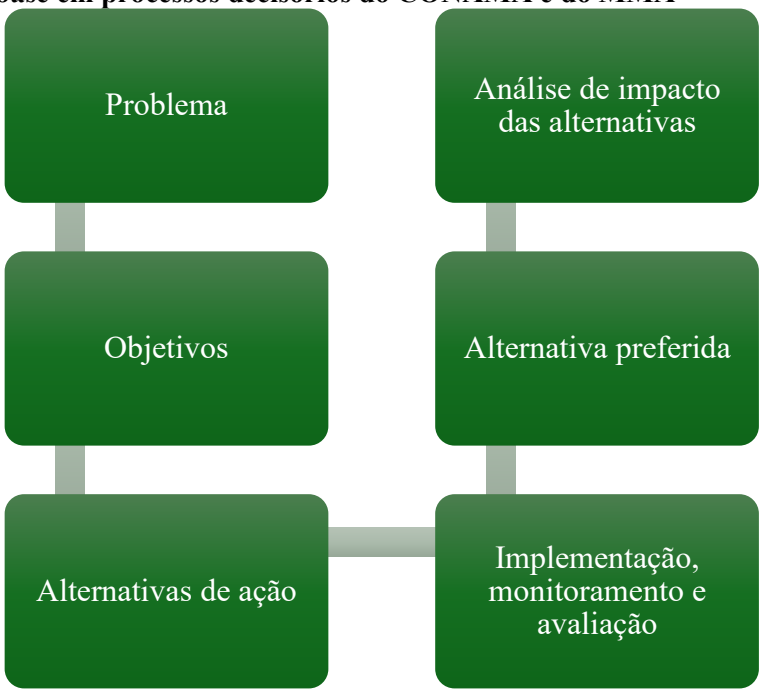
A convergência entre os dois conceitos ocorre no esforço de transparência e participação social, exigindo que o regulador considere as opiniões de múltiplos atores interessados. Enquanto a AIR convencional foca na eficiência administrativa e competitividade, a versão voltada ao meio ambiente prioriza a segurança jurídica para investimentos sustentáveis e a minimização de danos irreversíveis à natureza. Assim, a aplicação da AIR no setor ambiental funciona como um filtro de racionalidade,

assegurando que as políticas públicas climáticas e ambientais sejam baseadas em critérios técnicos sólidos e não apenas em pressões conjunturais. (CASA CIVIL, 2018)

De acordo com o manual do CONAMA, a AIR é um procedimento, a partir da definição de problema regulatório, de avaliação prévia à edição dos atos normativos, que conterá informações e dados sobre os seus prováveis efeitos, para verificar a razoabilidade do impacto e subsidiar a tomada de decisão.

A avaliação, de forma geral, contempla: A definição de um problema regulatório e de objetivos para combater suas causas; Identificação das alternativas de ação disponíveis para o alcance dos objetivos pretendidos e de seus possíveis impactos, tendo como finalidade orientar e subsidiar a tomada de decisão; e Identificação da forma de implementação, monitoramento e avaliação da alternativa escolhida.

Figura 2: Representa o passo a passo da tomada de decisão na análise de impacto regulatório- com base em processos decisórios do CONAMA e do MMA



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

O Marco normativo da análise de impacto regulatório é a lei da liberdade econômica, Lei Federal nº 13874, de 20 de setembro de 2019.

> **Lei 13.874/2019**
> Art. 5º As propostas de edição e de alteração de atos normativos de interesse geral de agentes econômicos ou de usuários dos serviços prestados, editadas por órgão ou entidade da administração pública federal, incluídas as autarquias e as fundações públicas, serão precedidas da realização de análise de impacto regulatório, que conterá informações e dados sobre os possíveis efeitos do ato normativo para verificar a razoabilidade do seu impacto econômico.

> Parágrafo único. Regulamento disporá sobre a data de início da exigência de que trata o caput deste artigo e sobre o conteúdo, a metodologia da análise de impacto regulatório, os quesitos mínimos a serem objeto de exame, as hipóteses em que será obrigatória sua realização e as hipóteses em que poderá ser dispensada.
>
> **Decreto 10.411/2020**
> Art. 3º A edição, a alteração ou a revogação de atos normativos de interesse geral de agentes econômicos ou de usuários dos serviços prestados, por órgãos e entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional será precedida de AIR.
> [...]
> § 2º O disposto no caput não se aplica aos atos normativos:
> I - de natureza administrativa, cujos efeitos sejam restritos ao âmbito interno do órgão ou da entidade;
> II - de efeitos concretos, destinados a disciplinar situação específica, cujos destinatários sejam individualizados;

A AIR-A (análise de impacto regulatório ambiental) em Sergipe é o procedimento administrativo prévio que justifica a criação de atos normativos ambientais através da análise de evidências científicas e econômicas, priorizando a segurança jurídica, a justiça climática e a eficiência na alocação de recursos públicos e privados para a proteção dos ativos naturais sergipanos, deve ser entendida como um processo de suporte à decisão que avalia a fundamentação técnica e a viabilidade econômica de novas normas ambientais, garantindo que elas promovam a resiliência climática sem gerar custos desproporcionais.

A Análise de Impacto Regulatório Ambiental (AIR-A) é um processo técnico e administrativo que visa avaliar os benefícios e custos de propostas de atos normativos e regulamentações antes de sua implementação. Seu objetivo central é garantir que a intervenção do Estado seja necessária, eficaz e proporcional, utilizando evidências para comparar alternativas que alcancem os objetivos de proteção ambiental com o menor impacto econômico possível. Esse instrumento atua como um filtro de racionalidade, evitando a criação de normas redundantes ou ineficientes que possam comprometer a competitividade sem gerar ganhos reais para a resiliência climática e a sustentabilidade (MENEZES, 2021; OCDE, 2020).

Diferentemente do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), que é um instrumento de licenciamento para projetos específicos (como a construção de uma usina ou rodovia), a AIR-A incide sobre a criação de leis e normas. Enquanto o EIA/RIMA analisa os efeitos físicos e bióticos de uma obra em um território delimitado, a AIR-A analisa as consequências socioeconômicas e sistêmicas de uma nova regra sobre todo um setor produtivo ou sociedade. Em suma, o

EIA/RIMA foca no "empreendimento", enquanto a AIR-A foca na "regra de governança" e na viabilidade da política pública ambiental (BRASIL, 2020; VISSCHER et al., 2016).

A aplicação da AIR-A é fundamental para a governança climática, pois permite integrar o princípio da precaução à análise de risco econômico, assegurando que as políticas de adaptação sejam transparentes e previsíveis. Ao exigir a participação social e a consulta a especialistas — como o Painel Científico — a AIR-A legitima a regulação ambiental, transformando-a em um vetor de segurança jurídica que estimula investimentos em tecnologias limpas e economia de baixo carbono. Assim, ela se diferencia dos processos puramente burocráticos ao priorizar resultados práticos e a otimização dos recursos públicos e privados (HIJIOKA et al., 2014; MENEZES, 2021).

A análise de impacto regulatória ambiental necessita de lei estadual para ser implementada sempre que houver uma proposta de ato normativo diverso de lei, seja uma resolução da CEMA (Conselho estadual do meio ambiente), portaria, decreto ou qualquer ato regulatório que causa algum impacto no meio ambiente

A análise de impacto regulatório é um importante instrumento que auxilia o gestor na tomada de decisão para que haja embasamento científico e técnico ante a produção de uma norma que cause efeito climático. Será encaminhada uma minuta de um projeto de lei para instituição da análise de impacto regulatório, bem como a minuta de regulamentação via decreto.

A instituição da Análise de Impacto Regulatório Ambiental (AIRA) no âmbito estadual encontra fundamento primordial na competência legislativa concorrente, estabelecida pelo Artigo 24, inciso VI, da Constituição Federal. Este dispositivo autoriza os Estados a legislarem sobre a proteção do meio ambiente e o controle da poluição, permitindo que o ente federado exerça sua autonomia para suplementar normas gerais da União. Assim, a criação de uma lei estadual para a AIRA não apenas respeita o pacto federativo, como permite que o Estado adapte as exigências regulatórias às suas peculiaridades ecológicas e socioeconômicas locais, garantindo que o desenvolvimento regional ocorra sob um rito de governança técnica e juridicamente seguro.

A necessidade de que tal instrumento seja formalizado via lei em sentido estrito decorre do Princípio da Legalidade e da busca por segurança jurídica. Como a AIRA atua como um filtro procedimental que condiciona a criação de novos atos normativos e pode gerar encargos administrativos ou alterar processos de licenciamento, sua previsão em lei evita a fragilidade de decretos isolados e assegura a legitimidade democrática da política ambiental. Ao estabelecer os critérios de análise por via legislativa, o Estado garante que

o instrumento de gestão seja perene, vinculando a Administração Pública a decisões baseadas em evidências e transparência, prevenindo o arbítrio e o retrocesso ambiental.

Sob a ótica da doutrina recente, autores como Juarez Freitas (FREITAS, 2019) e a corrente do Estado de Direito Ecológico defendem que a eficiência administrativa e a sustentabilidade exigem o chamado "consequencialismo jurídico", reforçado pelas alterações recentes na Lei de Introdução às Normas do Direito Brasileiro (LINDB). A AIRA estadual funciona como uma ferramenta de racionalidade que avalia, antecipadamente, os impactos e custos das regulações, buscando a máxima eficácia da norma com o menor ônus social possível. Dessa forma, a fundamentação doutrinária contemporânea sustenta que a regulação ambiental moderna deve ultrapassar o caráter meramente proibitivo, consolidando-se como uma regulação inteligente que harmoniza o rigor da proteção dos ecossistemas com a viabilidade econômica e a justiça social.

De acordo com o Art. 37 da Constituição Federal, a Administração Pública está adstrita ao Princípio da Legalidade. Isso significa que o Poder Executivo (e órgãos como a ADEMA) só pode criar obrigações, ritos procedimentais ou restrições ao exercício de atividades econômicas se houver previsão em lei em sentido estrito.

A Lei Federal nº 13.874/2019 (Lei da Liberdade Econômica) e o Decreto nº 10.411/2020 tornaram a AIR obrigatória para atos normativos de interesse geral editados por órgãos e entidades da Administração Pública Federal. Embora a norma federal sirva de norte, ela não obriga automaticamente a administração direta e autárquica dos Estados, devido à autonomia federativa. Portanto, para que o Estado de Sergipe tenha um fluxo regulatório moderno e alinhado ao padrão federal, é indispensável a edição de uma norma própria que vincule as agências e secretarias estaduais.

4.2 GOVERNANÇA INTEGRADA OU MULTISSETORIAL

O Modelo de Governança Climática Integrada ou Multissetorial é uma estrutura de gestão e tomada de decisão que rompe com a visão tradicional de que a mudança do clima é um problema estritamente ambiental ou restrito a uma única secretaria (como a SEMAC).

Neste modelo, a crise climática é tratada como um desafio estrutural da economia e do desenvolvimento, exigindo que todos os setores do governo e da sociedade civil colaborem de forma transversal para atingir metas de descarbonização e resiliência.

Segundo OSÓRIO & SANTOS (2016), a natureza transversal da adaptação climática exige que se evite a sobreposição de iniciativas, a dispersão de controles e os

impasses institucionais. O pilar central dessa integração é a coerência, entendida como um processo contínuo que alinha diferentes ações rumo a propósitos comuns (OCDE, 2003, conforme citado pelos autores). Essa abordagem garante que as medidas tomadas por entes públicos e privados se fortaleçam mutuamente, gerando sinergias eficazes.

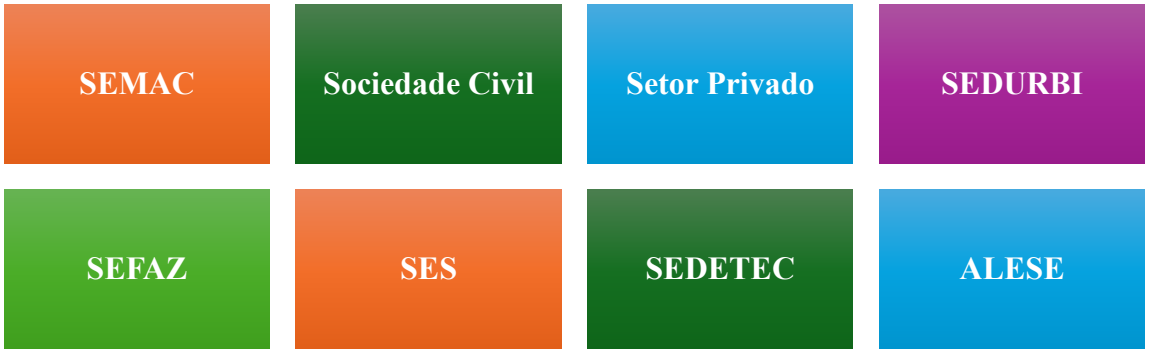
Os autores distinguem a coerência dos conceitos de coordenação e consistência, argumentando que a integração plena deve contemplar três dimensões:

- Horizontal: Articula as particularidades de cada setor e suas interdependências sistêmicas.
- Vertical: Alinha as competências de atores em múltiplos níveis federativos, respeitando as variações territoriais.
- Temporal: Sincroniza o ritmo das decisões administrativas com os ciclos de longo prazo e as incertezas da crise climática.

Contudo, advertem que os obstáculos à coerência residem na dificuldade de gerir políticas transversais e na tendência de priorizar respostas emergenciais em vez de planejamentos estratégicos duradouros.

Nesse modelo de governança, será implementado o Comitê de enfrentamento de mudanças climáticas. É importante destacar que tanto a designação dos membros do CEEMC-SE quanto a definição de suas atribuições específicas serão estabelecidas em regulamentação própria. Para tanto, o Produto 2.4 do PEAC/SE já contemplou uma proposta de Decreto Regulamentar para a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC), na qual foram estipuladas as orientações para a estruturação do referido Comitê.

Figura 3: Estrutura do comitê de enfrentamento das mudanças climáticas (FIA, 2026).



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

O Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC) configura-se como o braço operacional do Nível Técnico, sendo o centro executivo para a gestão, análise e

comunicação de dados ambientais. Sua estrutura é composta por 18 instituições estaduais e uma Secretaria Executiva vinculada à SEMAC, que deve de dispor de uma equipe de até 10 especialistas exclusivos para o PEAC/SE.

As entidades que compõem o grupo e suas respectivas áreas de atuação são:

- Coordenação Estratégica e Fiscalização: SEMAC (Geral), ADEMA (Licenciamento) e Polícia Ambiental;
- Desenvolvimento e Produção: SEAGRI (Agropecuária), EMDAGRO (Extensão Rural) e SEDETEC (Indústria);
- Infraestrutura e Recursos: SEDURBI (Cidades), DESO (Saneamento) e CODERSE (Recursos Hídricos);
- Serviços Públicos e Social: SES (Saúde), SEDUC (Educação) e Defesa Civil (Riscos);
- Gestão, Tecnologia e Fomento: SEPLAG (Planejamento), SEFAZ e BANESE (Finanças), EMGETIS (TI) e as Câmaras Temáticas.

A atribuição de monitorar estatísticas e indicadores do sistema MRV (Monitoramento, Relato e Verificação) está vinculada diretamente às competências de cada órgão citado, o processo de tomada de decisão com a participação desses órgãos é de fundamental importância para que haja efetivação da governança climática.

No que tange ao Nível Consultivo, deverão ser formalizadas 9 (nove) Câmaras Temáticas. O propósito central desses grupos é a produção de diagnósticos e estudos técnicos para embasar as deliberações de ordem estratégica, as quais ocorrerão durante as sessões ordinárias do CEEMC-SE ou logo após a validação dos informativos de desempenho trimestrais e anuais.

No contexto da governança, é fundamental ressaltar que as Câmaras terão um representante, em regime de rodízio, com assento junto ao GTMC. Cada unidade consultiva será composta por um contingente de 8 a 12 integrantes, cujas frentes de atuação e lideranças institucionais são detalhadas a seguir:

Quadro 1: Áreas de Foco e Coordenações das Câmaras Temáticas

CÂMARA TEMÁTICA	COORDENAÇÃO	FOCO DE ATUAÇÃO
CT de Agropecuária e Uso da Terra	SEAGRI	Sistemas ILPF, uso de biodigestores, reflorestamento e vigilância do desmatamento.
CT de Energia e Transporte	SEDETEC	Geração solar descentralizada, eletrificação da mobilidade e eficiência energética.

CÂMARA TEMÁTICA	COORDENAÇÃO	FOCO DE ATUAÇÃO
CT de Recursos Hídricos	SEMAC	Preservação hídrica, redução de perdas na rede e alimentação de aquíferos.
CT de Resíduos e Economia Circular	SEMAC/ADEMA	Processos de reciclagem, aproveitamento de biogás, compostagem e gestão de aterros.
CT de Adaptação Urbana	SEDURBI	Soluções de infraestrutura verde, sistemas de drenagem e moradias resilientes ao clima.
CT de Saúde e Clima	SES	Monitoramento de ondas de calor, controle epidemiológico e solidez da rede de saúde.
CT de Zonas Costeiras	SEMAC	Ecossistemas de mangue, combate à erosão marinha, pesca de subsistência e subida do mar.
CT de Financiamento Climático	SEFAZ	Atração de investimentos, gestão de fundos ambientais e mecanismos econômicos.
CT de Justiça Climática	SEMAC e Sociedade Civil	Apoio a grupos vulneráveis, proteção de povos tradicionais e promoção da equidade.

Fonte: Adaptado de FIA (2026).

Adicionalmente, a liderança de cada CT será nomeada pelo GTMC, com um ciclo de gestão de 2 anos, permitindo-se uma recondução consecutiva.

Já o Nível Consultivo-Científico é composto pelo Painel Científico, que atua como uma ponte estratégica entre a execução prática do PEAC/SE e o que há de mais moderno em inovação tecnológica e ciência climática. Este colegiado será integrado por 15 a 20 especialistas acadêmicos, detentores de expertise nas seguintes disciplinas:

- Dinâmicas climáticas e modelagem computacional;
- Engenharia de biossistemas e gestão de águas;
- Ciências agrárias e modelos agroflorestais;
- Matriz energética sustentável;
- Saúde coletiva e patologias ambientais;
- Economia do meio ambiente e sustentabilidade;
- Sociologia e direitos socioambientais.

A consolidação do Painel Científico será viabilizada por meio de Acordos de Cooperação Técnica (ACT) celebrados entre a SEMAC e centros de excelência, a exemplo da UFS, IFS, UNIT, FAPITEC, INPE, INMET e EMBRAPA. Este grupo realizará encontros a cada três meses com as seguintes metas:

- Sugerir refinos técnicos e incorporar descobertas científicas recentes ao sistema MRV;

- Atestar o rigor metodológico aplicado aos inventários de emissões de GEE;
- Analisar tendências atmosféricas e desenhar cenários prospectivos;
- Elaborar diagnósticos sobre a fragilidade climática do território em longo prazo;
- Fornecer suporte técnico especializado para as demandas das Câmaras Temáticas;
- Mensurar o impacto real e a eficiência das políticas públicas de clima adotadas.

Considerando a multiplicidade de patamares decisórios e a diversidade de instituições envolvidas, a criação de um Plano de Governança Climática que esteja em total sintonia com as diretrizes do PEAC/SE é crucial. Torna-se vital a estruturação de um modelo de gestão que defina, com absoluta clareza, as responsabilidades de cada ente, os protocolos de comunicação e a unificação dos bancos de dados de todos os parceiros institucionais.

A Secretaria Executiva organiza-se em três frentes principais para viabilizar o ciclo de dados:

1. Monitoramento: Foca na coleta de informações, gestão de indicadores da SEMAC e no Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE);
2. Articulação Setorial: Garante a integração e o fluxo de dados provenientes de todos os órgãos do GTMC;
3. Comunicação: Gere a transparência ativa, publica relatórios e promove o engajamento da sociedade civil via consultas públicas e plataformas digitais.

Conforme proposto por HIJIOKA et al. (2016), as políticas públicas vigentes podem ser instrumentos eficazes para a adaptação climática por meio de cinco categorias distintas, as quais demandam uma articulação multissetorial:

1. Rateio de perdas: Consiste em socializar os prejuízos com a comunidade ou o Estado (ex: auxílios governamentais, seguros e subsídios públicos para reconstrução);
2. Mitigação de impactos adversos: Medidas voltadas a minimizar os efeitos nocivos de fenômenos climáticos, como alterações pluviométricas ou elevação do nível do mar (ex: obras de infraestrutura como diques e barragens);

3. Fortalecimento da resiliência: Ações que ampliam a capacidade adaptativa de sistemas sociais (ex: gestão de recursos hídricos e reflorestamento) e de ecossistemas (ex: uso de cultivos resistentes e preservação da biodiversidade);
4. Produção de conhecimento: Fomento à pesquisa e ao monitoramento para embasar as estratégias de adaptação (ex: acompanhamento do lençol freático e estudos da fauna marinha);
5. Educação e disseminação de informações: Estímulo à mudança de hábitos por meio do treinamento de pessoal e campanhas educativas (ex: programas de economia de água e sensibilização para desastres).

Esse modelo garante a participação de diversos atores na construção da governança climática, do ponto de vista organizacional a eficácia é traduzida na visão multissetorial de cada secretaria ou entidade envolvida.

As 9 Câmaras Temáticas (CTs) de Sergipe operam este modelo, abrangendo áreas como Agropecuária e Uso da Terra (coordenada pela SEAGRI), Energia e Transporte (SEDETEC) e Recursos Hídricos (SEMAC).

O foco é a implementação do Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE) de forma sistêmica. Segundo o IPCC (2023), a integração multissetorial é fundamental para evitar que ações de mitigação em um setor (ex: energia) gerem impactos negativos em outro (ex: segurança hídrica).

4.3 GOVERNANÇA EM REDE OU PARTICIPATIVA

O conceito de Governança Climática em Rede, aliado a processos colaborativos e participativos, representa uma mudança de paradigma na forma como sociedades e Estados enfrentam a crise ambiental. Enquanto o modelo multissetorial foca na integração das pastas do governo, a governança em rede expande essa lógica para além das fronteiras estatais, conectando múltiplos atores em uma malha de influência horizontal e descentralizada.

> NAGY et al. (2014) incrementam o debate estudando a importância de compreender a mudança climática a partir de baixo (bottom-up) e o envolvimento ativo das partes interessadas na tomada de decisões. Afirmam que o empoderamento de comunidades locais é um processo de renegociação do poder a fim de ganhar mais controle, o que é central para alcançar acordos institucionais efetivos e medidas viáveis por meio de instâncias informadas de participação dos cidadãos na tomada de decisões, gerenciamento e monitoramento dos processos de adaptação. Além disso, o trabalho conjunto de cientistas e partes interessadas contribui para explicar conceitos científicos na linguagem comum.

O engajamento social compreende um conjunto diversificado de estratégias e ferramentas voltadas à consulta, ao diálogo e à transparência comunicativa, com o propósito de garantir que os indivíduos e grupos possivelmente impactados por uma deliberação ou diretriz política participem ativamente da sua construção. Essa metodologia colaborativa funde o rigor da investigação acadêmica com as percepções da comunidade, buscando conferir aos envolvidos o protagonismo e o senso de responsabilidade sobre as medidas de ajuste climático e social.

Dessa forma, evita-se que as soluções sejam concebidas exclusivamente por consultores externos em âmbitos macroestruturais, os quais poderiam estar desconectados da realidade e das particularidades das interações socioambientais da região afetada.

Figura 4: Representa o processo de tomada de decisão no modelo de governança participativa



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Essa perspectiva de gestão em rede, fundamentada em dinâmicas de colaboração e engajamento social (de baixo para cima), resulta na organização de modelos institucionais dinâmicos que envolvem diversos agentes para a execução das medidas adaptativas. De acordo com NAGY et al. (2014), existem oito fases distintas, interconectadas por ciclos de retroalimentação, que orientam a montagem dessa estrutura:

1. Contatos informais e formais com autoridades nacionais e locais;
2. Entrevistas semiestruturadas e em profundidade com cientistas, gestores e profissionais;

3. Comunicação às partes interessadas sobre as informações científicas disponíveis quanto a tendências climáticas, vulnerabilidade, cenários e melhores práticas de manejo;
4. Consulta seletiva com as partes interessadas e funcionários eleitos de acordo com suas responsabilidades;
5. Reuniões separadas com grupos de partes interessadas (de pescadores locais a legisladores municipais) para abordar suas prioridades e avaliar sua percepção de ameaças, vulnerabilidade, danos, restrições e oportunidades para realizar ações específicas e discussão em grupo;
6. Análise da percepção e das visões das partes interessadas, ponderando seu envolvimento, conflitos de interesse e poder de decisão;
7. Análise participativa das melhores práticas, prioridades das partes interessadas, aceitação social, viabilidade econômica e técnica, necessidade de apoio externo, urgência, limites (aceitação/não aceitação do risco), opções sem arrependimento, aceitação política e vontade;
8. Negociação de acordos institucionais e consenso.

O ponto chave para o desenvolvimento de uma governança climática que contemple esses indicadores é a participação social atrelada a consulta popular e análise das práticas que possam contemplar todas as realidades envolvidas no processo de tomada de decisão na seara climática.

O benefício de uma metodologia progressiva e não linear reside no estímulo a consensos, ciclos de retroalimentação e modelos institucionais que envolvam diversos interessados, onde o sucesso depende da adoção de alternativas que gozem de ampla aprovação. Tal perspectiva diagnóstica conecta as consequências vindouras às circunstâncias que as desencadeiam, permitindo uma análise reversa das condições necessárias para tais desfechos. Esses cenários futuros podem configurar-se como adversos, quando atingem pontos de ruptura críticos, ou favoráveis, quando representam um objetivo coletivo almejado conforme mencionado por NAGY et al., 2014.

Um instrumento importante que garante a estruturação de um processo participativo de governança são as Conferências Estaduais de Mudanças Climáticas, realizadas bienalmente. Esses eventos agregam entre 300 e 500 representantes oriundos da Administração Pública Estadual, gestões municipais, entidades civis, iniciativa privada e meio acadêmico. Esses encontros possuem propósitos variados: realizar um diagnóstico conjunto sobre o avanço do PEMAMC-SE, discutir correções indispensáveis nas diretrizes em curso, selecionar os membros da sociedade civil que integrarão o CEEMC-

SE no período subsequente, além de validar propostas e diretrizes que sirvam de baliza para as urgências do estado frente à questão climática.

Para que haja uma participação e uma definição melhor, deverão ser feitos convites especiais para as populações tradicionais, indígenas e quilombolas, bem como para populações vulneráveis como marisqueiros e pescadores, os convites deverão ser encaminhados por meio virtual ou presencial e endereçados para as entidades de representação dessas categorias, para que se garanta um espaço plural e uma discussão climática faça agregar os diversos segmentos da sociedade.

4.3.1 OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA

4.3.1.1 Natureza e Missão

A Ouvidoria atuará como um canal de segunda instância, focada especificamente em conflitos decorrentes de impactos climáticos, racismo ambiental e proteção de comunidades tradicionais (catadoras de mangaba, pescadores, quilombolas e agricultores do sertão etc.). Ela é embasada na transição do modelo clássico de atendimento ao cidadão para uma estrutura de proteção de direitos fundamentais, atuando como um mecanismo de monitoramento e salvaguarda das populações vulneráveis frente aos riscos e danos decorrentes das mudanças ambientais.

Conceitualmente, a Ouvidoria de Justiça Climática se afasta da neutralidade burocrática para assumir uma postura ativa na identificação de injustiças socioambientais, especialmente o racismo ambiental, onde determinadas comunidades, a exemplo das catadoras de mangaba, pescadores artesanais e populações quilombolas do Estado de Sergipe, sofrem de forma desproporcional os efeitos da degradação.

Ao estar vinculada diretamente à Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), ela funciona como um nó estratégico na governança em rede, garantindo que a voz do cidadão hipossuficiente não apenas chegue ao Estado, mas possua força normativa para influenciar o planejamento de adaptação e resiliência das políticas públicas estaduais.

No plano operacional e jurídico, essa ouvidoria institucionaliza o conceito de "escuta ativa" e "transparência radical", servindo como uma instância de controle social que opera sem interrupções para mediar conflitos entre o desenvolvimento econômico e a preservação da dignidade humana. Ela é desenhada para reconhecer o "desvio produtivo do consumidor" ambiental, ou seja, o tempo vital que o cidadão é compelido a gastar para

sanar falhas na prestação de serviços públicos de mitigação climática ou para pleitear reparação por danos causados pela desídia estatal ou privada.

Por fim, a Ouvidoria de Justiça Climática em Sergipe consolida o princípio da participação pública integrada ao conhecimento local e científico, funcionando como um tribunal administrativo de mediação que evita a judicialização excessiva ao oferecer respostas céleres e fundamentadas em dados técnicos. Ela opera como uma ponte entre a Administração Pública e a rede de assistência judiciária, como a advocacia dativa, encaminhando violações de direitos individuais e coletivos para a devida reparação judicial quando os mecanismos de autotutela administrativa se mostram insuficientes.

Dessa maneira, o órgão deixa de ser um mero depósito de reclamações para se tornar o guardião da boa-fé objetiva e da confiança nas relações ambientais, garantindo que o direito a um meio ambiente equilibrado seja indissociável da proteção à vida, à segurança residencial e à subsistência econômica dos sergipanos. Assim, tem por objetivo garantir que o cidadão hipossuficiente tenha voz nas decisões ambientais do Estado e proteção contra danos climáticos.

4.3.1.2 Governança e Liderança

- O Ouvidor-Geral de Mudanças Climáticas: Cargo ocupado por profissional designado diretamente pelo Secretário da SEMAC, com mandato fixo de 2 anos (permitindo uma recondução) para garantir autonomia técnica.
- Independência: O Ouvidor terá trânsito livre entre a ADEMA (órgão executor) e as secretarias de Infraestrutura, Fazenda e Defesa Civil.

4.3.1.3 Funcionamento Ininterrupto (Regime 24/7)

Para garantir que a Ouvidoria nunca pare, especialmente em eventos climáticos extremos (inundações ou secas severas), o funcionamento será dividido em três camadas:

1. Plataforma Digital Inteligente (Ouvidoria 4.0): Portal web e aplicativo com chatbot assistido por IA para triagem automática de denúncias e solicitações, funcionando 24h por dia;
2. Plantão de Resposta Rápida: Equipe rotativa de servidores em regime de prontidão para casos de desastres climáticos, integrada ao Centro de Monitoramento de Sergipe;
3. Canais de Acesso Diversificados: Linha 0800, WhatsApp institucional e terminais físicos em unidades do CEAC, garantindo que mesmo quem não tem internet (exclusão digital) possa ser ouvido.

4.3.1.4 Protocolo de Fluxo de Atendimento

O fluxo de trabalho deve seguir a lógica da transparência e da resposta célere:

Quadro 2: Descrição das etapas do fluxo de atendimento.

ETAPA	AÇÃO	PRAZO SUGERIDO
Recepção	Registro da manifestação (denúncia, reclamação, sugestão).	Imediato (Automático)
Triagem	Classificação: Justiça Climática, Dano Ambiental ou Gestão de Pessoas.	Até 24 horas
Encaminhamento	Envio para a área técnica (SEMAC/ADEMA) com pedido de providências.	48 horas
Resposta	Devolutiva fundamentada ao cidadão sobre as medidas tomadas.	Até 20 dias (prorrogáveis)

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A Ouvidoria não será genérica, ao passo em que trabalhará com núcleos especializados:

- Núcleo de Erosão Costeira: Atendimento a moradores de áreas como a Coroa do Meio e Barra dos Coqueiros, afetados pelo avanço do mar;
- Núcleo de Resiliência no Semiárido: Mediação de conflitos de acesso à água e desertificação no alto sertão;
- Núcleo de Salvaguarda de Comunidades Tradicionais: Proteção jurídica e administrativa para extrativistas, indígenas, pescadores, marisqueiros, quilombolas etc.

Seguindo o modelo multissetorial, a Ouvidoria de Sergipe deverá promover:

- Relatórios Trimestrais de Transparência: Publicação de dados sobre as principais queixas, servindo de base para o Planejamento Plurianual (PPA) do Estado;
- Ouvidoria Itinerante: Visitas mensais às microrregiões de Sergipe para coletar o "conhecimento local" e ouvir stakeholders que não conseguem acessar canais digitais;
- Mapa de calor das denúncias por município;
- Índice de satisfação do usuário;
- Status das recomendações feitas pela Ouvidoria aos órgãos do Estado (ex: "Em análise", "Implementada", "Ignorada").

Para garantir a Justiça Climática de fato, a Ouvidoria manterá um convênio de cooperação para encaminhar casos de violação de direitos individuais de pessoas

hipossuficientes diretamente para a Defensoria Pública ou Ministério Público, para que seja pleiteado judicialmente quando a via administrativa falhar.

A eficiência da Ouvidoria não deve ser medida pela quantidade de chamados encerrados, mas pela capacidade de converter reclamações individuais em políticas públicas de adaptação para todo o Estado.

4.3.2 CONSULTA POPULAR

Os instrumentos de consulta popular são mecanismos fundamentais da democracia participativa e semidireta, que permitem ao cidadão influenciar ou decidir sobre questões de interesse público, políticas de governo ou alterações legislativas. Eles funcionam como canais de diálogo e legitimação entre o Estado e a sociedade civil.

Além dos mecanismos de votação, existem os instrumentos de caráter consultivo e dialógico, como as audiências públicas e as consultas públicas (muito utilizadas em planos de ações climáticas e governança). Audiências públicas são espaços presenciais ou virtuais para debate oral entre governo e cidadãos sobre temas polêmicos ou de grande impacto social, enquanto as consultas públicas geralmente ocorrem por meio de editais ou plataformas online, onde o governo apresenta uma minuta de projeto e recebe contribuições escritas da sociedade.

Avritzer (2009) argumenta que esses desenhos institucionais de participação permitem que grupos sociais historicamente excluídos possam inserir suas demandas na agenda pública, fortalecendo a governança local.

Para que o Plano Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) de Sergipe possua legitimidade jurídica e social, a estrutura de consulta pública deve ser desenhada de forma a garantir a participação democrática prevista na Constituição Federal e na Política Nacional sobre Mudança do Clima. Em Sergipe, esse processo pode ser articulado utilizando a capilaridade da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e a estrutura dos Conselhos Estaduais já existentes.

4.3.2.1 Ciclo de Audiências Públicas Regionalizadas

As audiências públicas funcionam como instâncias formais de diálogo presencial (ou virtual) entre o Poder Público e a sociedade civil. Elas são instrumentos de transparência e democracia participativa, servindo para que a Administração Pública exponha projetos e a população possa manifestar opiniões, críticas ou sugestões antes de uma decisão final. Abaixo, explica-se o funcionamento detalhado desse mecanismo:

O processo começa com um edital de convocação. Para que a audiência seja legítima, ela deve ser amplamente divulgada com antecedência mínima (geralmente 15 a 30 dias) nos meios de comunicação oficiais e mídias de grande circulação. O edital define a data, o horário, o local e o tema específico a ser debatido.

Antes do evento, o órgão responsável deve disponibilizar os documentos técnicos, estudos (como o EIA/RIMA em casos ambientais) ou minutas de projetos de lei para que os interessados possam estudá-los. A transparência prévia é essencial para que o debate não seja apenas protocolar. A participação da comunidade é essencial, sobretudo daqueles grupos mais vulneráveis, podendo ser utilizada a comunicação através das entidades de representação dos grupos vulneráveis, como colônia de pescadores, Funai, Conaq etc.

Embora o formato possa variar dependendo do regimento interno do órgão que a promove, a estrutura padrão costuma seguir estas etapas:

1. Abertura e Mesa Diretora: O presidente da mesa explica as regras da audiência (tempo de fala, ordem de inscrição etc.);
2. Exposição Técnica: Representantes do governo ou da empresa proponente apresentam o projeto, explicando seus impactos, custos e benefícios;
3. Manifestação dos Inscritos: Abre-se o microfone para que os cidadãos, representantes de ONGs, associações e especialistas previamente inscritos façam suas intervenções;
4. Respostas e Esclarecimentos: Os técnicos e autoridades respondem aos questionamentos feitos pela plateia;
5. Encerramento: Faz-se um resumo das principais questões levantadas.

Outro ponto crucial é que, na grande maioria dos casos, a audiência pública tem caráter consultivo. Isso significa que o gestor público não é obrigado a seguir o que a maioria da plateia decidiu no momento, mas ele é obrigado a ouvir e considerar os argumentos no processo.

Tudo o que é dito na audiência deve ser registrado em uma ata oficial e, preferencialmente, gravado em áudio e vídeo. Esse documento passa a integrar o processo administrativo ou legislativo, servindo como prova da participação popular e como memória técnica para os órgãos de controle (como o Ministério Público).

Dada a diversidade climática e econômica de Sergipe, as audiências não podem se restringir à capital. Deverão ser feitos ciclos, de modo a serem realizadas nos 5 territórios de planejamento do estado:

- Metodologia: Realização de pelo menos uma audiência presencial em polos estratégicos (Aracaju, Itabaiana, Propriá, Estância, Glória).
- Acessibilidade: Disponibilização de transporte para comunidades tradicionais e agricultores familiares que vivem em áreas remotas.
- Registro: Gravação integral das sessões e lavratura de atas detalhadas para incorporação ao processo administrativo do Plano.

4.3.2.2 Canais e plataformas digitais

Os canais e plataformas digitais para consulta popular representam a evolução tecnológica dos instrumentos de participação, permitindo que o diálogo entre Estado e sociedade sobre mudanças climáticas ocorra de forma desterritorializada, contínua e em larga escala. No contexto de planos como o PEAC/SE, essas ferramentas são fundamentais para coletar percepções locais sobre vulnerabilidades e validar estratégias de adaptação.

Abaixo, explica-se como essas estruturas operam e se organizam:

Diferente das audiências presenciais, as plataformas digitais funcionam como hubs de inteligência coletiva. Elas não servem apenas para "perguntar e responder", mas para centralizar informações técnicas (em linguagem acessível) e coletar dados qualitativos e quantitativos que alimentarão o sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV).

Para que uma plataforma de consulta climática seja eficaz, ela deve oferecer:

- Minutagem e Contribuição Direta: Disponibilização de textos legais ou planos de ação em que o cidadão pode comentar parágrafo por parágrafo, sugerindo alterações ou inclusões.
- Georreferenciamento de Vulnerabilidades: Ferramentas interativas onde o morador pode marcar no mapa pontos críticos de alagamento, erosão ou ilhas de calor em sua comunidade.
- Painéis de Transparência (Dashboards): Visualização em tempo real dos dados coletados, permitindo que a sociedade acompanhe o que os outros estão demandando e como o governo está reagindo.
- Fóruns Temáticos: Espaços de discussão moderados sobre eixos específicos (ex: Resíduos, Energia ou Agricultura) para aprofundar o debate técnico com a sociedade civil.

A plataforma digital é o "cérebro", mas os canais são os braços que alcançam a população:

- Aplicativos Móveis: Facilitam a participação rápida (enquetes e notificações push).
- Redes Sociais Integradas: Uso de *chatbots* em aplicativos de mensagens para simplificar o envio de sugestões.
- Terminais Físicos de Acesso: Pontos de apoio em locais públicos para cidadãos com baixa exclusão digital.

O Ciclo de funcionamento da plataforma digital deve obedecer aos seguintes parâmetros.

1. Divulgação e Educação: O canal publica materiais educativos para que o cidadão entenda o impacto da crise climática em sua rotina antes de opinar;
2. Coleta de Contribuições: Período aberto para envio de formulários, votos em prioridades e sugestões de texto;
3. Análise e Triagem: Uso de ferramentas de análise de dados (ou IA) para agrupar sugestões por temas e viabilidade;
4. Feedback (Devolutiva): O Estado publica um relatório detalhando quais sugestões foram acatadas e justificando tecnicamente as que foram descartadas.

A literatura sobre e-Democracia aponta que essas plataformas superam barreiras físicas, permitindo que uma pessoa no interior do estado tenha o mesmo peso participativo de quem reside na capital. Além disso, geram um histórico auditável, o que é essencial para o financiamento climático internacional, que exige provas de que as comunidades locais foram ouvidas.

4.3.2.2.1 Plataforma de Transparência Climática

Esta plataforma corresponde a um portal específico a ser operacionalizado dentro do site institucional da SEMAC para consulta assíncrona. A plataforma deve ser compreendida como a espinha dorsal digital e informacional da governança ambiental do Estado. Ela não é apenas um site institucional, mas um ecossistema de transparência e interação em tempo real, projetado para reduzir o abismo entre as decisões técnicas tomadas na capital e a realidade vivida pelos cidadãos no interior.

Conceitualmente, a plataforma se divide em três dimensões fundamentais, funcionando como um observatório científico acessível ao leigo. Nela, o Estado consolida dados da SEMAC, ADEMA e órgãos federais (como o INMET e o INPE) para oferecer:

- Mapas de Vulnerabilidade: Onde o cidadão de Canindé de São Francisco ou de Aracaju pode visualizar os riscos específicos de sua região (desertificação, inundações ou avanço do mar);
- Inventário de Emissões: Um painel que demonstra, com clareza, quais setores econômicos do estado estão emitindo gases de efeito estufa e quais estão cumprindo as metas de descarbonização;
- Acompanhamento de metas climáticas e indicadores ambientais: atualização contínua do progresso de implementação do PEAC/SE.

Além desses dados o portal deve contemplar as seguintes ferramentas:

- Consulta Pública Online: Disponibilização do texto base do Plano com campos para inserção de comentários, críticas e sugestões por capítulos.
- Painel de Dados: Visualização didática dos cenários climáticos de Sergipe para que o cidadão possa opinar com base em evidências.
- Questionários Setoriais: Formulários simplificados para coletar percepções sobre riscos locais (secas, inundações, erosão costeira).

A criação de canais de Comunicação Direta também é uma importante ferramenta para concretizar os elementos de escuta ativa e opinião na formação de uma governança participativa e descentralizada, devendo ser criados os seguintes instrumentos:

- WhatsApp Institucional e SMS: Envio de alertas e convites para as audiências, permitindo o recebimento de sugestões via áudio ou texto para cidadãos com menor letramento digital.
- Pontos Físicos nos CEACs: Totens de consulta nos Centros de Atendimento ao Cidadão, permitindo que o cidadão interaja com o plano enquanto aguarda outros serviços.

O Canal via WhatsApp permitirá o acesso tanto do cidadão às políticas e a transparência, mas também permitirá quanto da administração para com o particular, garantindo que o plano de ações climáticas seja eficaz e próximo da realidade social.

Para garantir que o plano não seja apenas um documento técnico distante da realidade social:

- Foco em Stakeholders[2] Vulneráveis: Reuniões específicas com as comunidades das bacias hidrográficas e zonas de manguezal, que são as partes mais interessadas (*stakeholders*) e potencialmente afetadas por decisões de adaptação.
- Integração com a Ouvidoria: A Ouvidoria de Justiça Climática (já estruturada) deve atuar como o canal de denúncia caso algum grupo se sinta excluído ou ignorado durante o processo de consulta.

Este modelo estruturado permite que o Estado de Sergipe cumpra o rito legal de participação pública, transformando o Plano Estadual de Mudanças Climáticas em um pacto coletivo entre o Poder Público, a iniciativa privada e a sociedade civil, fortalecendo a segurança jurídica e a eficácia das futuras normas ambientais.

4.4 GOVERNANÇA MULTINÍVEL OU MULTIESCALAR

A governança multinível é estabelecida por meio da articulação de diversas esferas governamentais em uma localidade ou pela colaboração entre variados grupos de interesse em uma nação, visando ao alcance de uma meta compartilhada e formalizada com o envolvimento real dos participantes.

As prerrogativas e funções específicas de estados, municípios e coletividades devem assegurar e manter a multiplicidade de modelos de gestão nas escalas regional e local. A estrutura de governança em múltiplos patamares adotados pela União Europeia, ilustrativamente, intensifica a integração entre regiões e nações. Em uma acepção mais vasta, essa noção abarca igualmente a inserção de agentes não governamentais, a exemplo de representantes do mercado, grupos sociais e cidadãos, nas etapas deliberativas de todas as camadas de gestão, contemplando, dessa maneira, as perspectivas vertical e horizontal do processo governativo (AHMED, 2016).

A vantagem desse tipo de governança é contribuir para a resiliência regional, além de oferecer normativamente melhorias potenciais nos processos decisórios e políticos e aos arranjos de governança dos três níveis, nacional, regional, local; negociação de acordos e criação de arranjos institucionais para a formulação de políticas multiescalares.

A articulação vertical com os municípios é um dos pilares mais críticos, com a meta de que 100% dos 75 municípios sergipanos possuam estruturas de gestão climática

[2] Stakeholders (partes interessadas) são indivíduos, grupos ou organizações que afetam ou são afetados pelas ações, decisões e resultados de uma decisão, seja de ente público ou privado.

até 2030. O Estado fornecerá assistência técnica e apoio institucional para que cada prefeitura elabore seu próprio Plano de Ação Climática (PAC) municipal, garantindo a capilarização das políticas climáticas em todo o território.

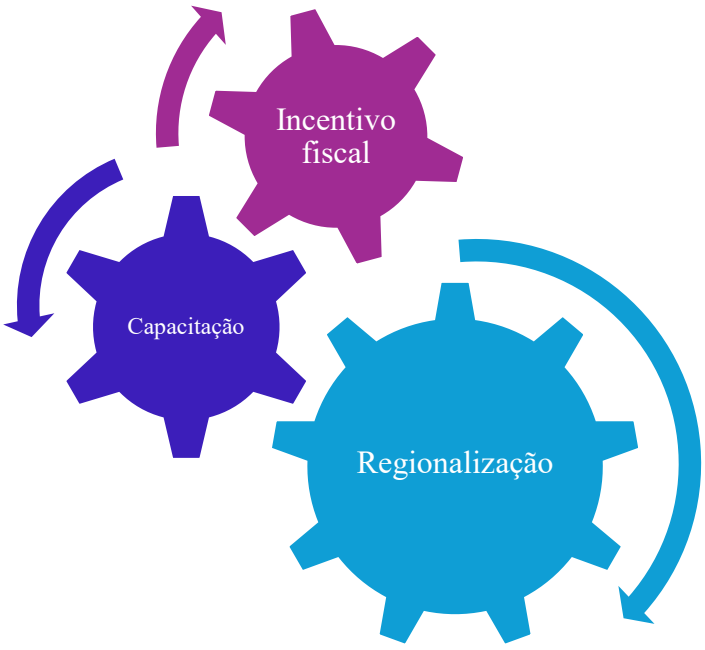
A capacitação de gestores públicos é uma estratégia de longo prazo, prevendo a formação de 300 profissionais até 2030. Essa massa crítica de técnicos qualificados, distribuída entre o estado e os municípios, é fundamental para garantir a continuidade administrativa e a sofisticação técnica das ações de campo.

Segundo Menezes (2021), a natureza intrincada das políticas públicas e a demanda por mecanismos de pactuação fundamentam-se na ideia de que a gestão deve atuar em diversas escalas. Isso é essencial para responder com precisão aos impactos territoriais variados das decisões políticas. Estes sistemas configuram modelos de governança maleáveis e evolutivos. Eles permitem que estruturas formais e dinâmicas informais coexistam para mobilizar os atores relevantes em suas respectivas esferas de influência. O objetivo central é a construção de políticas que sejam consensuais (aceitáveis para as partes envolvidas); analíticas (avaliadas de forma coletiva); e exequíveis (possíveis de serem implementadas na prática).

Essa abordagem pode demandar a fundação de novas instituições ou espaços deliberativos que operem de forma transversal às divisões político-administrativas já estabelecidas. O maior entrave: embora a inovação e a flexibilidade desses arranjos permitam respostas rápidas às mudanças de cenário, elas acabam gerando uma lacuna na transparência e na definição de responsabilidades (déficit de accountability).

Um plano de governança multiescala dependerá acima de tudo do cumprimento de três pilares.

Figura 5: Pilares da Governança Multiescala



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Esses pilares são essenciais para que os municípios possam ter acesso a recursos financeiros, técnicos e científicos. Abaixo, há alguns pontos necessários ao cumprimento dessas metas.

4.4.1 PILARES ESTRATÉGICOS DE GOVERNANÇA

4.4.1.1 ICMS ecológico

A base de tudo começa com a reforma da legislação estadual. Atualmente, a distribuição da cota-parte do ICMS segue critérios rígidos de população e valor adicionado; o primeiro passo é a aprovação, pela Assembleia Legislativa (ALESE), de uma lei que reserve uma fatia (geralmente entre 2% e 5% dos 25% municipais) para o critério ambiental. Essa mudança sinaliza ao mercado e aos gestores que a preservação agora tem valor monetário direto no caixa da prefeitura.

A gestão centralizada ficaria a cargo de um Comitê Gestor Multissetorial, liderado pela SEMAC (Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade) e com participação ativa da ADEMA e da FAMES (Federação dos municípios de Sergipe)

O comitê não seria apenas burocrático, mas o cérebro do plano, responsável por definir os pesos anuais de cada critério ambiental, como a proteção da Caatinga ou a gestão de resíduos sólidos. A presença de representantes dos municípios garante que as metas sejam realistas e não apenas impostas de cima para baixo.

Para medir o desempenho, institui-se o Índice de Qualidade Ambiental Municipal (IQAM). Esse índice é uma composição de diversos indicadores: áreas de conservação, qualidade da água, saneamento e educação ambiental. O diferencial é que o IQAM não é estático; ele deve evoluir. No primeiro ano, pode-se premiar o esforço (ter um plano de resíduos); no terceiro, exige-se o resultado (ter zero lixões em operação).

O braço operacional dessa estrutura é o Sistema de Informações Ambientais (SIA-SE), uma plataforma digital onde as prefeituras devem inserir provas de suas ações. Em vez de papelada, o município envia coordenadas georreferenciadas de áreas reflorestadas, notas fiscais de cooperativas de reciclagem e certificados de licenciamento. Isso digitaliza a governança e permite um acompanhamento em tempo real, reduzindo a burocracia e aumentando a precisão dos dados.

Quadro 3: Critérios para a definição de pesos no repasse.

CRITÉRIO	META/INDICADOR	PESO NO REPASSE
Selo Sergipe resiliente - nível ouro	Estar com o selo nível ouro do programa Sergipe resiliente	30%
Unidades de Conservação	Criação e manutenção de Reservas Particulares (RPPN) ou Parques Municipais.	25%
Saneamento e Resíduos	Erradicação de lixões e implementação de coleta seletiva efetiva.	20%
Recursos Hídricos/Educação ambiental	Proteção de matas ciliares nos rios Sergipe, Vaza-Barris e São Francisco/Projetos contínuos na rede municipal com foco em sustentabilidade.	15%
Risco de queimadas	Redução de focos de incêndio em áreas de Caatinga e Mata Atlântica	10%

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

A fiscalização e auditoria formam o quinto pilar, sendo a tarefa técnica da ADEMA. Não basta o município declarar que protege uma área, a agência estadual deve realizar cruzamentos de dados via satélite e visitas técnicas amostrais para validar as informações. Caso seja detectada fraude ou retrocesso ambiental (como um aumento súbito de desmatamento ilegal), o município sofre sanções imediatas na sua pontuação do próximo exercício, garantindo a integridade do sistema.

Financeiramente, o plano utiliza uma fórmula de redistribuição progressiva. O cálculo da cota-parte ecológica (CPeco) é dinâmico: quanto melhor a performance ambiental relativa do município em comparação aos outros 74 do estado, maior sua fatia do bolo. A fórmula básica para essa partição seria:

Figura 6: Fórmula para o cálculo da cota-parte ecológica.

$$CP_{eco} = \frac{IQAM_{mun}}{\sum IQAM_{total}} \times Recurso_{disponivel}$$

Onde:

- $IQAM_{mun}$: Índice de Qualidade Ambiental do município específico.
- $\sum IQAM_{total}$: Soma dos índices de todos os municípios que atingiram o patamar mínimo.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Para garantir que municípios menores e com menos recursos técnicos não fiquem para trás, a estrutura prevê Escritórios Regionais de Apoio Técnico (em parceria com as universidades e a FAPITEC). Esses núcleos seriam financiados por uma pequena parcela do próprio ICMS estadual e serviriam para prestar consultoria gratuita às prefeituras de pequeno porte. Isso evita que o ICMS-E se torne um imposto para ricos meramente seletivo, permitindo que cidades pequenas do Sertão ou do Agreste também lucrem ao preservar seu bioma. A transparência pública é o mecanismo de controle social da governança.

Um "Ranking Verde" deve ser publicado anualmente, mostrando quanto cada prefeito recebeu e por qual motivo. Isso gera uma competição saudável e pressão política: se o município vizinho recebeu R$ 1 milhão a mais por tratar o esgoto e o seu não, a população terá dados concretos para cobrar o gestor local na próxima eleição. Integrado a isso, o plano deve prever a vinculação sugerida de recursos.

Embora o ICMS seja de livre aplicação por lei, o plano de governança estabelece diretrizes para que uma porcentagem do que foi recebido via critério ecológico seja reinvestido no próprio Fundo Municipal de Meio Ambiente.

Por fim, a estrutura se completa com a revisão periódica de metas. A cada quatro anos, os critérios de pontuação devem ser ajustados para refletir as novas urgências climáticas, como a adaptação ao aumento do nível do mar nas cidades costeiras ou a segurança hídrica no semiárido. Assim, o ICMS Ecológico deixa de ser um repasse estático e passa a ser uma ferramenta de governança viva, moldando o desenvolvimento de Sergipe para as próximas décadas.

A instituição do ICMS Ecológico, tal como desenhada na minuta, funda-se em lógica redistributiva: a Cota-Parte Ecológica é repartida segundo o desempenho ambiental de cada município, de sorte que a melhora relativa de uns implica, necessariamente, a redução da participação de outros. É esse o mecanismo que confere ao instrumento sua

força indutora. Ocorre que a mesma dinâmica, aplicada sem qualquer amortecimento, pode produzir variações bruscas na receita municipal de um exercício para outro, em tensão com a previsibilidade orçamentária de que dependem os entes locais. O teto anual de perda da CPEco destina-se precisamente a compatibilizar o estímulo ao desempenho com a estabilidade das finanças municipais.

Essa preocupação assume relevo particular no contexto sergipano. Dos setenta e cinco municípios do Estado, a maioria é de pequeno porte e depende de forma acentuada das transferências constitucionais para o custeio de serviços essenciais. Uma queda abrupta e integral da parcela ecológica, motivada por oscilação de indicadores, poderia comprometer não apenas a prestação de serviços públicos básicos, mas também a continuidade dos próprios programas ambientais que a política pretende fomentar — resultado paradoxal, em que o instrumento concebido para premiar a boa gestão ambiental acabaria por inviabilizar, no município que perdeu posições, os meios de reconquistá-las.

Há, ainda, razão de ordem comportamental. A perspectiva de perda ilimitada tende a gerar resistência à adesão ao modelo e a desestimular o esforço dos municípios que, partindo de patamares inferiores, mais precisam de tempo para estruturar sua gestão ambiental. Um redutor que suavize a intensidade da queda mantém o município engajado, preserva a legitimidade do instrumento perante os gestores locais e converte a transição em processo gradual de ajuste, e não em ruptura. A moderação da perda, longe de enfraquecer o incentivo, tende a ampliar a adesão e a durabilidade da política.

A fixação do teto em 5% (cinco por cento) obedece a critério de proporcionalidade e guarda simetria com a própria arquitetura do instrumento. A parcela reservada ao ICMS Ecológico corresponde, nos termos do art. 23 da minuta, a 5% da cota-parte municipal do ICMS; adotar idêntico percentual como limite de variação anual estabelece banda de oscilação moderada, capaz de conter choques sem, contudo, congelar o ranking ou neutralizar o efeito distributivo. Trata-se de patamar calibrado: suficientemente estreito para assegurar previsibilidade, suficientemente largo para permitir que o mérito ambiental se reflita, progressivamente, na repartição.

Cumpre destacar que o mecanismo limita a velocidade da perda, e não a sua direção. Pelo regime proposto, o diferencial que exceder o teto em determinado exercício não é perdoado, mas diferido: será considerado na apuração dos exercícios seguintes, até que a participação do município se ajuste integralmente aos seus indicadores. O município que reduziu seu desempenho continuará a convergir para o nível que efetivamente lhe corresponde; apenas o fará de forma escalonada. Preserva-se, assim, o

sinal meritocrático do instrumento, o teto é técnica de suavização, e não subsídio ou anistia ao baixo desempenho.

O desenho proposto é, ademais, autofinanciável e neutro do ponto de vista distributivo. Os recursos necessários para observar o teto de perda são compensados mediante redução proporcional da elevação dos municípios que, no mesmo exercício, tenham obtido ganho acima da média estadual, de modo que a soma total da Cota-Parte Ecológica permanece inalterada e nenhum aporte adicional é exigido do Tesouro estadual. O mecanismo opera inteiramente no interior da redistribuição, em harmonia com a diretriz do art. 23, § 2º, segundo a qual o ICMS Ecológico não prejudica os critérios de rateio já vigentes, sendo a eles acrescido.

Impõe-se delimitar com precisão o alcance do teto, para que ele não se converta em escudo de condutas ambientalmente graves. Por essa razão, o mecanismo ressalva expressamente as hipóteses de perda integral da CPEco decorrentes de desmatamento ilegal comprovado, na forma do art. 25, § 2º, da minuta, bem como os casos de fraude ou de inserção de dados falsos no Sistema de Informações Ambientais. Nessas situações, a redução opera sem qualquer limite, pois o que o teto protege é a estabilidade diante da oscilação natural dos indicadores, jamais a impunidade diante do ilícito ambiental. Conciliam-se, desse modo, o caráter indutor e o caráter sancionador do instrumento, sem que um comprometa o outro.

Por fim, cabe observar que redutores de perda e bandas de variação são instrumentos consagrados no desenho das transferências intergovernamentais, voltados a conciliar objetivos de política pública com a necessária previsibilidade da receita dos entes beneficiários. Associado à exigência de publicação, pelo Comitê Gestor Multissetorial, da memória de cálculo demonstrativa de sua aplicação, o teto de perda incorpora também os princípios da transparência e da cooperação federativa que a minuta adota (art. 2º, V e VI). Recomenda-se, em conclusão, a inserção do dispositivo acima proposto, como novo art. 25-A, imediatamente após as regras de apuração do desempenho ambiental, de modo a integrar-se, de forma orgânica, ao Capítulo V da Política Estadual de Governança Climática.

Quadro 4: Ciclo de implementação do ICMS ecológico.

FASE	DESCRIÇÃO	PERÍODO
Fase de diagnóstico	Levantamento da situação ambiental base de cada um dos 75 municípios sergipanos.	1-4 meses
Fase legislativa	Envio do projeto de lei à Assembleia Legislativa de Sergipe (ALESE) para alteração dos critérios de distribuição do ICMS.	5-12 meses

FASE	DESCRIÇÃO	PERÍODO
Fase de capacitação	Treinamento das secretarias municipais para alimentação dos dados no sistema	12-15 meses
Início do ciclo financeiro	Os repasses começam no ano fiscal seguinte, baseados nos dados coletados no ano anterior.	X

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

É importante considerar, contudo, que a redistribuição de pesos no ICMS Ecológico tem natureza de soma zero dentro do bolo dos 25% municipais: ao premiar um município por possuir Unidade de Conservação ou Selo Sergipe Resiliente nível ouro, o modelo retira, proporcionalmente, recursos de outros municípios, muitas vezes de perfil predominantemente urbano ou agrícola, sem vocação natural para os critérios ambientais pontuados. Esse efeito tende a gerar resistência política por parte dos municípios que se percebem como potenciais perdedores, tornando a aprovação da lei estadual altamente dependente da articulação política na ALESE.

Para mitigar esse risco e ampliar a proposta de aprovação, recomenda-se a adoção de dois mecanismos complementares. O primeiro é uma implantação gradual e escalonada de novos critérios ambientais, por meio de um período de transição em que os pesos dos investimentos ecológicos sejam introduzidos progressivamente (por exemplo, ao longo de três a quatro exercícios fiscais), permitindo que os municípios se adequem operacionalmente e desenvolvam ações para acessar os novos critérios, em vez de sofrerem uma mudança abrupta na receita.

O segundo mecanismo é a instituição de um teto de perda (stop-loss) sobre a redução de receita de ICMS de cada município em razão da reforma, estabelecendo-se, por exemplo, que nenhum município poderá sofrer perda superior a 5% de suas receitas de ICMS em relação à arrecadação obtida sob os critérios anteriores. Combinados, uma transição gradual e o teto de perdas reduzem a percepção de risco fiscal imediato para os municípios potencialmente prejudicados, causando a resistência municipal e a dependência política do projeto, sem comprometer o objetivo de longo prazo de induzir comportamentos ambientalmente responsáveis.

4.4.1.2 Capacitação técnica para gestores municipais

O Plano de Capacitação Técnica para Gestores Municipais, inserido no escopo do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC) de Sergipe, configura-se como uma estratégia fundamental para a operacionalização da governança climática em nível local. Em um cenário pós-COP 30, em 2026, a iniciativa visa transpor as diretrizes estaduais para a esfera municipal, dotando as 75 administrações de Sergipe de competências técnicas essenciais para a resiliência e mitigação. O fortalecimento institucional proposto

busca garantir que o enfrentamento à crise climática seja integrado de forma técnica e sistemática às políticas públicas de cada prefeitura.

A estrutura de governança delineada estabelece uma integração vertical entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e as gestões municipais. Este modelo de governança multiescalar é desenhado para permitir que o fluxo de dados técnicos e as decisões estratégicas ocorram de maneira descentralizada. Assim, a capacitação técnica atua como o elo de execução que transforma conceitos de adaptação e mitigação em práticas administrativas mensuráveis, vinculadas ao planejamento orçamentário e à gestão urbana. (MENEZES, 2021).

A implementação do plano inicia-se com uma fase de diagnóstico de competências e regionalização das ações. Através de um levantamento exaustivo das capacidades técnicas instaladas em cada município, a SEMAC identifica as lacunas de conhecimento. Para otimizar a logística e a relevância temática, Sergipe é subdividido em três grandes polos de treinamento: Sertão, Agreste e Litoral. Essa divisão respeita as particularidades bioclimáticas e as vulnerabilidades específicas de cada região, promovendo uma troca de experiências mais aderente à realidade local.

O modelo pedagógico adotado baseia-se no aprendizado híbrido e contínuo, combinando workshops presenciais trimestrais com suporte técnico digital permanente. Uma plataforma virtual centraliza o repositório de guias práticos, modelos de legislação e canais de consulta direta a especialistas. Tal abordagem garante que a capacitação não seja um evento isolado, mas um processo de consultoria técnica contínua que auxilia os gestores na resolução de problemas complexos e na tomada de decisões baseadas em evidências.

No primeiro módulo formativo, o foco recai sobre os fundamentos da ciência climática aplicados ao território sergipano. Os gestores são instruídos sobre as projeções climáticas para o Nordeste brasileiro, compreendendo os impactos diretos do aumento da temperatura e da alteração pluviométrica na agricultura e no abastecimento hídrico. A fundamentação científica é apresentada como a base necessária para a justificação política e técnica de investimentos em infraestrutura resiliente e em políticas de adaptação.

O segundo módulo dedica-se à metodologia de elaboração de Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). A capacitação habilita os técnicos municipais a utilizar ferramentas de cálculo para monitorar as emissões provenientes da gestão de resíduos e do transporte urbano. O domínio desses dados é essencial para que os municípios sergipanos possam pleitear selos de sustentabilidade e ingressar em

consórcios intermunicipais voltados ao mercado de carbono, abrindo novas frentes de receita para as administrações locais.

A análise de risco e o mapeamento de vulnerabilidades compõem o terceiro pilar do plano, sendo cruciais para o planejamento urbano e a defesa civil. Com o uso intensivo do portal SERHidro e ferramentas de geoprocessamento, os gestores aprendem a identificar zonas de inundação e áreas de encosta suscetíveis a desastres, o que permite que o município direcione recursos de forma preventiva, priorizando obras de drenagem e o remanejamento de populações em áreas de risco antes da ocorrência de eventos extremos.

O quarto módulo introduz o conceito de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) como alternativa econômica e ecologicamente viável. A capacitação orienta os gestores na implementação de projetos como parques lineares, jardins de chuva e a recuperação de matas ciliares nos rios sergipanos. Argumenta-se que essas soluções apresentam custos reduzidos em comparação à infraestrutura convencional e oferecem co-benefícios substanciais, como a regulação do microclima e a preservação da biodiversidade urbana e rural.

A viabilidade financeira das ações climáticas é abordada no quinto módulo, focado no financiamento climático e na estruturação de projetos bancáveis. Diante da dificuldade histórica dos municípios em acessar recursos internacionais e federais, o plano oferece treinamento específico para a elaboração de propostas conforme os critérios do Fundo Clima, BNDES e fundos verdes globais. O objetivo técnico é converter o planejamento em projetos executivos aptos a captar investimentos externos.

Um aspecto central da implementação é a institucionalização da pauta climática no organograma municipal. O plano orienta a criação de Comitês Gestores de Ação Climática por meio de decretos municipais, assegurando a transversalidade do tema, impedindo que a agenda climática fique restrita à pasta do Meio Ambiente e integrando-a de forma orgânica às Secretarias de Fazenda, Obras, Saúde e Educação, consolidando o clima como um eixo de desenvolvimento municipal.

A integração entre as metas climáticas e os Planos Diretores Municipais constitui um passo subsequente de caráter normativo. O processo de capacitação fornece as bases para que as prefeituras revisem suas legislações de uso e ocupação do solo, incorporando parâmetros de resiliência. Através de instrumentos como o "IPTU Verde" e incentivos para construções sustentáveis, busca-se moldar o crescimento urbano de Sergipe de modo a desencorajar a ocupação de áreas vulneráveis e promover a sustentabilidade edificada.

No Semiárido sergipano, as ações de capacitação priorizam a segurança hídrica e as estratégias de combate à desertificação. Os gestores locais são treinados em tecnologias de convivência com a seca e em sistemas de reuso de água, conectando essas práticas aos planos de desenvolvimento rural. A finalidade é mitigar os efeitos da variabilidade climática sobre a produção agrícola familiar, garantindo a estabilidade socioeconômica da região frente aos cenários de estresse hídrico severo.

Em contrapartida, na faixa litorânea e na Região Metropolitana de Aracaju, o treinamento foca na elevação do nível do mar e na erosão costeira. A capacitação técnica envolve o uso de monitoramento por satélite e a concepção de defesas costeiras que respeitem a dinâmica sedimentar. Nestas áreas, a gestão de resíduos sólidos e a drenagem urbana ganham contornos de urgência técnica para prevenir o colapso dos sistemas infraestruturais durante marés altas e chuvas intensas.

O uso de tecnologias avançadas de monitoramento ambiental é democratizado por meio da formação técnica específica. O plano prevê que os gestores municipais operem sensores de baixo custo e interpretem dados meteorológicos em tempo real fornecidos pelo Estado. Essa alfabetização de dados potencializa os sistemas de alerta precoce, permitindo que a Defesa Civil municipal tome medidas evasivas rápidas em comunidades vulneráveis, reduzindo significativamente a perda de vidas e bens.

A justiça climática e a inclusão social são integradas como pilares transversais em todos os módulos de treinamento. Os gestores são instruídos a adotar processos participativos que incluam comunidades tradicionais, como quilombolas e catadoras de mangaba, no desenho das políticas locais. A premissa técnica é que a governança climática só atinge sua plenitude quando reduz as desigualdades preexistentes, protegendo as populações que, historicamente, são as mais afetadas pelos impactos ambientais.

O rigor jurídico das ações é reforçado por meio de uma colaboração estratégica com o Ministério Público de Sergipe (MPSE). O plano de capacitação inclui seminários sobre responsabilidade administrativa e conformidade regulatória em matéria climática. Ao compreender as implicações legais da inação ou da negligência na gestão de riscos, os gestores municipais sentem-se compelidos a manter altos padrões de transparência e eficiência na implementação das políticas públicas de adaptação.

Para o acompanhamento dos resultados, o plano estabelece um sistema de Monitoramento e Avaliação (M&E) baseado em indicadores de desempenho (KPIs). Cada município passa a integrar um Dashboard de Desempenho Climático, onde dados como o percentual de arborização urbana e a redução de emissões são registrados. Esses

indicadores servem tanto para a autoavaliação municipal quanto para o balanço estadual, permitindo o ajuste fino das estratégias de capacitação conforme as metas do PEAC são atingidas ou postergadas.

O fomento à cooperação intermunicipal via consórcios públicos é apresentado como uma solução de escala para desafios transfronteiriços. O treinamento capacita os gestores para a elaboração de acordos de cooperação em temas como a gestão compartilhada de bacias hidrográficas e resíduos sólidos. O associativismo municipal é tratado como uma ferramenta de eficiência administrativa, permitindo que municípios menores acessem tecnologias e consultorias que seriam inviáveis de forma isolada.

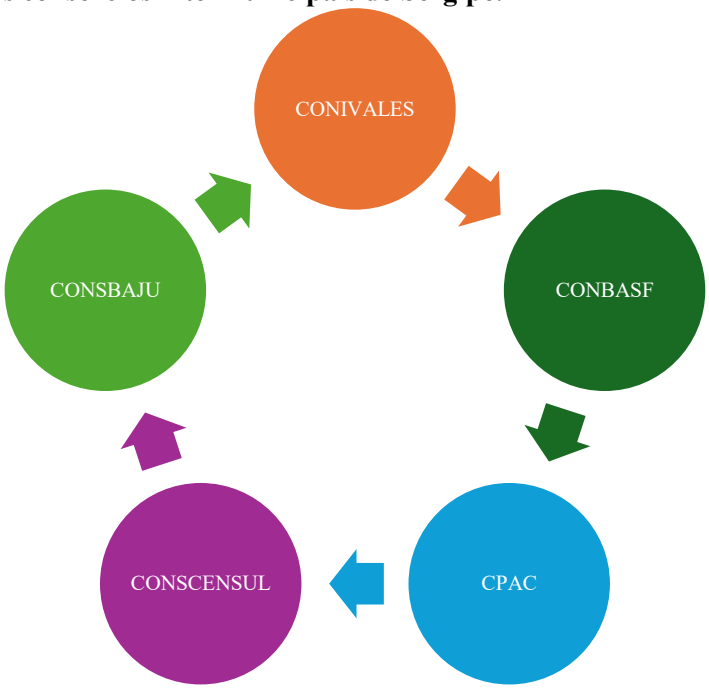
A fase conclusiva do plano foca na sustentabilidade do conhecimento e na formação de multiplicadores dentro do quadro de servidores de carreira. A estratégia visa mitigar a descontinuidade administrativa decorrente dos ciclos eleitorais, garantindo que o saber técnico permaneça na instituição. Ao final do programa, servidores seniores são certificados como Agentes Climáticos Municipais, assumindo a responsabilidade de repassar o conhecimento e garantir a manutenção da pauta climática no longo prazo.

4.4.1.3 Regionalização

Nesse Pilar o principal objetivo é a utilização dos Consórcios Públicos de Saneamento/Meio Ambiente para suporte técnico compartilhado.

Os consórcios públicos são importantes instrumentos de regionalização, pois permitem o compartilhamento de informações e experiências em nível regional. Atualmente, em Sergipe, existem alguns consórcios em atividade: CONSCENSUL (Consórcio Público de Resíduos Sólidos e Saneamento Básico do Sul e Centro Sul de Sergipe); CONIVALES (Consórcio Intermunicipal do Vale do São Francisco); CONSBAJU (Consórcio Público de Saneamento Básico da Grande Aracaju); CONBASF (Consórcio de Saneamento Básico do Baixo São Francisco Sergipano); CPAC (Consórcio Público do Agreste Central de Sergipe).

Figura 7: Maiores consórcios intermunicipais de Sergipe.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Figura 8: Detalhamento dos consórcios intermunicipais.

CONIVALES (Consórcio Municipal do Vale do São Francisco)	• Composição 44 municípios: • Amparo de São Francisco, Aquidabã, Boquim, Brejo Grande, Campo do Brito, Canhoba, Capela, Carira, Cedro de São João, Cristinápolis, Cumbe, Divina Pastora, Estância, Feira Nova, Gararu, General Maynard, Ilha das Flores, Indiaroba, Itabi, Japoatã, Laranjeiras, Malhada dos Bois, Maruim, Moita Bonita, Monte Alegre de Sergipe, Muribeca, Nossa Senhora Aparecida, Nossa Senhora da Glória, Nossa Senhora de Lourdes, Nossa Senhora das Dores, Neópolis, Pacatuba, Pedrinhas, Porto da Folha, Propriá, Riachão do Dantas, Riachuelo, Santa Rosa de Lima, Santana do São Francisco, São Domingos, São Francisco, Telha, Tomar do Geru e Umbaúba. • **Finalidade: Gestão compartilhada de serviços públicos, com destaque para a compra coletiva de medicamentos, insumos de saúde, merenda escolar, além de exames de alta complexidade e consultoria em gestão pública.**
CONSENSUL (Consórcio Publico de Resíduos Sólidos do Sul e do Centro Sul)	• Municípios Integrantes (16): Araná, Boquim, Cristinápolis, Estância, Indiaroba, Itabaianinha, Lagarto, Pedrinhas, Poço Verde, Riachão do Dantas, Salgado, Santa Luzia do Itanhy, Simão Dias, Tobias Barreto, Tomar do Geru e Umbaúba • **Finalidade: Gestão integrada de resíduos sólidos, operação de aterros sanitários e apoio a cooperativas de catadores nos territórios Sul e Centro-Sul**.
CONBASF (Consórcio Público de Saneamento Básico do Baixo São Francisco)	• Municípios Integrantes (26): Amparo de São Francisco, Aquidabã, Brejo Grande, Canhoba, Canindé de São Francisco, Capela, Cedro de São João, Feira Nova, Gararu, Graccho Cardoso, Ilha das Flores, Itabi, Japoatã, Malhada dos Bois, Monte Alegre de Sergipe, Muribeca, Neópolis, Nossa Senhora da Glória, Nossa Senhora de Lourdes, Pacatuba, Poço Redondo, Porto da Folha, Propriá, Santana do São Francisco, São Francisco e Telha. • **Finalidade: Planejamento e execução de serviços de saneamento básico e gestão de resíduos sólidos urbanos na região do Baixo São Francisco**.
CPAC (Consórcio Público do Agreste e Central Sergipano)	• Municípios Integrantes (19): Areia Branca, Campo do Brito, Carira, Cumbe, Divina Pastora, Frei Paulo, Itabaiana, Macambira, Malhador, Moita Bonita, Nossa Senhora Aparecida, Nossa Senhora das Dores, Pedra Mole, Pinhão, Riachuelo, Ribeirópolis, Santa Rosa de Lima, São Domingos e São Miguel do Aleixo. • **Finalidade: Gestão de resíduos sólidos, transbordo e disposição final, além de projetos de recuperação de áreas degradadas no território do Agreste Central.**
CONSBAJU (Consórcio Público da Grande Aracaju.	• Municípios Integrantes (13):Aracaju, Barra dos Coqueiros, Carmópolis, General Maynard, Itaporanga d'Ajuda, Laranjeiras, Maruim, Nossa Senhora do Socorro, Pirambu, Riachuelo, Rosário do Catete, Santo Amaro das Brotas e São Cristóvão. • **Finalidade: Organização regional para o manejo de resíduos sólidos e licenciamento ambiental consorciado.**

Fonte: CONIVALES, 2026[3].

A consolidação de uma governança climática efetiva em Sergipe depende da articulação entre o Estado e as municipalidades, utilizando a estrutura dos consórcios como instrumentos de descentralização. Tal estratégia encontra amparo no art. 23 da

[3] https://www.conivales.se.gov.br/ - Acesso em 27/03/2026.

Constituição Federal, que estabelece a competência comum para a proteção do meio ambiente, permitindo que a cooperação interfederativa supere a fragmentação das políticas locais.

O alinhamento do plano às diretrizes da Lei Federal nº 12.187/2009 é o ponto de partida para fixar metas de redução de emissões. Aqui, os consórcios deixam de ser apenas gestores de resíduos para se tornarem centros de inteligência territorial, capazes de fornecer dados precisos sobre o uso do solo, fundamentais para o inventário estadual de gases de efeito estufa.

Propõe-se a institucionalização de um Comitê Intermunicipal de Ação Climática. Este colegiado, pautado na Lei dos Consórcios Públicos (Lei 11.107/05), deve assegurar que as decisões de investimento em infraestrutura resiliente respeitem as especificidades de cada bacia hidrográfica, evitando ações isoladas que não resolvem problemas de impacto regional. O CONIVALES assume uma função estratégica na economia de baixo carbono através da centralização de licitações sustentáveis. Ao utilizar o poder de compra compartilhada, o consórcio viabiliza a aquisição de tecnologias de monitoramento ambiental e sistemas de eficiência energética, garantindo economia de escala para municípios que, sozinhos, não teriam capacidade orçamentária para tais inovações.

No eixo de mitigação, a atuação do CONSCENSUL e do CONBASF deve ser reorientada para o cumprimento das metas do Marco Legal do Saneamento (Lei 14.026/20). O foco recai sobre a valoração econômica dos resíduos, transformando aterros em polos de captura de metano e biogás, inserindo Sergipe de forma competitiva no mercado de créditos de carbono.

Para o Agreste Central, o CPAC liderará as frentes de adaptação climática, com foco na segurança hídrica. Diante dos cenários de semiaridez projetados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o consórcio atuará na implementação de tecnologias de reúso de água e apoio a práticas agrícolas resilientes, essenciais para conter o avanço da desertificação na região. A vulnerabilidade costeira será gerida pelo CPGAC, que deve integrar as diretrizes do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) às realidades da Grande Aracaju. A prioridade será a proteção da zona costeira contra a erosão e a elevação do nível do mar, condicionando o licenciamento ambiental regionalizado a rigorosos critérios de resiliência climática.

A transparência dos resultados será garantida pela criação de inventários regionalizados de emissões. Cada consórcio funcionará como uma célula de monitoramento, consolidando dados setoriais sob o rigor metodológico do Protocolo de

Quioto, o que confere credibilidade internacional aos projetos desenvolvidos no território sergipano.

A viabilidade financeira será buscada através da formatação de projetos para o Fundo Clima e agências de fomento internacional. A segurança jurídica proporcionada pelo regime de gestão associada dos consórcios reduz o risco para investidores, permitindo o financiamento de obras de infraestrutura verde que seriam inviáveis para administrações municipais individuais.

A capacitação técnica é um pilar indispensável. Os consórcios atuarão como polos de formação continuada para gestores públicos, disseminando o conhecimento sobre o Novo Código Florestal (Lei 12.651/12) e as normas reguladoras do mercado de carbono, preparando os municípios para a nova economia climática. No campo das Soluções Baseadas na Natureza (SbN), o plano incentiva a criação de corredores ecológicos intermunicipais. Através de viveiros geridos pelos consórcios, Sergipe poderá executar planos de reflorestamento que conectam fragmentos de Mata Atlântica e Caatinga, recuperando serviços ecossistêmicos vitais para a regulação do microclima local.

A transição energética será capilarizada por meio de parcerias público-privadas geridas via consórcios para a instalação de usinas solares. Essa iniciativa, além de reduzir a pegada de carbono da Administração Pública, alivia o custeio municipal com iluminação, liberando recursos para investimentos diretos em saúde e educação ambiental.

A integração com as Defesas Civis municipais é urgente para a gestão de riscos e desastres. O plano prevê que os consórcios facilitem o compartilhamento de recursos logísticos e sistemas de alerta antecipado, respondendo de forma célere e coordenada aos eventos climáticos extremos, como inundações e secas prolongadas. A legitimidade da governança climática passará obrigatoriamente pela escuta ativa da sociedade civil organizada. Fóruns regionais, coordenados pelos consórcios, garantirão que as estratégias de adaptação considerem as populações em situação de vulnerabilidade, assegurando que a justiça climática seja o princípio norteador de todas as ações.

Para que os consórcios possam se adequar ao plano de ação climática de Sergipe, às ODS e a nova Lei Estadual nº 9.919, de 2026, que institui a política de apoio às cidades inteligentes, é necessário que haja algumas mudanças estruturais e normativas. São elas:

1º: Alteração e Ratificação do Protocolo de Intenções – A maioria dos consórcios sergipanos atuais (como o CONIVALES ou CONSCENSUL) possui

finalidades específicas em seus estatutos (saúde ou resíduos). Para que possam atuar na governança climática, é imperativo o Aditamento do Protocolo de Intenções, devendo-se incluir explicitamente a "gestão de ativos ambientais", "implementação de políticas de mitigação e adaptação climática" e "comercialização de créditos de carbono" como finalidades da associação pública (Art. 8º da Lei Federal nº 11.107/05); e a Ratificação Legislativa, onde cada município consorciado deverá aprovar, em suas respectivas Câmaras Municipais, uma lei ratificando a alteração do protocolo, sob pena de nulidade dos atos praticados pelo consórcio nessa nova seara. Para que haja o fiel cumprimento das determinações legislativas é importante assinalar como requisito de habilitação para o ICMS Ecológico, a adequação legislativa.

2º: Contratos de Programa e Rateio para o Clima – Para financiar as ações (como o inventário de GEE mencionado no plano), não basta a previsão estatutária. É necessária a formalização de: Contratos de Rateio, devendo prever rubricas específicas para o "Fundo Regional de Ação Climática", e detalhar a participação financeira de cada ente; e Contratos de Programa, de modo que, caso o consórcio venha a prestar serviços de licenciamento ou monitoramento para os municípios, estes devem seguir o rito da Lei nº 14.026/2020 (novo marco do saneamento/serviços públicos), garantindo a transferência de competência de forma onerosa e planejada.

3º: Habilitação para o Mercado de Carbono (Lei 15.042/2024) – Com a recente regulamentação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) pela Lei nº 15.042/2024, os consórcios precisam se adequar para operar ativos, mediante: Cadastro no Órgão Gestor, ao passo em que os projetos de captura de metano (CONSCENSUL/CONBASF) ou reflorestamento devem ser registrados conforme as normas do órgão gestor do SBCE para garantir a fungibilidade e validade dos créditos no mercado regulado; e Transparência e MRV (Monitoramento, Relato e Verificação), promovendo a adequação técnica para cumprir os critérios de "adição" e "permanência", exigidos pela nova legislação nacional para ativos ambientais.

4º: Integração com a Lei "Sergipe Inteligente" (Lei 9.919/2026) – Aprovada em março de 2026, a Lei Estadual nº 9.919/2026 instituiu a Política de Apoio às Cidades Inteligentes. Ela é a "chave" para os investimentos em tecnologia verde, ao passo em que realizou: Adequação aos ODS, onde os planos de trabalho dos consórcios devem estar expressamente vinculados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável citados no art. 4º, XVIII desta lei, o que facilita a captação de recursos via Tesouro Estadual e parcerias público-privadas (PPPs).

4.4.2 PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO DE GOVERNANÇA MULTIESCALAR.

O plano de governança multiescalar necessita atingir os 75 municípios do Estado de Sergipe até 2030 e, para que seja um plano concreto - e não apenas uma teoria utópica inalcançável, é necessário que haja um plano de ação bem estruturado e com ações concretas alcançáveis. Para tanto, será estabelecido um cronograma com um conjunto de ações para que Sergipe possa ter um plano viável aprovado por cada um dos 75 municípios do Estado.

Figura 9: Fases de implantação da governança multiescalar.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

4.4.2.1 Fase 1 - Fundação e alinhamento (2026-2027)

Nessa fase, serão definidas metas iniciais para que os municípios possam iniciar a agenda climática, contemplando:

1º: Criação do Selo "Sergipe Resiliente": Inspirado em modelos de certificação ambiental de alta performance, o selo funcionaria como um sistema de "milhagem climática"[4], onde o município sobe de categoria conforme entrega resultados concretos. O selo é um sistema de certificação anual para municípios que avançarem na agenda climática e terá validade de 01 (um) ano, podendo ser renovado, de modo que a renovação será automática pelo Comitê de enfrentamento ações climáticas, desde que o município comprove estar reiteradamente cumprindo com a agenda climática.

A identidade visual do selo será definida pela SEMAC após a aprovação do plano de governança climática do Estado de Sergipe. O processo de aprovação seria anual, com um edital de convocação onde as prefeituras submetem seus dossiês de evidências

[4] Pontuação concedida a municípios que atingem metas climáticas pré-definidas.

através de uma plataforma digital simplificada, evitando que o excesso de papelada trave o processo.

Nem todo município terá condições para uma transformação completa no primeiro ano. Por isso, a aprovação seria dividida em níveis (ex: Bronze, Prata e Ouro), permitindo que cidades menores comecem com o básico e evoluam.

O Nível Bronze seria focado em governança (leis e conselhos); o Nível Prata na estruturação (planos e inventários); e o Nível Ouro na implementação efetiva e redução de vulnerabilidades. Essa gradação visa evitar o desânimo dos gestores de municípios com menos recursos, criando uma trilha de aprendizado institucional.

Para que o comitê aprove a concessão do selo, o município deve cumprir um conjunto de pré-requisitos técnicos e administrativos.

Quadro 5: Pré-requisitos para a concessão do selo "Sergipe Resiliente".

CONDIÇÃO	DESCRIÇÃO	EXIGÊNCIA POR NÍVEL
Instalação ou reativação do conselho municipal	Criação ou reativação do Conselho Municipal de Meio Ambiente com paridade civil.	Obrigatório - Bronze
Criação do plano de ações climáticas	Elaboração e aprovação do Plano de Ação Climática Municipal por lei ou decreto	Obrigatório - Prata
Inventário de GEE	Elaboração do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (simplificado para municípios < 23k hab).	Obrigatório- Prata
Ações de adaptação	Execução de pelo menos duas obras de infraestrutura resiliente ou Soluções baseadas na Natureza (SbN).	Obrigatório - Ouro
Educação climática	Inclusão do tema "Mudanças Climáticas" no currículo transversal das escolas municipais.	Obrigatório - Ouro

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Diferente de uma simples autodeclaração, o selo exige uma auditoria de conformidade. Após a submissão dos dados pelo município, o Comitê Gestor realiza uma análise técnica. Caso haja inconsistências, o município recebe um "Termo de Ajuste Climático", com orientações da assistência técnica estadual para corrigir as falhas.

A aprovação final deve ser publicada no Diário Oficial do Estado, garantindo a fé pública do selo e servindo como lastro para que o município possa buscar financiamentos internacionais (como do BID ou Banco Mundial) com maior credibilidade.

A aprovação do selo não é vitalícia; ela tem validade de 24 meses. Para renovar, o município precisa provar que avançou em suas metas ou, no mínimo, manteve as estruturas operantes.

O grande diferencial para garantir a adesão é o vínculo direto com o ICMS Ecológico: municípios com Selo Ouro teriam um multiplicador maior no repasse de recursos. Além disso, o Estado condiciona a prioridade em convênios de infraestrutura urbana à posse do selo, transformando a resiliência climática de uma "opção verde" em uma estratégia fiscal interessante para o município.

O edital para concessão dos selos deve ser elaborado pelo comitê de enfrentamento de questões climáticas e divulgado para todos os municípios do Estado de Sergipe.

2º: Institucionalização: Apoio para a criação de Conselhos Municipais de Meio Ambiente e Mudança do Clima onde não existirem.

A criação de Conselhos Municipais é um requisito para a descentralização do licenciamento ambiental (Lei Complementar nº 140/2011) e para o acesso a recursos do ICMS Ecológico. O plano expande o escopo tradicional para incluir a "Mudança do Clima" como eixo transversal, alinhando Sergipe ao Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA).

Para a criação e funcionamento desses conselhos, é fundamental que haja o cumprimento de algumas metas prévias para o estabelecimento relacionado às bases normativas do Estado de Sergipe.

Quadro 6: Metas de institucionalização e respectivos resultados esperados

METAS DE INSTITUCIONALIZAÇÃO	RESULTADOS ESPERADOS
Diagnóstico e mapeamento regionalizado	Identificação dos municípios que estão com déficit institucional.
	Ação: Auditoria técnica para classificar os municípios em três níveis: Inexistentes; Existentes, mas inativos; Ativos, mas sem atribuição climática.
	Parceiros: Consórcios Públicos (CONIVALES, CONSCENSUL etc.) como braços de coleta de dados.
Padronização jurídica e minutas adaptáveis	Ação: Elaboração de minutas de leis municipais que unificam o Conselho de Meio Ambiente ao Comitê de Mudanças Climáticas.
	Foco Legislativo: Garantir a paridade (50% Poder Público, 50% sociedade civil) e a criação de um Fundo Municipal de Meio Ambiente e Clima vinculado ao conselho.
Capacitação Técnica e Governança	Ação: Ciclo de workshops regionais intitulado "Gestão Climática na Prática", utilizando a estrutura da Universidade Federal de Sergipe, Universidade Tiradentes (UNIT) e outras instituições de ensino locais.
	Temas: Créditos de carbono, licenciamento de baixo impacto, resiliência hídrica e inventários de gases de efeito estufa.

METAS DE INSTITUCIONALIZAÇÃO	RESULTADOS ESPERADOS
Incentivos financeiros	ICMS Ecológico: Proposta de alteração na regulamentação estadual para aumentar o peso da variável "Conselho de Clima Ativo" no repasse do imposto.
	Prioridade em Convênios: Municípios com conselhos deliberativos terão prioridade na aquisição de maquinário agrícola sustentável e recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos.
Integração com os consórcios públicos	Os consórcios funcionarão como o "Suporte Técnico Compartilhado".
	Municípios de pequeno porte (como Amparo de São Francisco ou Telha) que não possuam corpo técnico para subsidiar o conselho utilizarão as equipes técnicas dos consórcios (CONIVALES/CONBASF) para elaboração de pareceres que embasarão as decisões dos conselheiros locais.
Monitoramento e Transparência	Criação do Observatório da Governança Climática de Sergipe, um painel público online que listará o status de cada conselho, as atas das reuniões e a aplicação dos fundos municipais, permitindo o controle social direto.

Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

3º Diagnóstico Estadual: Mapeamento das vulnerabilidades climáticas específicas de cada uma das 8 microrregiões de Sergipe.

O Diagnóstico Estadual de Vulnerabilidades Climáticas deve ser estruturado como um instrumento de alta precisão técnica, mapeando as ameaças específicas aos oito territórios de planejamento de Sergipe: Grande Aracaju, Sul, Centro-Sul, Agreste Central, Médio Sertão, Alto Sertão, Baixo São Francisco e Leste Sergipano. Este processo inicial fundamenta-se na necessidade de identificar não apenas o risco climático per se, mas a capacidade de resposta institucional e social de cada região frente a eventos extremos. O objetivo central é converter dados brutos em inteligência governamental, alinhando o estado às metas de adaptação previstas na Política Nacional sobre Mudança do Clima.

A metodologia do diagnóstico deve empregar o downscaling[5] de modelos climáticos globais para a escala regional, permitindo projeções de temperatura e pluviosidade específicas para Sergipe até meados do século XXI. Esta análise física será integrada a indicadores socioeconômicos e de infraestrutura, utilizando o Índice de Vulnerabilidade Climática (IVC) para ponderar fatores como densidade demográfica, dependência de atividades sensíveis ao clima e qualidade dos serviços de saneamento.

[5] Downscaling (redução de escala) é o processo de transformar dados de baixa resolução (grandes áreas) em informações de alta resolução (menor escala)

A integração de dados do INPE e da SEMAC garantirá que as decisões de investimento público em cada microrregião sejam baseadas em evidências científicas robustas, e não em estimativas genéricas. (IPCC, 2023)

A execução em campo contará com o suporte operacional dos consórcios intermunicipais, que atuarão como articuladores locais para o levantamento de vulnerabilidades "*in loco*". Através de oficinas territoriais, o plano deve coletar o conhecimento empírico de agricultores, comunidades tradicionais e gestores locais, cruzando essas informações com os dados técnicos coletados. Essa abordagem participativa é essencial para identificar gargalos de infraestrutura muitas vezes invisíveis aos satélites, como a precariedade de sistemas locais de drenagem urbana ou a fragilidade de taludes em áreas de expansão recente, garantindo a legitimidade social do diagnóstico.

No Leste Sergipano e na Grande Aracaju, o diagnóstico priorizará a análise da resiliência costeira e o risco de erosão marinha, mapeando o impacto do aumento do nível do mar sobre o patrimônio histórico e as zonas de expansão urbana. Em paralelo, para o Alto e Médio Sertão, o foco recairá sobre a segurança hídrica e os vetores de desertificação, avaliando o estresse hídrico sobre a pecuária leiteira e as culturas de subsistência. Tal divisão territorial permite que as soluções de adaptação propostas posteriormente sejam customizadas para as dores reais de cada bioma e setor produtivo, evitando "pacotes" de soluções genéricas que não funcionam na prática.

A avaliação dos impactos econômicos setoriais será um diferencial deste diagnóstico, quantificando o risco climático para cadeias produtivas vitais, como a citricultura no Centro-Sul e o polo de milho no Agreste Central. Ao traduzir riscos ambientais em potenciais perdas de PIB regional, o plano fornece o substrato necessário para que o setor privado e as instituições financeiras ajustem suas políticas de crédito e seguro agrícola. Esta etapa é fundamental para atrair investimentos de impacto e "títulos verdes" (green bonds)[6], que buscam ativos com baixo risco climático e alta transparência na gestão de vulnerabilidades territoriais.

Todos os dados gerados serão consolidados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de acesso público, funcionando como um "Atlas de Vulnerabilidade de Sergipe". Esta plataforma digital permitirá a visualização de mapas de calor e cenários de risco em tempo real, servindo como ferramenta de consulta obrigatória para

[6] Green bonds, ou títulos verdes, são instrumentos de renda fixa emitidos por empresas, bancos ou governos para captar recursos destinados exclusivamente a financiar projetos com benefícios ambientais e climáticos positivos

licenciamentos ambientais de grande porte e para a revisão de Planos Diretores Municipais.

A digitalização do diagnóstico assegura que a governança climática seja dinâmica, permitindo atualizações periódicas conforme novos dados meteorológicos ou mudanças no uso do solo ocorram no território sergipano.

Por fim, a conclusão deste mapeamento servirá como o pilar técnico para a revisão do Plano Plurianual (PPA) e para a estruturação de editais de financiamento internacional via Fundo Clima ou Green Climate Fund. Com um diagnóstico detalhado por microrregião, o Estado de Sergipe adquire a segurança jurídica necessária para pleitear recursos vultosos, demonstrando que possui clareza sobre suas fragilidades e um caminho estratégico para a resiliência.

4.4.2.2 Fase 2 - Assistência técnica e pilotos (2027-2028)

O plano visa estruturar a colaboração entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e ações climáticas (SEMAC) e a Secretaria de Estado do Planejamento (SEPLAN), fornecendo suporte técnico direto aos gestores municipais que, muitas vezes, carecem de recursos e expertise para quantificar suas emissões.

O primeiro passo consiste na estruturação institucional do Escritório de Projetos, que funcionará como uma unidade de gestão centralizada. Este escritório será responsável por coordenar as equipes técnicas, definir o cronograma de visitas aos municípios e estabelecer padrões metodológicos únicos. A integração entre SEMAC (foco técnico-ambiental) e SEPLAN (foco em planejamento e dados estatísticos) garante que os inventários não sejam apenas documentos isolados, mas ferramentas de planejamento urbano e econômico.

A fase inicial de execução foca na mobilização e no nivelamento técnico. A equipe itinerante realizará workshops regionais para sensibilizar prefeitos e secretários municipais sobre a importância estratégica do inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE). Paralelamente, será oferecido um treinamento intensivo para os técnicos locais, assegurando que o conhecimento permaneça no município após a partida da equipe estadual, promovendo a autonomia administrativa em longo prazo.

Para garantir a comparabilidade dos dados, os municípios deverão seguir as diretrizes elaboradas no Plano de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE). A padronização metodológica é crucial para que o Estado possa consolidar os dados municipais em um inventário estadual robusto e transparente. A equipe itinerante

fornecerá planilhas e softwares de cálculo customizados, reduzindo a margem de erro e facilitando a inserção de dados históricos sobre consumo de energia, transporte e uso do solo.

O levantamento de dados setoriais priorizará quatro eixos fundamentais: Energia, Transporte, Resíduos Sólidos e AFOLU (Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo). Em municípios predominantemente rurais, a equipe focará na análise de emissões por manejo de solo e pecuária, enquanto em centros urbanos o foco recairá sobre a mobilidade e a gestão de aterros sanitários. Tal abordagem modular permite que o inventário reflita a realidade econômica específica de cada território municipal.

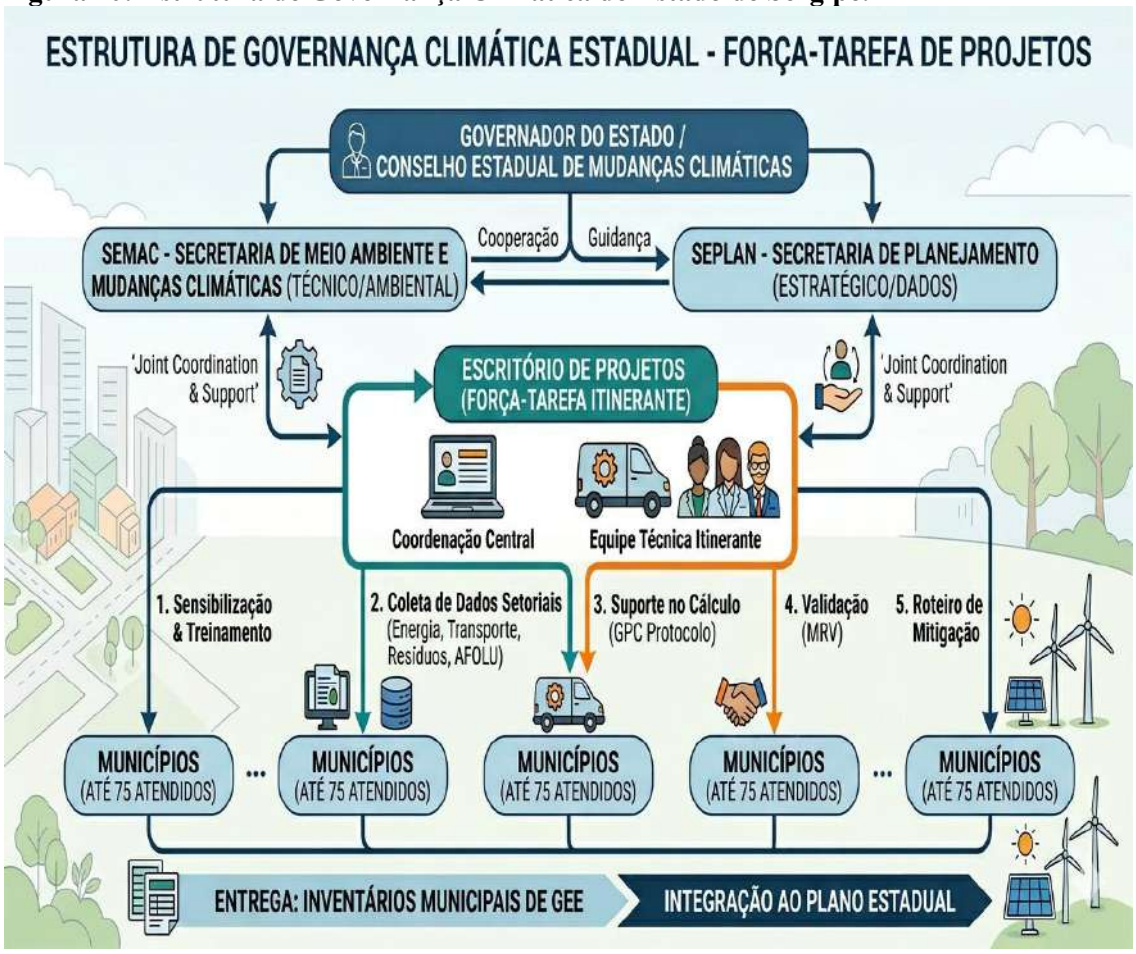
Um componente vital do plano é a implementação do sistema Verificação (MRV). O Escritório de Projetos funcionará como o auditor técnico dos inventários produzidos, garantindo que os relatórios municipais sigam critérios de transparência e integridade, o que permitirá aos municípios, futuramente, acessar mecanismos de financiamento climático, como o mercado de créditos de carbono ou repasses de ICMS Ecológico vinculados a metas de redução.

A comunicação e a transparência pública serão asseguradas por meio da criação de um "Painel Climático Municipal". Os resultados compilados pela equipe itinerante serão traduzidos em infográficos acessíveis para a população e legisladores locais. Demonstrar de forma visual onde estão as maiores fontes de emissão facilita a aprovação de leis municipais de governança climática e estimula a participação da sociedade civil na fiscalização das metas estabelecidas.

A integração entre os níveis de governo é o que garante a sustentabilidade do projeto. Os dados coletados pela Força-Tarefa alimentarão diretamente o Plano Estadual de Mudanças Climáticas, permitindo que o Estado direcione políticas públicas de mitigação e adaptação para as áreas de maior vulnerabilidade. A SEPLAN utilizará esses dados para alinhar o Plano Plurianual (PPA) e as diretrizes orçamentárias com os compromissos climáticos internacionais, como o Acordo de Paris.

Por fim, o plano encerra-se com a entrega de um roteiro de mitigação personalizado para cada município atendido. A equipe técnica itinerante ajudará os gestores locais a identificar oportunidades de projetos sustentáveis, como a instalação de painéis solares em prédios públicos ou a otimização da coleta seletiva.

Figura 10: Estrutura de Governança Climática do Estado de Sergipe.



Fonte: Elaboração própria – FIA (2026).

Uma outra estratégia que poderá ser adotada para facilitar a elaboração dos PACS municipais, sobretudo para municípios menores, é a elaboração de planos municipais de ações climáticas coletivos.

A implementação de PACs Coletivos surge como uma solução estratégica para municípios de pequeno porte que, isoladamente, enfrentariam barreiras técnicas e financeiras intransponíveis. Ao adotar o modelo de consórcios intermunicipais (utilizando os já existentes), as cidades podem compartilhar custos, equipe técnica e infraestrutura, transformando a escala regional em um diferencial competitivo. Esse arranjo permite que o planejamento climático deixe de ser um esforço individual e burocrático para se tornar uma política de desenvolvimento territorial integrada, otimizando o uso dos recursos públicos e aumentando o impacto das medidas de adaptação e mitigação.

A estrutura de governança desses PACs Coletivos deve ser ancorada e vinculada ao consórcio de que o município faça parte e apoiada tecnicamente pela SEMAC e SEPLAN. Esta unidade atua como o elo entre os interesses locais e as diretrizes estaduais, sendo responsável por coordenar a elaboração do diagnóstico comum e a definição de

prioridades regionais. A governança compartilhada facilita a interlocução com órgãos reguladores e garante que municípios vizinhos não adotem medidas conflitantes, promovendo uma visão de bacia hidrográfica ou de ecossistema compartilhado, que é essencial para a resiliência climática.

O coração técnico do plano reside na elaboração de um Inventário Regional de Emissões de GEE e de uma Análise de Vulnerabilidade Climática conjunta. Em vez de realizar estudos isolados, o consórcio contrata ou mobiliza uma única assessoria técnica para mapear as ameaças comuns, como secas prolongadas ou inundações, que afetam a economia regional (especialmente o setor agropecuário e de serviços). Essa centralização de dados não apenas reduz o custo por município, mas permite uma precisão metodológica muito superior, gerando uma base de dados robusta que serve como subsídio para o zoneamento ambiental e econômico de toda a região.

As estratégias de mitigação e adaptação são desenhadas de forma modular, aproveitando vocações regionais para gerar economias de escala. Projetos de gestão de resíduos sólidos, por exemplo, podem ser verticalizados via aterros sanitários consorciados com sistemas de valorização energética, algo que teoricamente seria inviável para um único município pequeno. No eixo da adaptação, a recuperação de matas ciliares e a gestão de recursos hídricos, quando tratadas, serão mais bem aproveitadas se realizadas de forma contínua entre territórios limítrofes, garantindo a segurança hídrica e a preservação da biodiversidade de maneira muito mais eficaz do que em intervenções fragmentadas.

O financiamento do PAC Coletivo é facilitado pela capacidade de captação de recursos em bloco. Instituições financeiras e fundos climáticos internacionais, como o BNDES, priorizam projetos de escala regional que demonstram maior eficiência administrativa e menor risco de descontinuidade.

O consórcio passa a ter "peso" institucional para pleitear investimentos em infraestrutura verde, mobilidade intermunicipal de baixo carbono e programas de agricultura regenerativa, além de possibilitar a criação de mecanismos locais, como o pagamento por serviços ambientais (PSA) financiado coletivamente pelos municípios beneficiados pela preservação de mananciais.

Com a implementação da plataforma MRV, os consórcios ou municípios podem relatar em tempo real as implementações que estão sendo executadas.

4.4.2.3 Fase 3 - Consolidação (até 2030)

Criação e realização de auditoria e revisão: Verificação final da meta de 100% e integração dos PACs municipais ao Plano Estadual de Adaptação.

4.4.3 ESTRUTURA MÍNIMA PARA ELABORAÇÃO DOS PLANOS MUNICIPAIS DE AÇÕES CLIMÁTICAS

O Estado de Sergipe fornecerá um Guia Metodológico (Template) para garantir que todos os 75 planos tenham uma estrutura mínima. O conteúdo mínimo deve incluir:

1. Inventário de Emissões.
2. Análise de Vulnerabilidade: Riscos de desertificação no Alto Sertão vs. avanço do nível do mar na Região Metropolitana de Aracaju.
3. Ações de Adaptação: Foco em soluções baseadas na natureza (SbN).
4. Governança: Designação de um responsável técnico na prefeitura pela agenda climática.

Ao fornecer um template estruturado para os 75 municípios, a SEMAC elimina a disparidade de formatos e garante que o planejamento seja comparável e integrável ao Plano Estadual. Essa uniformidade é fundamental não apenas para a organização administrativa, mas para que o Estado possa consolidar dados robustos e pleitear recursos internacionais com uma base estatística coerente e transparente.

O guia estabelece o rigor científico através do Inventário de Emissões e da Análise de Vulnerabilidade, exigindo que cada localidade mapeie sua realidade climática específica. Isso é crucial em um território geograficamente diverso como o sergipano, onde o rigor metodológico deve capturar desde os riscos críticos de desertificação e estresse hídrico no Alto Sertão até as ameaças de erosão costeira e elevação do nível do mar na Região Metropolitana de Aracaju. Tal abordagem territorializada transforma dados brutos em inteligência estratégica, permitindo que cada prefeitura priorize investimentos onde o risco humano e econômico é maior.

No campo da implementação, o roteiro prioriza Ações de Adaptação fundamentadas em Soluções baseadas na Natureza (SbN), promovendo uma infraestrutura resiliente e financeiramente viável para pequenos municípios. Ao invés de focar exclusivamente em obras de engenharia, o guia incentiva a recuperação de manguezais, a arborização urbana e a proteção de nascentes como ferramentas de regulação térmica e hídrica, medidas que mitigam impactos severos e geram co-benefícios imediatos, como a melhoria da qualidade do ar e a criação de espaços públicos mais saudáveis para a população.

Por fim, o pilar de Governança institucionaliza o compromisso climático ao exigir a designação formal de um responsável técnico pela agenda climática na prefeitura. Essa figura atua como o ponto focal estratégico, garantindo fluidez a elaboração do PAC Municipal.

4.5 GOVERNANÇA POLICÊNTRICA OU TRANSNACIONAL

O conceito de governança policêntrica aplicado ao clima traduz-se em um modelo que opera simultaneamente em diversas camadas e magnitudes. Diferente dos sistemas centralizados, essa estrutura distribui a autonomia e a capacidade de execução por múltiplos núcleos decisórios. Tais polos não se limitam a fronteiras geográficas fixas, incorporando a influência de entidades regionais e municipais na arquitetura das diretrizes ambientais em escala planetária.

Esse arranjo é desenhado para gerenciar a complexidade das dinâmicas climáticas e as mobilizações coletivas no tecido urbano. Ele se sustenta em uma teia de conexões que ignora as separações tradicionais entre o local, o nacional e o internacional, promovendo interações, tanto formais quanto espontâneas, que ocorrem de forma vertical e horizontal.

Embora o protagonismo das nações soberanas ainda dite o ritmo da política externa nos próximos anos, a diplomacia feita por entes subestatais já é uma engrenagem ativa na busca por metas ecológicas comuns. Entretanto, a autonomia local depende diretamente da robustez dos acordos e regras estabelecidos pelos Estados nacionais nos fóruns multilaterais. (Macedo e Jacobi, 2019).

A dimensão transnacional do plano é reforçada pela atuação ativa de Sergipe no Consórcio Nordeste, especificamente na Câmara Temática de Meio Ambiente. A cooperação regional permite a defesa de biomas compartilhados e a estruturação de fundos de financiamento coletivo. Ao agir em bloco, os estados nordestinos aumentam seu poder de negociação em conferências internacionais, como a COP, atraindo atenção para as particularidades do semiárido brasileiro, muitas vezes negligenciadas em fóruns globais.

As balizas da agenda local são estabelecidas pelos grandes objetivos climáticos definidos a nível mundial. O processo de transpor estas metas para a realidade municipal ocorre através de modelos de gestão descentralizados ou policêntricos, inseridos em um ecossistema complexo onde indivíduos e grupos interagem de forma constante. Neste cenário, a liderança é exercida de maneira cooperativa e em rede, com a autoridade e as tarefas distribuídas por diversos núcleos de poder.

Os principais obstáculos enfrentados pelas administrações locais prendem-se com a transferência de competências climáticas para entidades não estatais ou grupos externos ao território. Além disso, a multiplicação de fóruns de participação e debate pode gerar uma indefinição sobre a real governança: torna-se incerto se o controle do planejamento estratégico reside efetivamente no governo local ou se é ditado por redes de influência externas (Menezes, 2021).

O cumprimento das metas de redução dos gases que causam efeito estufa e das diretrizes internacionais devem ser incorporados por todos os envolvidos, União, Estados e Municípios, haja vista as questões ambientais serem de interesse global e difuso.

As parcerias internacionais desempenham um papel vital, fornecendo aos governos subnacionais o suporte técnico e os recursos necessários para a implementação de medidas contra as alterações climáticas. Estas redes garantem o acesso à informação especializada, financiamento, projetos práticos e modelos de boas práticas, além de conferirem prestígio institucional. Contudo, o grande desafio reside no fato de estas coligações globais possuírem agendas e interesses próprios, que podem acabar por condicionar e moldar os compromissos assumidos pelas cidades.

5 PARCERIAS PÚBLICO PRIVADAS E O PAPEL DA ALESE

A implementação de um modelo de governança climática no Estado de Sergipe fundamenta-se na integração entre a produção de conhecimento técnico-científico e o suporte político-legislativo. Este plano de colaboração estabelece os mecanismos pelos quais as instituições de ensino superior e o Poder Legislativo estadual atuam de forma coordenada para viabilizar a aplicação da política climática nos municípios e na administração direta do Estado.

O eixo acadêmico da cooperação é estruturado a partir da articulação entre a Universidade Federal de Sergipe (UFS), a Universidade Tiradentes (UNIT) e a Fundação de Apoio à Pesquisa e à Extensão de Sergipe (FAPESE). Estas entidades funcionam como os braços técnicos responsáveis pelo fornecimento de evidências e metodologias necessárias para o planejamento de adaptação e mitigação.

A operacionalização da coleta de dados em campo ocorre por meio da mobilização de estudantes de programas de pós-graduação das referidas universidades. Estes pesquisadores são designados para auxiliar as gestões municipais que carecem de quadros técnicos especializados em meteorologia, engenharia ambiental e gestão de riscos. A atuação direta desses profissionais em formação permite o levantamento de indicadores locais precisos, suprindo as lacunas de informação nas prefeituras do interior.

A FAPESE assume a responsabilidade pela gestão administrativa e financeira dos convênios firmados entre o Estado, os municípios e as universidades. Cabe à fundação garantir o fluxo de recursos para as bolsas de pesquisa e para a aquisição de equipamentos de monitoramento, assegurando que a produção científica seja convertida em instrumentos práticos de gestão pública. Este arranjo desonera os municípios da necessidade de criar estruturas permanentes de pesquisa.

Deverá haver o fomento de bolsas e incentivos concedidos através da FAPITEC com o objetivo de formalizar parcerias entre o Estado e essas instituições.

O pilar político do plano é institucionalizado através da Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe (ALESE). A atuação parlamentar é direcionada para a criação de Frentes Parlamentares de Apoio aos Municípios Climatizados. Este fórum legislativo tem o objetivo de conferir estabilidade institucional e respaldo jurídico às ações climáticas desenvolvidas localmente.

As Frentes Parlamentares atuam na identificação e no reconhecimento dos municípios que adotam padrões de governança resiliente. A concessão do status de "município climatizado" pressupõe o cumprimento de metas técnicas validadas pelas universidades, como a institucionalização de conselhos ambientais e a atualização de planos de contingência para eventos extremos.

A ALESE exerce papel fundamental na mediação entre as necessidades orçamentárias dos municípios e o planejamento plurianual do Estado. Através da articulação de emendas e da proposição de leis de incentivo, o Poder Legislativo assegura que os municípios que avançam na agenda climática tenham acesso prioritário a linhas de crédito estaduais e fomento técnico.

A colaboração entre a academia e o legislativo gera um fluxo de informações onde os dados coletados pelos estudantes da UFS e UNIT servem de base para a elaboração de projetos de lei e políticas públicas. A evidência científica produzida no campo municipal orienta a priorização de investimentos por parte dos deputados estaduais, minimizando a fragmentação de recursos públicos. A colaboração deve estimular a capacitação de agentes públicos através dos programas de pós-graduação e cursos de especialização para um enfrentamento técnico das questões climáticas.

O plano prevê a criação de um sistema de monitoramento contínuo das metas estabelecidas, onde os relatórios técnicos dos pós-graduandos são submetidos periodicamente à análise das frentes parlamentares. Esse acompanhamento garante a

transparência da aplicação do plano estadual e permite o ajuste das estratégias conforme a evolução dos riscos climáticos em cada região.

A integração de estudantes nas administrações locais funciona também como um programa de formação de novos quadros técnicos para o Estado. Ao final dos ciclos de pesquisa, o conhecimento gerado permanece nas prefeituras através da documentação técnica e da capacitação dos servidores efetivos, reduzindo a dependência de consultorias externas a longo prazo.

A estrutura de governança climática de Sergipe utiliza a articulação política na ALESE para promover a harmonização das legislações municipais com as diretrizes estaduais e nacionais.

A frente parlamentar atua na remoção de barreiras burocráticas que impedem a execução de obras de adaptação, facilitando a cooperação intermunicipal por meio de consórcios. O financiamento deste arranjo é composto por dotações orçamentárias específicas destinadas à ciência e tecnologia, além de fundos de amparo à pesquisa geridos pela FAPESE. A sustentabilidade financeira do plano é reforçada pela capacidade de Sergipe em apresentar projetos tecnicamente robustos a fundos nacionais e internacionais, utilizando os dados gerados pelas universidades parceiras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem da governança climática proposta para o Estado de Sergipe, conforme detalhada neste documento, estabelece o arcabouço institucional necessário para a operacionalização das políticas públicas voltadas ao enfrentamento da crise ambiental.

O documento fundamenta-se na coordenação de esforços entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e diversos setores da sociedade civil, academia e mercado. Estruturado sob eixos estratégicos, o plano define diretrizes que visam não apenas a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, mas também o fortalecimento da capacidade de adaptação do território sergipano frente aos impactos climáticos projetados.

No núcleo técnico da proposta encontra-se a arquitetura do Sistema MRV, que serve como a espinha dorsal para o monitoramento contínuo das ações climáticas no estado. Este sistema é complementado pelo Sistema Integrado de Monitoramento de Emissões e Estatísticas (SISGEE), ferramenta voltada para a gestão de dados técnicos e indicadores-chave de progresso. A integração de parâmetros meteorológicos e a

elaboração de inventários bienais buscam assegurar que as decisões governamentais sejam pautadas em evidências científicas e dados quantificáveis, garantindo o rigor metodológico necessário para a validação externa.

A introdução da Análise de Impacto Regulatório Ambiental (AIR-A) surge como um mecanismo de gestão que condiciona a criação de novas normas e atos administrativos ao uso de evidências técnicas e econômicas. O objetivo deste instrumento é avaliar a necessidade e a proporcionalidade das regulamentações, garantindo que as políticas climáticas promovam a resiliência sem gerar encargos desproporcionais aos setores produtivos ou à sociedade. Ao exigir transparência e segurança jurídica, a AIR-A atua como um filtro de racionalidade que busca harmonizar a proteção dos ecossistemas com a viabilidade econômica do Estado.

O plano adota uma perspectiva de governança multinível, integrando as esferas estadual e municipal por meio de suporte técnico, capacitação e incentivos fiscais. Entre as estratégias de descentralização, destaca-se a implementação do "Selo de Município Resiliente", que vincula o repasse de recursos, como o ICMS Ecológico, ao cumprimento de metas climáticas e à institucionalização de conselhos locais. Essa abordagem visa dotar os 75 municípios sergipanos de competências técnicas para gerir riscos climáticos e implementar soluções baseadas na natureza de forma autônoma e coordenada.

A transparência e o controle social são viabilizados pela plataforma digital "Sergipe Climático", concebida como um ecossistema de interação em tempo real entre o governo e o cidadão. O portal oferece acesso a mapas de vulnerabilidade e painéis de monitoramento, permitindo que a população atue como fiscalizadora do cumprimento das metas estabelecidas.

Complementarmente, a criação de uma Ouvidoria de Justiça Climática busca mediar conflitos socioambientais e proteger os direitos de comunidades tradicionais, como quilombolas e marisqueiras, assegurando que a transição para uma economia de baixo carbono seja socialmente inclusiva. A integração entre ciência e política é formalizada pelo Painel Científico de Assessoramento, que conecta instituições de pesquisa diretamente ao gabinete de decisão da SEMAC. Este colegiado tem a função de sugerir refinamentos técnicos e atestar o rigor dos inventários de emissões, baseando-se em modelos climáticos regionais e tendências atmosféricas. Paralelamente, o modelo de governança integrada promove a transversalidade do tema, exigindo que o enfrentamento à mudança do clima seja tratado como um desafio estrutural que envolve planejamento orçamentário, infraestrutura e finanças públicas.

Finalmente, o planejamento estabelece marcos temporais claros, projetando a neutralidade climática do Estado de Sergipe para o ano de 2050.

O cronograma prevê revisões periódicas das trajetórias de redução de emissões e a auditoria constante das ações implementadas para garantir a continuidade das políticas ao longo das décadas. Através dessa modelagem sistêmica, o estado busca consolidar uma estrutura administrativa resiliente que concilie o desenvolvimento regional com a proteção dos ativos naturais e a segurança hídrica e social da sua população.

7 REFERÊNCIAS

- ADRIANO, Bruna Teixeira. **Diretrizes de governança pública para adaptação climática local**: uma proposta a partir do contexto Brasil-Portugal. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.
- AVRITZER, Leonardo**. Participação e democracia no Brasil contemporâneo**. Rio de Janeiro: Vozes, 2009.
- BRASIL. **Lei nº 13.874, de 20 de setembro de 2019**. Institui a Declaração de Direitos de Liberdade Econômica; estabelece garantias de livre mercado; altera as Leis nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil), nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976, nº 11.598, de 3 de dezembro de 2007, nº 12.682, de 9 de julho de 2012, nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, nº 10.522, de 19 de julho de 2002, nº 8.934, de 18 de novembro de 1994, o Decreto-Lei nº 9.760, de 5 de setembro de 1946 e a Consolidação das Leis do Trabalho, aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943; revoga a Lei Delegada nº 4, de 26 de setembro de 1962, e dispositivos do Decreto-Lei nº 73, de 21 de novembro de 1966; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 20 set. 2019.
- BULKELEY, Harriet; BETSILL, Michele M. Revisiting the local politics of global climate change. **Environmental Politics**, v. 22, n. 1, p. 136-154, 2013.
- CARVALHO, T. et al. Governança climática e políticas efetivas de adaptação climática em municípios brasileiros. In: **Anais do ENANPUR**, 2023.
- CASA CIVIL. **Diretrizes Gerais para Análise de Impacto Regulatório**. Brasília: Presidência da República, 2018. (Documento que define os passos metodológicos da AIR convencional citados no texto).
- ESTADO DE SERGIPE. **Produto 3.1**: Modelagem do Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV). São Paulo: FIA, 2026.
- FREITAS, Juarez**. Direito Fundamental à Boa Administração e Responsabilidade Civil do Estado**. 4. ed. São Paulo: Malheiros, 2019.
- HOOGHE, Liesbet; MARKS, Gary. Unraveling the Central State, but How? Types of Multi-level Governance. **American Political Science Review**, v. 97, n. 2, p. 233-243, 2003.
- HIJIOKA, Y. et al. Adaptation Planning and Implementation. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- IPCC. **Mudança do Clima 2023**: Relatório Síntese. Resumo para formuladores de políticas. Genebra: IPCC, 2023.
- LIPSKY, M. **Street-level bureaucracy**. New York: Russell Sage Foundation, 1980.
- MACEDO, L.S.V. & JACOBI, P.R. (2019). **Subnational politics of the urban age: evidence from Brazil on integrating global climate goals in the municipal agenda. Nature Humanities Social Sciences — Palgrave Communications, Article number:** 18 (2019). DOI: https://doi.org/10.1057/s41599-019-0225-x.

Disponível em https://www.nature.com/articles/s41599-019-0225-x. Acesso em: março de 2026.

- MENEZES, Leila Soraya. **Guia para o desenho de arranjos institucionais locais: governança climática local para o avanço da adaptação**. Brasília: GIZ/MMA/Santos, 2021.
- MENEZES, N. **Governança Climática**: conceitos e práticas para o desenvolvimento sustentável. 2021.
- MENEZES, Leila Soraya (2021). **Governança Climática Local para o Avanço da Adaptação + Guia para o Desenho de Arranjos Institucionais Locais. Realização: Projeto Apoio ao Brasil na Implantação da sua Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PROADAPTA)**. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e Prefeitura de Santos/ Comissão Municipal de Adaptação à Mudança do Clima (CMMC). ISBN: 978-65-00-30056-7. Brasília, 1º de setembro de 2021. Páginas: 175
- NAGY, G.J., SEIJO, L., VEROCAI, J.E., BIDEGAIN, M. (2014**). Stakeholders' climate perception and adaptation in coastal Uruguay. International Journal of Climate Change Strategies and Management,** Vol. 6 Issue: 1, pp.63-84, DOI:https://doi.org/10.1108/IJCCSM-03-2013-0035. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/263043303_Stakeholders'_climate_perception_and_adaptation_in_coastal_Uruguay. Acesso em: abril de 2026.
- OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico). **Análise de Impacto Regulatório**. Paris: OECD Publishing, 2020.
- OSTROM, Elinor. Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. **American Economic Review**, v. 100, p. 641-672, 2010.

8 LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA SEMAC. 7
FIGURA 2: REPRESENTA O PASSO A PASSO DA TOMADA DE DECISÃO NA ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO- COM BASE EM PROCESSOS DECISÓRIOS DO CONAMA E DO MMA 9
FIGURA 3: ESTRUTURA DO COMITÊ DE ENFRENTAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (FIA, 2026). 13
FIGURA 4: REPRESENTA O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO NO MODELO DE GOVERNANÇA PARTICIPATIVA 18
FIGURA 5: PILARES DA GOVERNANÇA MULTIESCALA 30
FIGURA 6: FÓRMULA PARA O CÁLCULO DA COTA-PARTE ECOLÓGICA. 32
FIGURA 7: MAIORES CONSÓRCIOS INTERMUNICIPAIS DE SERGIPE. 40
FIGURA 8: DETALHAMENTO DOS CONSÓRCIOS INTERMUNICIPAIS. 41
FIGURA 9: FASES DE IMPLANTAÇÃO DA GOVERNANÇA MULTIESCALAR. 45
FIGURA 10: ESTRUTURA DE GOVERNANÇA CLIMÁTICA DO ESTADO DE SERGIPE. 52

9 LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: ÁREAS DE FOCO E COORDENAÇÕES DAS CÂMARAS TEMÁTICAS 14
QUADRO 2: DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO FLUXO DE ATENDIMENTO. 22
QUADRO 3: CRITÉRIOS PARA A DEFINIÇÃO DE PESOS NO REPASSE. 31
QUADRO 4: CICLO DE IMPLEMENTAÇÃO DO ICMS ECOLÓGICO 34
QUADRO 5: PRÉ-REQUISITOS PARA A CONCESSÃO DO SELO “SERGIPE RESILIENTE”. 46
QUADRO 6: METAS DE INSTITUCIONALIZAÇÃO E RESPECTIVOS RESULTADOS ESPERADOS 47

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Minutas de normativos, documentos e informações de apoio necessárias para a estruturação e implementação do novo modelo de governança
Produto 4.4

São Paulo, maio/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVOS 3

3 PREMISSAS CONCEITUAIS 4

4 ANEXOS 7

4.1 ANEXO I – MINUTA DO PROJETO DE LEI DA POLÍTICA ESTADUAL DE GOVERNANÇA CLIMÁTICA 7

4.2 ANEXO II – EXPOSIÇÃO DE MOTIVOS 30

1 APRESENTAÇÃO

O presente Relatório corresponde ao Produto 4.4 do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe (PEAC/SE), previsto no Contrato nº 08/2025, firmado entre a Fundação Instituto de Administração (FIA) e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC).

O documento tem por finalidade apresentar a proposta de Minuta de Projeto de Lei que institui a Política Estadual de Governança Climática do Estado de Sergipe, consolidando, em um único instrumento normativo de hierarquia legal, o conjunto de mecanismos, estruturas institucionais, instrumentos econômicos e canais de participação social necessários ao enfrentamento da crise climática no território sergipano. Nesse contexto, a minuta encerra o ciclo de produtos do componente normativo do PEAC/SE, articulando-se com os instrumentos infralegais desenvolvidos nos Produtos anteriores, que tratam, respectivamente, do modelo de avaliação periódica, do arcabouço metodológico de monitoramento, do desenho dos arranjos de governança e da minuta de implantação do Sistema MRV.

Ressalta-se que a elaboração da minuta buscou considerar as disposições da Lei Estadual nº 9.364, de 05 de janeiro de 2024, responsável por instituir a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, bem como as diretrizes apresentadas pelo Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (PEMAMC-SE), desenvolvido no Produto 2.1, e os marcos federais e internacionais aplicáveis, em especial a Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 (Política Nacional sobre Mudança do Clima), a Lei Federal nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024 (Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE), o Acordo de Paris e as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do Brasil.

2 OBJETIVOS

O Produto 4.4 possui como objetivo geral apresentar uma proposta de ato normativo de natureza legal, a ser submetida pelo Poder Executivo estadual à Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe (ALESE), para a instituição da Política Estadual de Governança Climática, com a definição de seus princípios, objetivos, estrutura institucional, instrumentos econômicos, mecanismos de participação social, metas climáticas de longo prazo e fontes de financiamento.

Como objetivos específicos da minuta, têm-se:

- Instituir formalmente a Política Estadual de Governança Climática do Estado de Sergipe e estabelecer seus princípios estruturantes;
- Consolidar, em nível legal, a estrutura de governança climática multinível, articulando os modelos vertical, integrado, participativo, multiescalar e transnacional;
- Instituir instrumentos econômicos de indução de boas práticas ambientais, em especial o ICMS Ecológico e o Selo de Município Resiliente;
- Criar canais permanentes de participação popular e controle social, incluindo a Ouvidoria de Justiça Climática, as Conferências Estaduais de Mudanças Climáticas e o Ciclo de Audiências Públicas Regionalizadas;
- Estabelecer metas climáticas de curto, médio e longo prazo, com horizonte de neutralidade de carbono até 2050;
- Assegurar a compatibilidade da legislação climática estadual aos marcos nacionais e internacionais pertinentes, em especial ao Acordo de Paris e ao Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE.

3 PREMISSAS CONCEITUAIS

A governança climática é compreendida, no escopo desta minuta, como o conjunto articulado de regras, instituições, processos decisórios e instrumentos de implementação destinados a orientar a ação coletiva no enfrentamento das mudanças climáticas. Trata-se de campo de políticas públicas de natureza transversal e multinível, cuja efetividade depende da integração entre os diversos entes federativos, da participação ativa da sociedade civil e da incorporação contínua do conhecimento técnico-científico ao ciclo de formulação, implementação e revisão das políticas públicas.

A consolidação da governança climática como pilar estruturante das políticas ambientais contemporâneas decorre, em larga medida, do amadurecimento do regime internacional do clima, especialmente a partir da assinatura do Acordo de Paris em 2015, no âmbito da 21ª Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). O Acordo estabeleceu, em seu artigo 13, o Marco de Transparência Reforçado, e, em seu artigo 14, o mecanismo de balanço global, ambos pressupondo a existência, nos países signatários, de arranjos institucionais aptos a produzir, reportar e verificar informações sobre emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) e sobre o progresso das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs).

No plano nacional, a Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída pela Lei Federal nº 12.187, de 2009, estabeleceu as bases para a coordenação federativa em matéria climática, posteriormente aprofundada pelo Decreto nº 9.578, de 2018, e pela Lei

Federal nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024, que regulamenta o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE (SBCE). Nesse cenário, os estados-membros passaram a ocupar papel cada vez mais relevante na arquitetura da governança climática brasileira, especialmente em razão da competência concorrente prevista no artigo 24, inciso VI, da Constituição Federal, que lhes confere atribuição legislativa em matéria ambiental, observadas as normas gerais editadas pela União.

A presente minuta estrutura-se, conceitualmente, em torno de cinco modelos articulados e complementares de governança climática, todos reconhecidos pela literatura especializada e por experiências comparadas em jurisdições subnacionais brasileiras e internacionais. A governança vertical refere-se à existência de uma autoridade central coordenadora da política climática estadual, papel atribuído à Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC). A governança integrada ou multissetorial diz respeito à articulação entre as diversas secretarias e entidades da Administração Pública Estadual, operacionalizada por meio do Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas (CEEMC-SE), do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC) e das Câmaras Temáticas setoriais.

A governança em rede ou participativa, por sua vez, traduz-se na institucionalização de canais permanentes de diálogo entre o Poder Público e a sociedade civil, materializada na Ouvidoria de Justiça Climática, nas audiências públicas regionalizadas, nas consultas públicas digitais e na Plataforma “Sergipe Climático”. A governança multiescalar reconhece o papel insubstituível dos municípios como entes federativos responsáveis pela implementação local das políticas climáticas, operando por meio do Programa Sergipe Resiliente, do Selo de Município Resiliente, do ICMS Ecológico e dos Planos Municipais de Ação Climática. Por fim, a governança policêntrica e transnacional reflete a atuação do Estado em fóruns interfederativos e internacionais, com destaque para o Consórcio Nordeste e para as parcerias com organismos multilaterais de cooperação técnica e financeira.

O conceito de justiça climática constitui premissa transversal a toda a minuta e fundamenta-se no reconhecimento de que os impactos das mudanças climáticas se distribuem de maneira desigual entre grupos sociais e territórios, atingindo de modo desproporcional as populações em situação de vulnerabilidade. No contexto sergipano, tal premissa orienta a proteção prioritária das comunidades quilombolas, indígenas, pescadores artesanais, marisqueiras, catadoras de mangaba e agricultores familiares, bem como das populações residentes em áreas costeiras sujeitas à erosão marinha e em regiões do semiárido afetadas pela desertificação e pela escassez hídrica.

A eficiência regulatória, materializada na obrigatoriedade da Análise de Impacto Regulatório Ambiental (AIR-A), constitui outra premissa conceitual relevante. Inspirada na Lei Federal nº 13.874, de 20 de setembro de 2019, e no Decreto Federal nº 10.411, de 30 de junho de 2020, a AIR-A condiciona a edição, a alteração ou a revogação de atos normativos ambientais à produção prévia de evidências técnicas sobre os efeitos socioeconômicos, ecológicos e regulatórios das intervenções propostas, conferindo maior racionalidade decisória e segurança jurídica ao processo regulatório estadual.

Por fim, a minuta incorpora a meta de neutralidade climática até 2050 como horizonte estratégico de longo prazo, alinhada aos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris e às projeções científicas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para a estabilização da temperatura média global em até 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. A trajetória de descarbonização proposta combina metas intermediárias para 2030 e 2035, mecanismos de monitoramento periódico pelo Sistema MRV e revisões quinquenais conduzidas pelo CEEMC-SE com base nos relatórios do Painel Científico de Assessoramento, configurando arquitetura normativa adequada à complexidade e à urgência impostas pela agenda climática contemporânea.

4 ANEXOS

4.1 ANEXO I – MINUTA DO PROJETO DE LEI DA POLÍTICA ESTADUAL DE GOVERNANÇA CLIMÁTICA

ESTADO DE SERGIPE

PODER EXECUTIVO

PROJETO DE LEI Nº ____, DE 2026

INSTITUI A POLÍTICA ESTADUAL DE GOVERNANÇA CLIMÁTICA DO ESTADO DE SERGIPE E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS

O GOVERNADOR DO ESTADO DE SERGIPE, Faço saber que a Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe aprovou e eu sanciono a seguinte Lei:

CAPÍTULO I
DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1º Esta Lei institui a Política Estadual de Governança Climática do Estado de Sergipe, estabelecendo o conjunto de mecanismos, estruturas institucionais, instrumentos econômicos e de participação social destinados a orientar as ações do Poder Público estadual e dos municípios no enfrentamento da crise climática, com vistas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa – GEE, ao fortalecimento da resiliência e da capacidade adaptativa do território sergipano e à promoção da justiça climática.

Art. 2º A Política Estadual de Governança Climática rege-se pelos seguintes princípios:

I - da prevenção e da precaução, orientando as decisões públicas pela antecipação de riscos climáticos, mesmo diante de incertezas científicas;

II - da integração e da transversalidade, exigindo que o enfrentamento às mudanças climáticas seja tratado como eixo estruturante das políticas de desenvolvimento econômico, social e territorial do Estado;

III - da justiça climática, garantindo que as populações mais vulneráveis – comunidades quilombolas, indígenas, pescadores artesanais, marisqueiras, catadoras de mangaba e agricultores familiares – sejam prioritariamente protegidas dos impactos climáticos e tenham acesso equitativo às políticas de adaptação;

IV - da participação popular e do controle social, assegurando canais permanentes de diálogo, escuta ativa e consulta às comunidades e aos setores organizados da sociedade civil;

V - da transparência e do acesso à informação, garantindo a publicidade de dados, metas, inventários e resultados do Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC/SE, em linguagem acessível ao cidadão;

VI - da cooperação federativa, reconhecendo os municípios como entes essenciais para a efetividade da governança climática e prevendo instrumentos de apoio técnico e financeiro para a descentralização das ações;

VII - da eficiência regulatória, exigindo que novas normas ambientais sejam fundamentadas em evidências técnicas e econômicas, por meio da Análise de Impacto Regulatório Ambiental – AIR-A;

VIII - do desenvolvimento sustentável, harmonizando a proteção dos ecossistemas com a viabilidade econômica e a justiça social;

IX - da responsabilidade intergeracional, comprometendo o Estado com decisões que resguardem as condições ambientais para as gerações futuras;

X - da neutralidade climática, fixando como meta de longo prazo o alcance da neutralidade de carbono no território sergipano até o ano de 2050.

Art. 3º Para os fins desta Lei, considera-se:

I - Gases de Efeito Estufa – GEE: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e demais gases de vida longa que intensificam o efeito estufa natural, conforme reconhecidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC;

II - Mitigação: conjunto de medidas destinadas a reduzir as emissões de GEE ou ampliar os sumidouros de carbono, contribuindo para a limitação do aquecimento global;

III - Adaptação: processo de ajuste ao clima atual ou projetado e seus efeitos, que busca reduzir danos e explorar oportunidades benéficas para os sistemas naturais e humanos;

IV - Inventário de Emissões de GEE: documento técnico que contabiliza, por setor econômico e por categoria de GEE, o total das emissões e remoções de gases de efeito estufa produzidas no território sergipano em determinado período;

V - Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação – MRV: conjunto integrado de procedimentos, indicadores e protocolos destinados ao acompanhamento contínuo, ao registro sistemático e à auditoria independente das ações climáticas e das emissões de GEE;

VI - Soluções Baseadas na Natureza – SbN: medidas que utilizam processos e funções ecossistêmicas para enfrentar desafios sociais, econômicos e ambientais, como recuperação de matas ciliares, implantação de áreas verdes urbanas, restauração de manguezais e proteção de mananciais;

VII - Justiça Climática: conjunto de princípios e práticas que reconhecem a distribuição desigual dos riscos e impactos climáticos entre grupos sociais e territórios, e que orientam ações para eliminar ou reduzir tais desigualdades;

VIII - ICMS Ecológico: fração da cota-parte do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS, pertencente aos municípios, distribuída segundo critérios de desempenho ambiental e climático apurados anualmente;

IX - Análise de Impacto Regulatório Ambiental – AIR-A: procedimento técnico-administrativo prévio à edição de atos normativos ambientais, que avalia os

efeitos socioeconômicos, ecológicos e regulatórios de novas normas ou alterações normativas;

X - Plano Municipal de Ação Climática – PAC Municipal: instrumento de planejamento elaborado por cada município para orientar localmente as ações de mitigação de GEE, adaptação climática e gestão de riscos.

Art. 4º Esta Lei fundamenta-se:

I - nos artigos 23, inciso VI, e 24, inciso VI, da Constituição Federal, que estabelecem a competência comum e concorrente dos entes federados em matéria de proteção ao meio ambiente;

II - no artigo 225 da Constituição Federal, que consagra o direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado;

III - na Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC;

IV - na Lei Federal nº 13.874, de 20 de setembro de 2019, que institui a Declaração de Direitos de Liberdade Econômica e prevê a Análise de Impacto Regulatório;

V - na Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico;

VI - na Lei Federal nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024, que regulamenta o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE – SBCE;

VII - na Lei Estadual nº 9.364, de 05 de janeiro de 2024, que estabelece a Política Estadual do Meio Ambiente de Sergipe;

VIII - na Lei Estadual nº 9.919, de 06 de março de 2026, que institui a Política Estadual de Apoio e Incentivo às Cidades Inteligentes de Sergipe;

IX - nos Acordos Internacionais celebrados pelo Brasil em matéria climática, em especial o Acordo de Paris e os compromissos assumidos nas Conferências das Partes – COP.

CAPÍTULO II
DA ESTRUTURA DE GOVERNANÇA CLIMÁTICA ESTADUAL
Seção I
Das Disposições Gerais da Estrutura de Governança

Art. 5º A Política Estadual de Governança Climática estrutura-se nos seguintes modelos articulados e complementares:

I - Governança Vertical, exercida pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC, como autoridade central coordenadora da política climática estadual;

II - Governança Integrada ou Multissetorial, operacionalizada por meio do Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas – CEEMC-SE, do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas – GTMC e das Câmaras Temáticas;

III - Governança em Rede ou Participativa, exercida por meio da Ouvidoria de Justiça Climática, das audiências públicas regionalizadas, dos canais digitais de consulta popular e da plataforma "Sergipe Climático";

IV - Governança Multiescalar, operada em articulação com os 75 (setenta e cinco) municípios do Estado, por meio do Programa Sergipe Resiliente, do ICMS Ecológico e dos Planos Municipais de Ação Climática;

V - Governança Policêntrica e Transnacional, exercida por meio da atuação do Estado no Consórcio Nordeste, em câmaras temáticas interregionais e em parcerias com organismos internacionais.

Seção II

Da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC

Art. 6º A SEMAC é o órgão central da Política Estadual de Governança Climática, competindo-lhe:

I - coordenar e supervisionar a implementação do Plano Estadual de Ações Climáticas – PEAC/SE e de seus instrumentos;

II - presidir o CEEMC-SE e secretariar o GTMC por meio de sua Secretaria Executiva;

III - garantir o alinhamento das ações estaduais às diretrizes do Acordo de Paris e às Contribuições Nacionalmente Determinadas – NDCs do Brasil;

IV - elaborar e publicar bienalmente o Inventário Estadual de Emissões de GEE;

V - gerir a Plataforma Digital "Sergipe Climático" e o Sistema MRV;

VI - coordenar as atividades da Ouvidoria de Justiça Climática;

VII - articular parcerias com universidades, centros de pesquisa, organismos internacionais e entidades do setor privado para o cumprimento das metas climáticas estaduais;

VIII - realizar anualmente a Análise de Impacto Regulatório Ambiental sobre as principais normas ambientais vigentes e as propostas de novas regulamentações;

IX - prestar apoio técnico e financeiro aos municípios para a elaboração, implementação e monitoramento dos Planos Municipais de Ação Climática;

X - publicar anualmente o Relatório de Progresso da Política Estadual de Governança Climática.

Art. 7º A SEMAC manterá uma Secretaria Executiva do PEAC/SE, com equipe técnica de até dez especialistas dedicados exclusivamente à coordenação do Plano Estadual de Ações Climáticas.

§ 1º A Secretaria Executiva organizará suas atividades em três frentes principais: monitoramento e gestão de indicadores do Sistema MRV; articulação setorial com os órgãos do GTMC; e comunicação e transparência pública.

§ 2º Os integrantes da Secretaria Executiva poderão ser servidores de carreira do quadro da SEMAC ou profissionais contratados por prazo determinado, mediante processo seletivo, na forma da legislação vigente.

Seção III

Do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas – GTMC

Art. 8º Fica criado o Grupo Técnico de Mudanças Climáticas – GTMC, braço operacional do CEEMC-SE e centro executivo para a gestão, análise e comunicação de dados ambientais relacionados às metas climáticas estaduais.

Art. 9º O GTMC será integrado por representantes técnicos das seguintes instituições, organizadas por eixo temático:

I - Coordenação estratégica e fiscalização: SEMAC, ADEMA e Polícia Militar Ambiental;

II - Desenvolvimento e produção: SEAGRI, Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe – EMDAGRO e SEDETEC;

III - Infraestrutura e recursos hídricos: SEDURBI, Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO e COHIDRO;

IV - Serviços públicos e proteção social: SES, SEDUC e Defesa Civil;

V - Gestão, tecnologia e fomento: SEPLAG, SEFAZ, Banco do Estado de Sergipe – BANESE, Empresa Sergipana de Tecnologia da Informação – EMGETIS e as Macrocâmaras Temáticas.

§ 1º O GTMC será secretariado pela Secretaria Executiva do PEAC/SE e reunir-se-á trimestralmente, em reunião ordinária, em sincronia com o calendário de elaboração e aprovação dos Relatórios Trimestrais de Progresso do PEAC/SE, com pauta e ata devidamente publicadas no Portal de Transparência do Estado.

§ 2º As reuniões extraordinárias do GTMC poderão ser convocadas pela Secretaria Executiva, sempre que a urgência dos temas climáticos assim o exigir.

Seção IV

Das Macrocâmaras Temáticas

Art. 10. Ficam criadas, no âmbito do GTMC, as seguintes Câmaras Temáticas, de caráter consultivo, incumbidas da produção de diagnósticos e estudos técnicos para embasar as deliberações estratégicas do CEEMC-SE, organizadas em quatro macrocâmaras que agrupam especialidades correlatas a fim de evitar a superposição temática:

I - Macrocâmara de Agropecuária, Uso da Terra e Biodiversidade, coordenada pela SEAGRI, com foco em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, uso de biodigestores, reflorestamento, vigilância do desmatamento e conservação da biodiversidade;

II - Macrocâmara de Recursos Hídricos, Saneamento e Zonas Costeiras, coordenada pela SEMAC, com foco na preservação hídrica, na redução de perdas na rede de distribuição, na recarga de aquíferos, na proteção de ecossistemas de manguezal e no combate à erosão marinha;

III - Macrocâmara de Infraestrutura, Energia e Resíduos, coordenada conjuntamente pela SEDETEC, pela SEDURBI e pela ADEMA, com foco em geração solar descentralizada, eletrificação da mobilidade, eficiência energética, soluções de infraestrutura verde, sistemas de drenagem, moradias resilientes, reciclagem, aproveitamento de biogás, compostagem e gestão de aterros sanitários;

IV - Macrocâmara de Governança, Saúde e Justiça Climática, coordenada conjuntamente pela SEMAC, pela SES, pela SEFAZ e por representantes da sociedade civil, com foco no monitoramento de eventos climáticos extremos e seus impactos sobre a saúde pública, na atração de investimentos verdes, na gestão de fundos ambientais, em mecanismos econômicos de descarbonização, no apoio a grupos vulneráveis, na proteção de povos e comunidades tradicionais e na promoção da equidade socioambiental.

§ 1º Cada Macrocâmara será composta por oito a doze integrantes, entre titulares de órgãos públicos, representantes da academia e representantes da sociedade civil com comprovada atuação na área respectiva.

§ 2º Os líderes das Macrocâmaras serão nomeados pelo GTMC, com mandato de dois anos, permitida uma recondução consecutiva.

§ 3º As Macrocâmaras reunir-se-ão bimestralmente, em sessões ordinárias, podendo ser convocadas em sessões extraordinárias pelo GTMC.

§ 4º Cada Macrocâmara indicará um representante, em regime de rodízio semestral, para participar das reuniões trimestrais do GTMC com direito a voz.

Seção V
Do Painel Científico de Assessoramento

Art. 11. Fica criado o Painel Científico de Assessoramento do PEAC/SE, colegiado de natureza consultiva-científica responsável por promover a integração entre a produção acadêmica e a tomada de decisão em matéria climática no Estado de Sergipe.

Art. 12. O Painel Científico de Assessoramento será composto por quinze a vinte especialistas acadêmicos com notória competência nas seguintes áreas:

I - dinâmicas climáticas e modelagem computacional;

II - engenharia de sistemas e gestão de recursos hídricos;

III - ciências agrárias e sistemas agroflorestais;

IV - matriz energética sustentável e energias renováveis;

V - saúde coletiva e epidemiologia ambiental;

VI - economia do meio ambiente e finanças sustentáveis;

VII - sociologia e direitos socioambientais.

Art. 13. A consolidação do Painel Científico de Assessoramento será viabilizada por meio de Acordos de Cooperação Técnica celebrados entre a SEMAC e instituições de excelência.

Art. 14. O Painel Científico de Assessoramento reunir-se-á trimestralmente, com as seguintes atribuições:

I - sugerir refinamentos técnicos e incorporar descobertas científicas recentes ao Sistema MRV;

II - atestar o rigor metodológico aplicado aos inventários bienais de emissões de GEE;

III - analisar tendências climáticas regionais e elaborar cenários prospectivos para o território sergipano;

IV - elaborar diagnósticos sobre a vulnerabilidade climática de longo prazo dos oito territórios de planejamento do Estado;

V - fornecer suporte técnico especializado às demandas das Macrocâmaras Temáticas;

VI - avaliar a eficácia e o impacto real das políticas públicas climáticas implementadas.

CAPÍTULO III

DA ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO AMBIENTAL – AIR-A

Art. 15. Fica instituída a Análise de Impacto Regulatório Ambiental – AIR-A, procedimento técnico-administrativo prévio obrigatório à edição, à alteração ou à revogação de atos normativos de caráter ambiental e climático no Estado de Sergipe.

§ 1º A AIR-A tem por objetivo avaliar os benefícios e os custos de propostas normativas antes de sua implementação, garantindo que a intervenção do Estado seja necessária, eficaz e proporcional, com base em evidências técnicas e científicas.

§ 2º A obrigatoriedade estabelecida no *caput* aplica-se exclusivamente aos atos normativos listados nos incisos seguintes que, cumulativamente, disciplinem atividades ou empreendimentos classificados como de alto impacto ambiental ou gerem impacto econômico estimado igual ou superior ao teto fixado em regulamento, dispensada a sua exigência para os atos relativos a licenciamento ambiental de baixo e médio impacto:

I - resoluções do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA que disciplinem atividades ou empreendimentos de alto impacto ambiental;

II - portarias e instruções normativas da SEMAC e da ADEMA que disciplinem atividades poluidoras de alto impacto ou cujo impacto econômico estimado seja igual ou superior ao teto fixado em regulamento, excluídas as portarias relativas a licenciamento ambiental de baixo e médio impacto;

III - decretos do Poder Executivo estadual que disciplinem atividades de alto impacto ambiental ou climático, ou cujo impacto econômico estimado seja igual ou superior ao teto fixado em regulamento;

IV - minutas de projetos de lei de iniciativa do Poder Executivo estadual em matéria ambiental que disciplinem atividades de alto impacto ambiental ou cujo impacto econômico estimado seja igual ou superior ao teto fixado em regulamento.

§ 3º Fica dispensada a elaboração da AIR-A para os atos normativos relativos a licenciamento ambiental de baixo e médio impacto, ainda que enquadrados nos normativos elencados no § 2º, ressalvada a competência do CEMA para, mediante decisão fundamentada, determinar sua realização em casos de relevante repercussão social, ambiental ou climática.

§ 4º O teto de impacto econômico referido no § 2º, bem como os critérios de classificação das atividades e empreendimentos como de alto, médio ou baixo impacto ambiental, serão definidos no decreto regulamentador previsto no art. 18 desta Lei, observados os parâmetros adotados pelo licenciamento ambiental estadual.

Art. 16. A AIR-A observará o seguinte procedimento:

I - identificação e caracterização do problema regulatório, com descrição das causas que justificam a edição do ato normativo;

II - definição dos objetivos a serem alcançados pela intervenção regulatória;

III - levantamento e comparação de alternativas normativas e não normativas disponíveis para a solução do problema, incluindo a opção de não agir;

IV - avaliação dos impactos socioeconômicos, ecológicos e regulatórios de cada alternativa, com especial atenção aos efeitos sobre populações vulneráveis, ecossistemas sensíveis e atividades produtivas;

V - consulta ao Painel Científico de Assessoramento, quando a proposta normativa envolver questões de alta complexidade técnica ou de repercussão sobre ecossistemas estratégicos;

VI - elaboração de relatório final circunstanciado, contendo a justificativa da alternativa escolhida e os mecanismos de monitoramento e avaliação previstos;

VII - publicação do relatório de AIR-A no Portal de Transparência do Estado, com prazo mínimo de quinze dias para contribuições da sociedade civil antes da edição do ato normativo.

Art. 17. A AIR-A não será exigida nos seguintes casos:

I - atos normativos de natureza estritamente interna, cujos efeitos se restrinjam ao âmbito do órgão que os editar e não afetem direitos ou obrigações de terceiros;

II - atos de efeitos concretos destinados a disciplinar situações específicas e individualizadas;

III - medidas de caráter emergencial, adotadas para resposta imediata a desastres climáticos ou ambientais, sem prejuízo da elaboração posterior de avaliação de impacto;

IV - atos relativos a licenciamento ambiental de baixo e médio impacto, bem como demais atos normativos que não disciplinem atividades de alto impacto ambiental e cujo impacto econômico estimado seja inferior ao teto fixado em regulamento, na forma do § 2º do art. 15 desta Lei.

Parágrafo único. A hipótese prevista no inciso III do caput não afasta a obrigação de submeter a medida emergencial à AIR-A no prazo de 90 (noventa) dias, contados de sua edição, sob pena de perda de eficácia.

Art. 18. O Poder Executivo regulamentará os procedimentos, a metodologia e os quesitos mínimos da AIR-A por meio de decreto, no prazo de 180 (cento e oitenta) dias, contados da publicação desta Lei.

CAPÍTULO IV

DA PLATAFORMA DIGITAL "SERGIPE CLIMÁTICO"

Art. 19. Fica instituída a Plataforma Digital "Sergipe Climático", ecossistema de transparência e interação em tempo real entre o Governo do Estado e os cidadãos, a ser desenvolvido e mantido pela SEMAC em parceria com a EMGETIS.

Art. 20. A Plataforma "Sergipe Climático" terá as seguintes funcionalidades obrigatórias:

I - painel de transparência climática, com acesso público a dados de emissões de GEE, indicadores de desempenho das metas, progresso de obras e projetos de adaptação e resultados das auditorias do Sistema MRV;

II - mapas interativos de vulnerabilidade climática, atualizados periodicamente, com indicação dos principais riscos por microrregião;

III - inventário público de emissões por setor econômico, com visualização em linguagem acessível ao cidadão leigo;

IV - canal de consulta pública contínua, com funcionalidade de comentários e sugestões por capítulo e artigo das minutas de normas ambientais e dos planos climáticos em elaboração;

V - módulo de georreferenciamento de denúncias, vinculado diretamente à Ouvidoria de Justiça Climática, permitindo o registro com localização precisa de danos ambientais, desastres e violações de direitos;

VI - fóruns temáticos moderados para discussão dos eixos estratégicos do PEAC/SE;

VII - repositório de guias práticos, manuais e materiais educativos sobre mudanças climáticas em linguagem acessível;

VIII - painel de acompanhamento do Programa Sergipe Resiliente, com o status de cada município, os critérios cumpridos e os valores de ICMS Ecológico recebidos.

Art. 21. A Plataforma "Sergipe Climático" deverá ser acessível em dispositivos móveis, por meio de aplicativo gratuito disponível para os principais sistemas operacionais, e integrada a canais de comunicação direta, incluindo aplicativo de mensagens e terminais físicos instalados nas unidades dos Centros de Atendimento ao Cidadão – CEACs distribuídos pelo Estado.

Art. 22. O Poder Executivo garantirá acessibilidade digital à Plataforma "Sergipe Climático" para pessoas com deficiência, cumprindo os padrões estabelecidos nas normas técnicas de acessibilidade digital vigentes, e promoverá campanhas de alfabetização digital voltadas para populações com menor acesso à internet.

CAPÍTULO V

DO ICMS ECOLÓGICO

Art. 23. Fica estabelecido o ICMS Ecológico no Estado de Sergipe, mediante a reserva de 5% (cinco por cento) da parcela do produto da arrecadação do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – ICMS, pertencente aos municípios, correspondente aos 25% (vinte e cinco por cento) previstos no inciso IV do artigo 158 da Constituição Federal, para distribuição com base em critérios de desempenho ambiental e climático.

§ 1º A parcela referida no *caput,* denominada Cota-Parte Ecológica – CPEco, será calculada e transferida anualmente, com base nos dados de desempenho ambiental apurados no exercício anterior.

§ 2º O ICMS Ecológico não prejudicará os critérios de rateio já estabelecidos na legislação vigente, sendo acrescido à sistemática atual de distribuição da cota-parte municipal do ICMS, mediante lei específica a ser submetida à Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe – ALESE no prazo de 180 (cento e oitenta) dias da publicação desta Lei.

Art. 24. A distribuição da CPEco observará os seguintes critérios e pesos:

I - obtenção do Selo de Município Resiliente em nível Ouro: peso de 30% (trinta por cento);

II - criação e manutenção de Unidades de Conservação municipais, Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN ou corredores ecológicos: peso de 25% (vinte e cinco por cento);

III - erradicação de lixões e implementação efetiva de coleta seletiva com destinação ambientalmente adequada dos resíduos: peso de 20% (vinte por cento);

IV - proteção de matas ciliares nos rios Sergipe, Vaza-Barris, Piauí e São Francisco, e implementação de projetos contínuos de educação ambiental na rede municipal de ensino: peso de 15% (quinze por cento);

V - redução de focos de incêndio em áreas de Caatinga e Mata Atlântica: peso de 10% (dez por cento).

Art. 25. A apuração do desempenho ambiental de cada município para fins de distribuição da CPEco será realizada anualmente pela ADEMA, com base nos dados inseridos pelos municípios no Sistema de Informações Ambientais – SIA-SE e validados por cruzamento de imagens de satélite e visitas técnicas amostrais.

§ 1º A metodologia de cálculo do Índice de Qualidade Ambiental Municipal – IQAM será definida em regulamento, devendo contemplar indicadores evolutivos que exijam progressão dos resultados ao longo dos anos.

§ 2º O município que apresentar regressão nos indicadores ambientais relativamente ao exercício anterior terá a sua pontuação reduzida proporcionalmente, podendo perder integralmente o acesso à CPEco em caso de desmatamento ilegal comprovado.

§ 3º A metodologia e os resultados da apuração serão publicados anualmente no Diário Oficial do Estado e na Plataforma "Sergipe Climático", acompanhados do Ranking Verde dos municípios.

Art. 26. A gestão do ICMS Ecológico ficará a cargo de um Comitê Gestor Multissetorial, presidido pela SEMAC e integrado pela ADEMA, pela SEFAZ e pela Federação dos Municípios do Estado de Sergipe – FAMES, com as seguintes atribuições:

I - definir e revisar a cada quatro anos os pesos e parâmetros de pontuação de cada critério ambiental, observando as prioridades climáticas do PEAC/SE;

II - validar os relatórios de desempenho ambiental elaborados pela ADEMA;

III - dirimir conflitos e dúvidas sobre a aplicação dos critérios de pontuação;

IV - propor ao CEEMC-SE ajustes nos critérios, quando o contexto climático regional assim o demandar;

V - publicar anualmente o Ranking Verde dos municípios e o relatório consolidado de distribuição da CPEco.

Parágrafo único: Os pesos e parâmetros apontados no inciso I desse artigo poderão ser revisados anualmente a critério da SEMAC.

Art. 27. Para garantir equidade entre municípios de diferentes portes e capacidades técnicas, ficam criados Escritórios Regionais de Apoio Técnico Ambiental – ERATAs, vinculados à SEMAC e instalados nos oito territórios de planejamento do Estado, com as seguintes atribuições:

I - prestar consultoria técnica gratuita às prefeituras de pequeno porte para a elaboração de dossiês de candidatura ao ICMS Ecológico e ao Selo de Município Resiliente;

II - apoiar a alimentação de dados no SIA-SE pelos municípios;

III - capacitar servidores municipais nos temas de gestão ambiental, inventários de GEE e licenciamento ambiental.

Parágrafo único. Os ERATAs serão financiados por dotação orçamentária específica constante do Fundo Estadual de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente – FERMA, admitida parceria com universidades estaduais e institutos de pesquisa.

Art. 28. Os critérios e pesos previstos no artigo 24 desta Lei serão revistos a cada quatro anos pelo Comitê Gestor Multissetorial, para refletir as novas prioridades climáticas e as mudanças no panorama ambiental do Estado.

CAPÍTULO VI

DO PROGRAMA "SERGIPE RESILIENTE" E DO SELO DE MUNICÍPIO RESILIENTE

Seção I

Do Programa Sergipe Resiliente

Art. 29. Fica instituído o Programa Sergipe Resiliente, conjunto integrado de ações destinadas a promover a descentralização da governança climática, o fortalecimento da capacidade institucional dos municípios e a integração dos 75 (setenta e cinco) municípios sergipanos à Política Estadual de Governança Climática até o ano de 2030.

Art. 30. O Programa Sergipe Resiliente abrange:

I - a criação do Selo de Município Resiliente, sistema de certificação de municípios com base em critérios de desempenho climático e governança;

II - o apoio à institucionalização de Conselhos Municipais de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas;

III - a elaboração e a implementação de um Plano Estadual de Capacitação Técnica para gestores e servidores municipais;

IV - a prestação de apoio técnico itinerante por equipes da SEMAC e da SEPLAG para a elaboração dos Planos Municipais de Ação Climática;

V - o diagnóstico estadual de vulnerabilidades climáticas por microrregião;

VI - a vinculação dos critérios de prioridade em convênios de infraestrutura urbana à obtenção do Selo de Município Resiliente.

Seção II

Do Selo de Município Resiliente

Art. 31. Fica instituído o Selo de Município Resiliente, certificação concedida pelo Estado de Sergipe, por intermédio do CEEMC-SE, ao município que demonstrar cumprimento progressivo de metas climáticas e de boa governança ambiental.

§ 1º O Selo terá validade de 24 (vinte e quatro) meses, podendo ser renovado, e três níveis de certificação, correspondentes a diferentes graus de comprometimento e de execução da agenda climática municipal.

§ 2º A identidade visual do Selo será definida pela SEMAC no prazo de 90 (noventa) dias, contados da publicação desta Lei.

Art. 32. O Selo de Município Resiliente será concedido em três níveis progressivos:

I - Nível Bronze – Governança Climática Iniciada: focado na estruturação institucional, com ênfase na criação ou reativação do Conselho Municipal de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas e na designação de um servidor responsável pela agenda climática na prefeitura;

II - Nível Prata – Planejamento Climático Estruturado: focado na elaboração de instrumentos de planejamento, incluindo a elaboração e aprovação do Plano Municipal de Ação Climática e a realização do Inventário Municipal de Emissões de GEE;

III - Nível Ouro – Implementação e Resiliência Efetiva: focado na execução de ações concretas, incluindo obras de infraestrutura resiliente ou Soluções Baseadas na Natureza e a integração da pauta climática ao currículo escolar municipal.

Art. 33. Os requisitos mínimos para cada nível do Selo de Município Resiliente são:

I - Nível Bronze:

a) criação ou reativação do Conselho Municipal de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, com paridade entre Poder Público e sociedade civil;

b) designação formal, por decreto municipal, de servidor responsável pela agenda climática;

c) adesão formal ao Programa Sergipe Resiliente e cadastro no sistema de monitoramento estadual.

II - Nível Prata, além dos requisitos do nível anterior:

a) elaboração e aprovação do Plano Municipal de Ação Climática, por lei ou decreto;

b) realização do Inventário Municipal de Emissões de GEE, com metodologia validada pela SEMAC, sendo admitida versão simplificada para municípios com população inferior a 23 (vinte e três) mil habitantes;

c) inserção de dados no Sistema de Informações Ambientais – SIA-SE no prazo estabelecido pelo Comitê Gestor Multissetorial.

III - Nível Ouro, além dos requisitos dos níveis anteriores:

a) execução de pelo menos duas ações de adaptação climática, obras de infraestrutura resiliente ou projetos de Soluções Baseadas na Natureza, devidamente documentadas;

b) inclusão do tema "Mudanças Climáticas" como eixo transversal no currículo das escolas municipais;

c) criação de Fundo Municipal de Meio Ambiente e Clima, vinculado ao respectivo conselho municipal.

Art. 34. O processo de concessão do Selo obedecerá ao seguinte rito:

I - publicação de edital anual de convocação pelo CEEMC-SE, com prazo de 60 (sessenta) dias para submissão de dossiês pelas prefeituras por meio de plataforma digital;

II - análise técnica dos dossiês pela SEMAC e pela ADEMA, com emissão de parecer fundamentado no prazo de 120 (cento e vinte) dias;

III - em caso de inconsistências, o município receberá Termo de Ajuste Climático, com orientações da assistência técnica estadual para regularização no prazo de 30 (trinta) dias;

IV - deliberação final e concessão do Selo pelo CEEMC-SE;

V - publicação do resultado no Diário Oficial do Estado e na Plataforma "Sergipe Climático".

Art. 35. Os municípios detentores do Selo Nível Ouro terão as seguintes vantagens:

I - maior multiplicador na distribuição da CPEco, conforme ponderação estabelecida no artigo 24, inciso I, desta Lei;

II - prioridade na celebração de convênios de infraestrutura urbana e saneamento com o Estado;

III - acesso prioritário a linhas de crédito do BANESE para projetos de adaptação e mitigação;

IV - reconhecimento público no Ranking Verde e na Plataforma "Sergipe Climático".

CAPÍTULO VII

DA GOVERNANÇA PARTICIPATIVA E DOS INSTRUMENTOS DE CONSULTA POPULAR

Seção I

Disposições Gerais

Art. 36. O Estado de Sergipe reconhece a participação popular como condição indispensável para a legitimidade e a efetividade da Política Estadual de Governança Climática, assegurando canais permanentes de diálogo, escuta ativa e controle social.

Art. 37. São instrumentos formais de consulta e participação popular no âmbito da Política Estadual de Governança Climática:

I - as Conferências Estaduais de Mudanças Climáticas, de realização bienal;

II - o Ciclo de Audiências Públicas Regionalizadas;

III - as Consultas Públicas por meio da Plataforma "Sergipe Climático";

IV - a Ouvidoria de Justiça Climática;

V - os canais digitais de comunicação direta.

Seção II

Das Conferências Estaduais de Mudanças Climáticas

Art. 38. O Estado de Sergipe realizará, a cada dois anos, a Conferência Estadual de Mudanças Climáticas, evento de ampla participação com caráter deliberativo sobre os rumos da política climática estadual.

§ 1º A Conferência reunirá, no mínimo, 300 (trezentos) representantes oriundos da Administração Pública Estadual, gestões municipais, entidades civis, iniciativa privada e meio acadêmico.

§ 2º Serão formulados convites especiais, com antecedência mínima de 45 (quarenta e cinco) dias, para representantes de populações tradicionais, indígenas, quilombolas, marisqueiros e pescadores artesanais, endereçados formalmente às entidades de representação dessas categorias.

§ 3º A Conferência terá entre suas atribuições:

I - diagnosticar coletivamente o avanço do PEAC/SE;

II - validar ajustes às diretrizes em curso;

III - selecionar os representantes da sociedade civil para integrar o CEEMC-SE; e

IV - deliberar sobre prioridades climáticas para o biênio seguinte.

Seção III

Do Ciclo de Audiências Públicas Regionalizadas

Art. 39. Fica instituído o Ciclo de Audiências Públicas Regionalizadas sobre o Plano Estadual de Ações Climáticas, cujo objetivo é garantir a participação efetiva dos cidadãos de todas as regiões do Estado nas decisões sobre a política climática sergipana.

Art. 40. As audiências públicas do Ciclo Regionalizado deverão ser realizadas prioritariamente nos seguintes polos estratégicos: Aracaju, Itabaiana, Propriá, Estância e Glória, vedada a realização de todas as audiências em um único município.

§ 1º Além das audiências presenciais nos polos estratégicos, a SEMAC deverá realizar ao menos uma audiência pública virtual, transmitida ao vivo pela Plataforma "Sergipe Climático", para alcançar cidadãos de municípios distantes dos polos e pessoas impossibilitadas de comparecer presencialmente.

§ 2º O Estado garantirá transporte gratuito para comunidades tradicionais e agricultores familiares residentes em áreas remotas, de modo a assegurar acesso efetivo às audiências presenciais.

§3ºA SEMAC poderá designar a realização das audiências em municípios diversos dos definidos no caput deste artigo, em razão de conveniência e oportunidade.

Art. 41. O procedimento das audiências públicas observará o seguinte:

I - publicação de edital de convocação com antecedência mínima de 30 (trinta) dias, no Diário Oficial do Estado, em meios de comunicação de grande circulação e na Plataforma "Sergipe Climático";

II - disponibilização prévia dos documentos técnicos, minutas e estudos relativos ao tema, com antecedência mínima de 15 (quinze) dias da data da audiência;

III - abertura e condução pela Mesa Diretora, com apresentação técnica pelo representante da SEMAC;

IV - período de manifestação dos inscritos, assegurados tempos equitativos de fala;

V - sessão de respostas e esclarecimentos pelos técnicos e autoridades presentes;

VI - elaboração de ata detalhada, com registro de todas as manifestações e questionamentos, a ser publicada no Diário Oficial do Estado e na Plataforma "Sergipe Climático" no prazo máximo de 15 (quinze) dias após o evento;

VII - divulgação posterior de relatório público que demonstre quais contribuições foram acatadas ou rejeitadas, com justificativa técnica fundamentada em cada caso.

Art. 42. As contribuições registradas nas audiências públicas integrarão o processo administrativo do PEAC/SE e servirão de subsídio obrigatório para o CEEMC-SE na tomada de decisões sobre as diretrizes da política climática estadual.

Parágrafo único. A ausência de manifestação expressa sobre as contribuições recebidas, nos termos do inciso VII do artigo 41, implicará irregularidade formal no processo administrativo de revisão do PEAC/SE.

Seção IV
Das Consultas Públicas Digitais

Art. 43. O Estado de Sergipe promoverá consultas públicas digitais, por meio da Plataforma "Sergipe Climático", sempre que houver proposta de edição, alteração ou revogação de norma ambiental relevante ou de revisão do PEAC/SE.

§ 1º As consultas públicas digitais observarão prazo mínimo de 30 (trinta) dias para recebimento de contribuições.

§ 2º A Plataforma disponibilizará ferramentas de comentário parágrafo a parágrafo dos documentos submetidos à consulta, bem como enquetes temáticas e formulários setoriais de percepção de riscos climáticos locais.

§ 3º Após o encerramento do prazo de cada consulta pública, a SEMAC publicará relatório sistematizando as contribuições recebidas e informando o tratamento dado a cada uma delas.

CAPÍTULO VIII
DA OUVIDORIA DE JUSTIÇA CLIMÁTICA

Art. 44. Fica criada a Ouvidoria de Justiça Climática do Estado de Sergipe, órgão vinculado diretamente à SEMAC, com autonomia técnica e funcional, destinado a garantir o direito de participação e proteção do cidadão hipossuficiente nas decisões ambientais do Estado e a assegurar salvaguarda contra os danos decorrentes das mudanças climáticas, com ênfase especial nas populações vulneráveis.

Art. 45. A Ouvidoria de Justiça Climática tem as seguintes atribuições:

I - receber, registrar, classificar e encaminhar denúncias, reclamações e sugestões dos cidadãos relacionadas a impactos climáticos, racismo ambiental, violações de direitos socioambientais e falhas na prestação de serviços públicos de mitigação ou adaptação;

II - exercer a mediação administrativa de conflitos entre o desenvolvimento econômico e a preservação dos direitos das populações tradicionais e comunidades vulneráveis;

III - publicar relatórios trimestrais de transparência com dados sistematizados das principais manifestações recebidas, os encaminhamentos realizados e o status das recomendações feitas aos órgãos do Estado;

IV - realizar visitas mensais itinerantes às microrregiões do Estado para coletar percepções locais e ouvir diretamente os cidadãos e grupos que não possuem acesso a canais digitais;

V - fornecer à SEMAC e ao CEEMC-SE informações sobre as principais demandas e vulnerabilidades identificadas nas manifestações recebidas, como subsídio para o planejamento de adaptação;

VI - manter convênio de cooperação com a Defensoria Pública do Estado e com o Ministério Público Estadual para encaminhamento de casos de violação de direitos individuais ou coletivos em que a via administrativa se mostre insuficiente.

Art. 46. A Ouvidoria será liderada pelo Ouvidor-Geral de Mudanças Climáticas, cargo de confiança, designado pelo Secretário de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas, com mandato fixo de dois anos, permitida uma recondução.

Parágrafo único. O Ouvidor-Geral terá trânsito institucional livre entre a ADEMA e as secretarias de Infraestrutura, Fazenda e Defesa Civil para cumprimento de suas atribuições,

podendo requisitar informações e documentos de qualquer órgão da Administração Direta e Indireta do Estado.

Art. 47. O atendimento da Ouvidoria de Justiça Climática funcionará de forma ininterrupta, por meio das seguintes camadas:

I - Plataforma digital inteligente: portal web e aplicativo integrado à plataforma "Sergipe climático", com sistema automatizado de triagem e registro de manifestações, disponível 24 (vinte e quatro) horas por dia;

II - Plantão de Resposta Rápida: equipe técnica rotativa em regime de prontidão para casos de desastres climáticos e eventos extremos, integrada ao sistema de monitoramento da Defesa Civil;

III - Canais de Acesso Diversificado: linha telefônica gratuita, aplicativo de mensagens e terminais físicos de atendimento nas unidades dos Centros de Atendimento ao Cidadão – CEACs.

Art. 48. O fluxo de atendimento da Ouvidoria observará os seguintes prazos:

I - recepção e registro da manifestação: imediato, com emissão automática de número de protocolo;

II - triagem e classificação da manifestação: até 24 (vinte e quatro) horas contadas do registro;

III - encaminhamento à área técnica competente com pedido de providências: até 48 (quarenta e oito) horas;

IV - devolutiva fundamentada ao cidadão: até 20 (vinte) dias, prorrogáveis por mais 10 (dez) dias, mediante justificativa.

Art. 49. A Ouvidoria de Justiça Climática atuará por meio de três Núcleos Especializados:

I - Núcleo de Erosão Costeira: atendimento prioritário a moradores de áreas costeiras afetados pelo avanço do mar e pela erosão marinha, como as comunidades da Coroa do Meio e da Barra dos Coqueiros;

II - Núcleo de Resiliência no Semiárido: mediação de conflitos de acesso à água, desertificação e impactos climáticos sobre a produção familiar no Alto Sertão, Médio Sertão e Agreste;

III - Núcleo de Salvaguarda de Comunidades Tradicionais: proteção jurídica e administrativa para extrativistas, indígenas, pescadores, marisqueiros, quilombolas e catadoras de mangaba.

Art. 50. A eficiência da Ouvidoria de Justiça Climática será aferida não pelo número de chamados encerrados, mas pela capacidade de converter as manifestações individuais recebidas em subsídios concretos para políticas públicas de adaptação de alcance coletivo.

Art. 51. A Ouvidoria adotará os seguintes indicadores públicos de desempenho, divulgados trimestralmente na Plataforma "Sergipe Climático":

I - mapa de calor das denúncias por município e por tipologia de dano;

II - Índice de Satisfação do Usuário com o atendimento recebido;

III - status de cada recomendação formulada pela Ouvidoria aos órgãos do Estado, com as categorias "em análise", "implementada" e "indeferida com justificativa".

CAPÍTULO IX
DO APOIO AOS MUNICÍPIOS E DOS PLANOS MUNICIPAIS DE AÇÃO CLIMÁTICA

Seção I
Da Meta de Universalização

Art. 52. O Estado de Sergipe tem como meta que todos os 75 (setenta e cinco) municípios sergipanos possuam estruturas de gestão climática ativas e Planos Municipais de Ação Climática aprovados até o ano de 2030.

Art. 53. Para o alcance da meta prevista no artigo anterior, o Programa Sergipe Resiliente será implementado em três fases:

I - Fase 1 – Fundação e Alinhamento, de 2026 a 2027:

a) diagnóstico das vulnerabilidades climáticas por microrregião;

b) institucionalização de Conselhos Municipais de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas nos municípios que ainda não os possuam;

c) concessão das primeiras edições do Selo de Município Resiliente;

II - Fase 2 – Assistência Técnica e Implementação de Pilotos, de 2027 a 2028:

a) atuação de equipes técnicas itinerantes da SEMAC e da SEPLAG;

b) apoio à elaboração dos inventários municipais de GEE;

c) implementação de projetos-piloto de adaptação nos municípios com maior vulnerabilidade identificada;

III - Fase 3 – Consolidação e Integração, até 2030:

a) auditoria final da meta de universalização;

b) integração formal dos PACs municipais ao PEAC/SE;

c) avaliação dos resultados do ICMS Ecológico e do Programa Sergipe Resiliente.

Seção II
Da Estrutura Mínima dos Planos Municipais de Ação Climática

Art. 54. A SEMAC elaborará e disponibilizará Guia Metodológico para a elaboração dos Planos Municipais de Ação Climática, garantindo estrutura mínima e comparabilidade entre os planos dos 75 (setenta e cinco) municípios.

Art. 55. O conteúdo mínimo de cada Plano Municipal de Ação Climática compreenderá:

I - Inventário Municipal de Emissões de GEE, elaborado com metodologia validada pela SEMAC;

II - Análise de Vulnerabilidade Climática, considerando os riscos específicos da microrregião onde o município está inserido;

III - Ações de Mitigação e Adaptação, com ênfase em Soluções Baseadas na Natureza;

IV - Estrutura de Governança Climática Municipal, com designação formal de responsável técnico pela agenda climática e vinculação ao Conselho Municipal de Meio Ambiente;

V - Metas de curto, médio e longo prazo, com indicadores de desempenho mensuráveis;

VI - Estratégia de financiamento, indicando fontes potenciais de recursos, incluindo o ICMS Ecológico, o Fundo Clima e outras fontes estaduais, federais e internacionais.

Art. 56. Para municípios com população inferior a 23 (vinte e três) mil habitantes, a SEMAC disponibilizará modelo simplificado de Inventário de GEE e de análise de vulnerabilidade, sem prejuízo da cobertura dos temas mínimos exigidos.

Art. 57. Os municípios que integram consórcios públicos intermunicipais poderão elaborar, conjuntamente, PACs Coletivos Regionais, na forma de plano regional articulado de ação climática, desde que cada município participante aprove formalmente o documento por lei ou decreto.

§ 1º Os PACs Coletivos Regionais deverão ser elaborados com base em inventário regional de emissões e análise de vulnerabilidade conjunta, coordenados pelo consórcio respectivo com apoio técnico da SEMAC.

§ 2º Para fins de habilitação ao Selo de Município Resiliente e ao ICMS Ecológico, cada município participante de PAC Coletivo será avaliado individualmente quanto ao cumprimento dos requisitos mínimos.

Seção III
Do Plano de Capacitação Técnica para Gestores Municipais

Art. 58. O Estado de Sergipe, por meio da SEMAC e da SEPLAG, implementará o Plano Estadual de Capacitação Técnica para Gestores e Servidores Municipais em Mudanças Climáticas, com a meta de formar ao menos 300 (trezentos) profissionais até o ano de 2030.

Art. 59. O Plano de Capacitação Técnica abrangerá os seguintes módulos:

I - fundamentos da ciência climática e suas implicações para o território sergipano;

II - metodologia de elaboração de inventários municipais de emissões de GEE;

III - análise de risco e mapeamento de vulnerabilidades climáticas com uso de ferramentas de geoprocessamento;

IV - Soluções Baseadas na Natureza aplicadas ao planejamento urbano e rural;

V - financiamento climático e elaboração de projetos bancáveis para captação de recursos junto ao Fundo Clima, ao BNDES e a fundos internacionais;

VI - institucionalização da pauta climática no organograma municipal e integração ao Plano Diretor;

VII - responsabilidade administrativa e conformidade regulatória em matéria climática.

Art. 60. A capacitação será organizada em três polos regionais de formação – Sertão, Agreste e Litoral – para respeitar as particularidades bioclimáticas e as vulnerabilidades específicas de cada região, adotando modelo pedagógico híbrido com workshops presenciais trimestrais e plataforma virtual de apoio contínuo.

Art. 61. Ao final do programa de capacitação, servidores de carreira certificados como Agentes Climáticos Municipais assumirão a responsabilidade de disseminar o conhecimento adquirido e garantir a continuidade da pauta climática na prefeitura, independentemente dos ciclos eleitorais.

CAPÍTULO X
DOS CONSÓRCIOS PÚBLICOS E DA GOVERNANÇA CLIMÁTICA REGIONALIZADA

Art. 62. O Estado de Sergipe reconhece os consórcios públicos intermunicipais como instrumentos estratégicos de regionalização e descentralização da governança climática, admitindo-lhes atuação em matéria de gestão ambiental e climática mediante as adaptações normativas previstas neste Capítulo.

Art. 63. Para que os consórcios públicos existentes possam atuar em matéria de governança climática, deverão ser realizadas as seguintes adequações:

I - aditamento do protocolo de intenções de cada consórcio para inclusão explícita da gestão de ativos ambientais, da implementação de políticas de mitigação e adaptação climática e da possibilidade de comercialização de créditos de carbono como finalidades da associação pública, na forma do artigo 8º da Lei Federal nº 11.107, de 6 de abril de 2005;

II - ratificação legislativa do aditamento por cada município consorciado, mediante lei aprovada pela respectiva Câmara Municipal;

III - formalização de contratos de rateio com rubricas específicas destinadas ao financiamento das ações climáticas regionais;

IV - adequação aos requisitos de Monitoramento, Relato e Verificação – MRV previstos na Lei Federal nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024, para fins de participação no mercado regulado de carbono.

Art. 64. O Estado prestará apoio técnico e jurídico aos consórcios para o cumprimento das adequações previstas no artigo anterior, por meio dos Escritórios Regionais de Apoio Técnico Ambiental – ERATAs.

Art. 65. Ficam os consórcios públicos habilitados a:

I - elaborar e gerir inventários regionalizados de emissões de GEE, servindo como células de monitoramento do Sistema MRV estadual;

II - centralizar licitações sustentáveis para aquisição compartilhada de tecnologias de monitoramento ambiental;

III - implementar projetos regionais de captura de metano, biogás e reflorestamento elegíveis ao mercado de carbono;

IV - criar corredores ecológicos intermunicipais por meio de viveiros geridos em conjunto;

V - elaborar e submeter, em bloco, projetos de captação de recursos climáticos junto ao Fundo Clima, ao BNDES e a organismos internacionais.

CAPÍTULO XI
DO FINANCIAMENTO CLIMÁTICO

Art. 66. O financiamento das ações previstas nesta Lei far-se-á por meio das seguintes fontes:

I - dotações consignadas anualmente na Lei Orçamentária do Estado de Sergipe;

II - recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente – FERMA;

III - transferências voluntárias do Governo Federal, incluindo recursos do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima – Fundo Clima;

IV - recursos oriundos do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE – SBCE;

V - recursos de organismos internacionais, agências de fomento e fundos climáticos globais, incluindo o Green Climate Fund, o Fundo de Adaptação e o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID;

VI - parcerias público-privadas celebradas para projetos específicos de resiliência climática;

VII - doações e contribuições de pessoas físicas ou jurídicas, nacionais ou estrangeiras.

Art. 67. O Poder Executivo criará, por decreto, no prazo de 180 (cento e oitenta) dias, contados da publicação desta Lei, o Fundo Estadual de Ações Climáticas – FEAC/SE, com a finalidade de centralizar o recebimento, a gestão e a destinação dos recursos financeiros provenientes de fontes nacionais e internacionais vinculados à implementação do PEAC/SE.

Parágrafo único. O FEAC/SE será gerido por um Conselho Deliberativo presidido pela SEMAC, com participação da SEFAZ, do CEEMC-SE e de representantes da sociedade civil, e sua prestação de contas será publicada semestralmente na Plataforma "Sergipe Climático".

Art. 68. A Macrocâmara de Governança, Saúde e Justiça Climática, em parceria com a SEFAZ e o BANESE, promoverá a identificação e a articulação de instrumentos econômicos inovadores de financiamento climático, incluindo títulos verdes, pagamento por serviços ambientais – PSA e mercado voluntário de carbono.

CAPÍTULO XII
DA COOPERAÇÃO INSTITUCIONAL E DAS PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS PARA A RESILIÊNCIA CLIMÁTICA

Art. 69. O Estado de Sergipe promoverá parcerias com as instituições de ensino técnico e de ensino superior, por meio de Acordos de Cooperação Técnica, para:

I - a elaboração de inventários de emissões de GEE e modelagem de cenários de vulnerabilidade climática;

II - a mobilização de pós-graduandos para prestação de apoio técnico às gestões municipais que careçam de quadros especializados;

III - o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras de monitoramento ambiental e de baixo custo aplicáveis à gestão climática municipal;

IV - a formação de quadros técnicos especializados para o Estado e para os municípios.

Art. 70. A ALESE será convidada a criar Frentes Parlamentares de Apoio aos Municípios Climatizados, com o objetivo de conferir respaldo político-legislativo às ações climáticas locais, articular emendas orçamentárias para municípios com bom desempenho no Programa Sergipe Resiliente e propor legislação de incentivo à agenda climática municipal.

Art. 71. O Estado de Sergipe, por meio da SEMAC, promoverá Parcerias Público-Privadas – PPPs para Resiliência Climática, com ênfase em:

I - instalação de usinas de energia solar em prédios públicos municipais;

II - sistemas de mobilidade urbana de baixo carbono;

III - projetos de reflorestamento com fins de sequestro de carbono;

IV - infraestrutura verde e sistemas de drenagem urbana resiliente.

CAPÍTULO XIII
DAS METAS CLIMÁTICAS E DA NEUTRALIDADE DE CARBONO

Art. 72. O Estado de Sergipe estabelece as seguintes metas climáticas de curto, médio e longo prazo:

I - até 2030:

a) 75 (setenta e cinco) municípios com estruturas ativas de gestão climática;

b) conclusão dos inventários de GEE dos 75 (setenta e cinco) municípios;

c) redução de no mínimo 15% (quinze por cento) nas emissões estaduais de GEE em relação ao ano-base de 2020;

II - até 2035:

a) todos os municípios com Planos Municipais de Ação Climática implementados e monitorados;

b) ampliação em 30% (trinta por cento) das áreas de cobertura vegetal protegida no Estado;

c) erradicação total dos lixões no território sergipano;

III - até 2050: alcance da neutralidade climática do Estado de Sergipe.

Art. 73. As metas previstas no artigo anterior serão monitoradas anualmente pelo Sistema MRV e revisadas a cada cinco anos pelo CEEMC-SE, com base nos relatórios do Painel Científico de Assessoramento e nas novas evidências produzidas pelo IPCC.

Art. 74. O CEEMC-SE publicará, anualmente, o Relatório de Progresso da Política Estadual de Governança Climática, contendo:

I - o status de cumprimento de cada meta climática;

II - o desempenho dos órgãos integrantes do GTMC no cumprimento de suas responsabilidades;

III - os resultados do ICMS Ecológico e do Programa Sergipe Resiliente;

IV - a situação das audiências públicas realizadas e das consultas populares concluídas;

V - o desempenho da Ouvidoria de Justiça Climática;

VI - as recomendações para o próximo exercício.

CAPÍTULO XIV
DAS DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 75. O Poder Executivo regulamentará esta Lei, no que couber, no prazo de 180 (cento e oitenta) dias, contados da data de sua publicação.

Art. 76. O Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas criado pelo Estado de Sergipe em 2024 fica integrado à estrutura do CEEMC-SE previsto nesta Lei, devendo seu regimento interno ser adaptado no prazo de 90 (noventa) dias, contados da publicação desta Lei.

Art. 77. O Poder Executivo providenciará, no prazo de 180 (cento e oitenta) dias, contados da publicação desta Lei, o encaminhamento à Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe de projeto de lei específico disciplinando a repartição da Cota-Parte Ecológica do ICMS entre os municípios, na forma do artigo 23 desta Lei.

Art. 78. A Plataforma Digital "Sergipe Climático" deverá estar em pleno funcionamento no prazo de 360 (trezentos e sessenta) dias, contados da publicação desta Lei.

Art. 79. As despesas decorrentes desta Lei correrão por conta das dotações orçamentárias próprias da SEMAC e dos demais órgãos envolvidos, suplementadas quando necessário na forma da legislação orçamentária.

Art. 80. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Aracaju, _____ de _____ de 2026; XXº da Independência e XXº da República.

4.2 ANEXO II – EXPOSIÇÃO DE MOTIVOS

EXPOSIÇÃO DE MOTIVOS

Senhor Presidente da Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe,

1. Submeto à apreciação de Vossa Excelência e dos demais membros desta egrégia Casa Legislativa o presente Projeto de Lei que institui a Política Estadual de Governança Climática do Estado de Sergipe, diploma que representa o mais ambicioso esforço já empreendido pelo Governo do Estado para estruturar, em um único instrumento normativo, a totalidade dos mecanismos institucionais, econômicos e participativos necessários ao enfrentamento da crise climática no território sergipano.

2. A elaboração deste Projeto foi precedida por extenso processo técnico conduzido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – SEMAC, no âmbito do Plano Estadual de Ações Climáticas do Estado de Sergipe – PEAC/SE. O processo incluiu a análise das melhores práticas nacionais e internacionais em governança climática, a consulta a especialistas acadêmicos, a representantes da sociedade civil e a gestores municipais dos 75 (setenta e cinco) municípios sergipanos.

3. O projeto estrutura a governança climática estadual em cinco modelos articulados: a governança vertical, representada pelo papel central da SEMAC; a governança integrada, operacionalizada pelo CEEMC-SE, pelo GTMC e pelas quatro Macrocâmaras Temáticas; a governança participativa, por meio da Ouvidoria de Justiça Climática e dos ciclos de audiências públicas; a governança multiescalar, que integra os municípios por meio do ICMS Ecológico e do Programa Sergipe Resiliente; e a governança transnacional, por meio do Consórcio Nordeste e de parcerias internacionais.

4. O ICMS Ecológico, previsto no Capítulo V do Projeto, é instrumento de especial relevância, pois cria incentivo fiscal direto para que os municípios adotem práticas ambientais superiores, vinculando o repasse de recursos tributários ao desempenho ambiental aferido pelo Índice de Qualidade Ambiental Municipal. O mecanismo tem funcionado com sucesso em diversos estados brasileiros – Paraná, Minas Gerais, Goiás, Ceará, entre outros – tendo se revelado um dos instrumentos mais eficazes de indução de políticas ambientais municipais. Sua adoção em Sergipe é uma demanda histórica dos gestores ambientais e da sociedade civil.

5. O Selo de Município Resiliente, instituído pelo Capítulo VI, é o mecanismo que traduz em reconhecimento institucional o esforço dos gestores municipais pela agenda climática. Inspirado em modelos de certificação ambiental de alta performance, o Selo cria uma trilha progressiva de três níveis – Bronze, Prata e Ouro – que permite que municípios de todos os portes participem da agenda, avançando gradualmente conforme suas capacidades técnicas e financeiras.

6. A Ouvidoria de Justiça Climática, prevista no Capítulo VIII, inova ao criar um canal especializado de segunda instância para conflitos decorrentes de impactos climáticos e racismo ambiental, com foco específico na proteção das comunidades tradicionais de Sergipe – quilombolas, marisqueiras, pescadores artesanais e catadoras de mangaba. Seu desenho operacional, com funcionamento ininterrupto e núcleos especializados, a distingue das ouvidorias convencionais ao adotar uma postura ativa de identificação de injustiças socioambientais.

7. A instituição da Análise de Impacto Regulatório Ambiental – AIR-A, no Capítulo III, preenche lacuna normativa relevante, ao condicionar a criação de novos atos normativos ambientais à produção de evidências técnicas sobre seus efeitos. O instrumento, inspirado na Lei Federal nº 13.874, de 2019, e no Decreto Federal nº 10.411, de 2020, é adaptado à competência legislativa concorrente dos Estados em matéria ambiental, prevista no artigo 24, inciso VI, da Constituição Federal.

8. Por fim, a meta de neutralidade climática do Estado até 2050 e o conjunto de metas intermediárias para 2030 e 2035, previstos no Capítulo XIII, inserem Sergipe de forma definitiva na agenda global de descarbonização, posicionando o Estado como referência no Nordeste brasileiro em governança climática e abrindo portas para a captação de recursos internacionais de financiamento verde.

Estas são, em suma, as razões que nos levam a submeter o presente Projeto de Lei à consideração desta Assembleia Legislativa, confiantes em sua aprovação.

Aracaju (SE), _____ de _____ de 2026.

GOVERNADOR DO ESTADO DE SERGIPE

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Relatório técnico contendo a análise da compatibilidade do modelo de governança climática proposto com as políticas nacionais e acordos internacionais vigentes, incluindo recomendações de alinhamento institucional e normativo

Produto 4.5

São Paulo, maio/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 4

2 OBJETIVOS 4

3 PREMISSAS CONCEITUAIS 5

3.1 GLOSSÁRIO DE CONCEITOS ESSENCIAIS 5

4 METODOLOGIA 7

5 ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE LEGISLATIVA 8

5.1 ACORDO DE PARIS E CONVENÇÕES INTERNACIONAIS 8

5.1.1 ACORDO DE PARIS E A NDC BRASILEIRA 8

5.1.2 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) 10

5.2 CONSTITUIÇÃO FEDERAL E A POLÍTICA NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA 10

5.2.1 PRINCÍPIOS DE PARTICIPAÇÃO SOCIAL E JUSTIÇA CLIMÁTICA 12

5.3 LEGISLAÇÃO FEDERAL 13

5.3.1 CONSÓRCIOS PÚBLICOS E A DESCENTRALIZAÇÃO 13

5.3.2 LEI DO MERCADO DE CARBONO (LEI Nº 15.042/2024) 14

5.4 PLANO CLIMA 2024-2035 15

5.4.1 ALINHAMENTO COM A ARQUITETURA DO PLANO CLIMA 15

5.4.2 ADERÊNCIA AOS PLANOS SETORIAIS DO PLANO CLIMA 16

5.5 LEGISLAÇÃO ESTADUAL 17

5.5.1 PLANO SERGIPANO DE ECONOMIA VERDE (PSEV) 17

5.5.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL ESTADUAL 18

6 COMPATIBILIDADE COM OS REQUISITOS DE MRV E TRANSPARÊNCIA ..19

7 ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO AMBIENTAL 20

7.1 CONCEITO E FUNDAMENTOS 20

7.2 MARCO LEGAL FEDERAL E SUA EXTENSÃO AOS ESTADOS 21

7.3 SERGIPE E A VIABILIDADE CONCRETA DA AIR AMBIENTAL 22

7.4 JURISPRUDÊNCIA APLICÁVEL 23

8 ICMS ECOLÓGICO: FUNDAMENTO CONSTITUCIONAL, MODELOS ESTADUAIS E VIABILIDADE EM SERGIPE 23

8.1 O ICMS E SUA FUNÇÃO REDISTRIBUTIVA: BASE CONSTITUCIONAL 23

8.2 EXPERIÊNCIAS ESTADUAIS CONSOLIDADAS 24

8.3 FUNDAMENTO DOUTRINÁRIO DO ICMS ECOLÓGICO 24

8.4 VIABILIDADE EM SERGIPE: ANÁLISE CONSTITUCIONAL E LEGISLATIVA 25

8.5 JURISPRUDÊNCIA SOBRE CRITÉRIOS DE DISTRIBUIÇÃO DO ICMS 26

9 CONVERGÊNCIAS ENTRE AIR AMBIENTAL E ICMS ECOLÓGICO NO CONTEXTO DA GOVERNANÇA CLIMÁTICA 27

10 LACUNAS IDENTIFICADAS E OPORTUNIDADES DE APRIMORAMENTO28

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE DA COMPATIBILIDADE 29

12 REFERÊNCIAS NORMATIVAS E PROGRAMÁTICAS.....32

1 APRESENTAÇÃO

O presente Relatório tem por finalidade verificar a compatibilidade do Modelo de Governança Climática proposto no Produto 4.3 com o conjunto de políticas ambientais nacionais, instrumentos estaduais vigentes e compromissos internacionais assumidos pelo Brasil.

Salienta-se que o modelo de governança analisado se estrutura em cinco grandes eixos: governança vertical (*top-down*), governança integrada ou multissetorial, governança em rede ou participativa, governança multinível ou multiescalar, e governança policêntrica ou transnacional. Cada um desses eixos apresenta mecanismos, instâncias deliberativas, instrumentos técnicos e ferramentas participativas que se articulam para constituir um sistema integrado de gestão climática estadual, alinhado à meta de neutralidade de carbono até 2050.

Dessa forma, este Relatório é apresentado em cumprimento às obrigações da FIA com o Estado de Sergipe, e busca apoiar a consecução do Plano Estadual de Ações Climáticas de Sergipe (PEAC/SE).

2 OBJETIVOS

Em consonância com as disposições do Termo de Referência, as análises realizadas no âmbito deste Produto têm por objetivo principal promover a adequação normativa do plano de governança climática e implementação da adaptação local às mudanças do clima. Para fiel cumprimento desse objetivo geral, são necessários:

- Analisar a compatibilidade com as normas nacionais e internacionais a partir da Constituição Federal;
- Estabelecer um paralelo entre as normas federais e estaduais acerca da governança climática;
- Definir níveis de congruência vertical na implementação das políticas necessárias para redução de gases que causam efeito estufa;
- Apontar os fundamentos que embasam a implantação do ICMS ecológico e da Análise de Impacto Regulatório Ambiental;
- Instituir um elo normativo entre o PEAC/SE e a política nacional de mudanças climáticas.

Busca-se, portanto, oferecer análise técnico-jurídica acerca da compatibilidade normativa da implementação, no Estado de Sergipe, de dois instrumentos essenciais à construção de uma política pública de governança climática robusta.

3 PREMISSAS CONCEITUAIS

O trabalho parte da premissa de que os mecanismos necessários para implementação da governança não apenas se revelam juridicamente possíveis à luz do ordenamento constitucional e infraconstitucional brasileiro, mas também se mostram imprescindíveis para que Sergipe avance em direção a um modelo de desenvolvimento que leve a sério os compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris e das Metas Nacionais Determinadas (NDCs).

A urgência do debate não é retórica. Sergipe é o menor estado da federação em extensão territorial e possui características socioambientais singulares, incluindo a presença marcante do bioma Caatinga, a vulnerabilidade costeira do litoral sergipano e a dependência de recursos hídricos compartilhados, especialmente do Rio São Francisco. Esse quadro exige instrumentos de planejamento regulatório que incorporem, desde a fase de concepção das políticas públicas, a dimensão climática e ambiental. É exatamente nesse ponto que as políticas de governança desempenham papel central.

A análise se estrutura a partir de três eixos: legislação (federal, estadual e constitucional); jurisprudência, especialmente as oriundas dos Tribunais Superiores; e doutrina especializada. As conclusões são direcionadas ao fortalecimento da capacidade institucional do Estado de Sergipe para agir de forma preventiva e estratégica diante dos desafios impostos pela crise climática global.

3.1 GLOSSÁRIO DE CONCEITOS ESSENCIAIS

Para facilitar a leitura das seções subsequentes deste Relatório, apresenta-se a seguir um glossário sintético dos conceitos essenciais que estruturam a análise de compatibilidade do Modelo de Governança Climática proposto para Sergipe. As definições têm finalidade pedagógica e visam fornecer ao leitor não especializado o vocabulário básico necessário para acompanhar as discussões técnicas que se seguem.

Governança climática multinível: modelo de organização institucional pelo qual as decisões e ações de enfrentamento da crise climática são distribuídas e coordenadas entre os diferentes níveis de poder — internacional, nacional, estadual e municipal — e entre atores estatais e não estatais (sociedade civil, setor privado, comunidade científica). A governança multinível pressupõe articulação vertical (entre

entes federativos) e horizontal (entre setores e atores), de modo a evitar duplicações, otimizar recursos e assegurar coerência na execução das políticas climáticas.

Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC): compromisso voluntário assumido por cada país signatário do Acordo de Paris (2015) quanto à redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e às ações de adaptação à mudança do clima. As NDCs são revistas a cada cinco anos, em ciclos progressivos, e funcionam como o principal instrumento de quantificação dos esforços nacionais frente à meta global de limitar o aquecimento a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV): conjunto de procedimentos técnicos e institucionais para medir, documentar e validar dados sobre emissões de GEE, ações de mitigação, adaptação e financiamento climático. O MRV é exigido pelo Quadro de Transparência Reforçado (ETF) do Acordo de Paris e funciona como o núcleo técnico de qualquer plano de governança climática, garantindo que os compromissos assumidos sejam verificáveis e comparáveis no tempo.

Análise de Impacto Regulatório (AIR) Ambiental: procedimento metodológico pelo qual o Poder Público avalia, de forma sistemática e fundamentada, as consequências prováveis de uma intervenção regulatória antes de sua adoção, incorporando variáveis ecológicas, climáticas e socioeconômicas. Aplicada à matéria ambiental, a AIR exige que cada nova norma ou política seja precedida de exame dos impactos ambientais esperados, das alternativas regulatórias e dos mecanismos de participação social, em consonância com o princípio da prevenção.

ICMS Ecológico: instrumento de extrafiscalidade ambiental pelo qual a lei estadual incorpora critérios ambientais (área protegida por unidades de conservação, qualidade do saneamento, proteção de mananciais, cobertura vegetal nativa, entre outros) à fórmula de repartição da cota-parte municipal do ICMS prevista no art. 158, parágrafo único, II, da Constituição Federal. Não cria tributo novo: redistribui receita já existente segundo parâmetros que premiam municípios com melhor desempenho ambiental.

Mercado regulado de carbono: sistema instituído por lei pelo qual emissores de GEE são obrigados a comprovar a compensação de suas emissões por meio de aquisição de créditos certificados, observado um teto agregado (cap) e um mecanismo de comércio (trade). No Brasil, o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), criado pela Lei nº 15.042/2024, institui o mercado regulado nacional, distinto dos mercados voluntários de carbono.

Governança multinível: é um conceito que descreve a interação entre diferentes níveis de governo e instituições na elaboração, implementação e avaliação de políticas públicas. Este modelo rompe com a visão tradicional de uma estrutura hierárquica única, permitindo uma distribuição de competências entre níveis vertical e horizontalmente articulados. Marks, Hooghe e Blank (1996)

Governança vertical: também denominada abordagem top-down, é um modelo de tomada de decisão e implementação de políticas públicas onde as decisões são centralizadas em níveis superiores da hierarquia administrativa e posteriormente transmitidas para níveis inferiores. Nesse modelo, há uma clara cadeia de comando e controle, com fluxos de autoridade unidirecionais. Howlett (1991).

Governança integrada: A governança integrada representa uma abordagem que busca articular e coordenar as ações de múltiplos atores, setores e níveis de governo em torno de objetivos comuns, estabelecendo mecanismos de colaboração e sinergia. Este modelo pressupõe que problemas públicos contemporâneos demandam respostas sistêmicas e coordenadas.

Governança participativa: A governança participativa é um modelo que incorpora atores sociais, cidadãos e organizações da sociedade civil nos processos de tomada de decisão, formulação e implementação de políticas públicas. Este modelo fundamenta-se em princípios democráticos de legitimidade, transparência e responsabilidade, reconhecendo que a qualidade das decisões é potencialmente melhorada pela diversidade de perspectivas.

Justiça climática: perspectiva que reconhece a distribuição desigual dos impactos da mudança climática entre grupos sociais — em especial populações historicamente vulnerabilizadas, como comunidades quilombolas, pescadores artesanais, agricultores familiares e povos indígenas — e que orienta o desenho das políticas públicas para que a transição ecológica não reproduza nem agrave essas desigualdades. Sob essa perspectiva, mitigação e adaptação devem caminhar lado a lado com mecanismos de participação social e reparação histórica.

4 METODOLOGIA

A análise parte da leitura integral do documento técnico elaborado pela Fundação Instituto de Administração (FIA) para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), e examina, ponto a ponto, a aderência da arquitetura institucional proposta a um conjunto robusto de marcos normativos e programáticos.

Dessa forma, foi realizada uma análise sistematizada da legislação aplicável, buscando avaliar os dados normativos de maior relevância e submeter o Plano de Governança Climática a uma análise comparativa desta legislação.

As principais referências normativas utilizadas nesta análise incluem:

- Constituição Federal de 1988, especialmente seus artigos 23, 24 e 225;
- Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009;
- Plano Clima 2025-2035, aprovado pelo Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), em dezembro de 2025;
- Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira submetida à UNFCCC, em novembro de 2024;
- Acordo de Paris, ratificado pelo Brasil em 2016;
- Lei Estadual de Sergipe nº 9.364, de 05 de janeiro de 2024, que estabelece a Política Estadual do Meio Ambiente;
- Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), instituído pelo Decreto Estadual nº 1.016, de 7 de fevereiro de 2025;
- Lei dos Consórcios Públicos (Lei Federal nº 11.107, de 06 de abril de 2005);
- Lei Complementar Federal nº 140, de 08 de dezembro de 2011; e
- Lei do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) (Lei Federal nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024).

5 ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE LEGISLATIVA

5.1 ACORDO DE PARIS E CONVENÇÕES INTERNACIONAIS

5.1.1 ACORDO DE PARIS E A NDC BRASILEIRA

O Acordo de Paris, adotado em dezembro de 2015 e ratificado pelo Brasil em 2016, é o principal instrumento do direito internacional do clima. Seu objetivo central é limitar o aquecimento global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, por meio de ciclos quinquenais de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) progressivamente mais ambiciosas. O Modelo de Governança do PEAC/SE faz referência explícita ao Acordo de Paris como parâmetro norteador, afirmando que o CEEMC-SE é responsável

por garantir que as diretrizes do Acordo de Paris e da NDC brasileira sejam cumpridas no território estadual.

O princípio da transparência é um dos pilares do Acordo de Paris, materializado no Quadro de Transparência Reforçado (*Enhanced Transparency Framework* — ETF). O sistema MRV proposto no PEAC/SE é estruturalmente compatível com esse princípio, ao estabelecer inventários bienais de emissões de GEE, revisões anuais e quinquenais do sistema MRV, auditorias externas e uma Plataforma de Transparência Climática de acesso público. Esses mecanismos garantem que as emissões e ações climáticas de Sergipe sejam mensuráveis, reportáveis e verificáveis, em conformidade com os requisitos do Quadro de Transparência do Acordo de Paris.

A NDC brasileira de novembro de 2024 adota uma abordagem de ambição progressiva, com metas absolutas de emissões líquidas para 2025, 2030 e 2035, e o compromisso de neutralidade climática até 2050. O PEAC/SE está alinhado a essa progressividade ao estabelecer metas de curto, médio e longo prazo para Sergipe, integradas ao calendário da NDC nacional. A proposta de revisão quinquenal do sistema MRV é especialmente relevante, pois coincide com os ciclos quinquenais de atualização das NDCs, previstos no Acordo de Paris.

O princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas (CBDR, na sigla em inglês), que fundamenta o Acordo de Paris, encontra reflexo no PEAC/SE por meio da abordagem diferenciada para municípios de diferentes portes e capacidades. A criação de modelos de PAC coletivo para municípios de pequeno porte, a disponibilização de *templates* padronizados pela SEMAC e o apoio de escritórios regionais financiados pelo ICMS Ecológico garantem que, mesmo os municípios com menor capacidade técnica e financeira, possam cumprir suas obrigações climáticas, respeitando as diferenças de ponto de partida.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), da qual o Brasil é signatário desde 1992, estabelece obrigações de comunicação nacional, incluindo inventários de emissões e planos de resposta. O sistema de inventários bienais proposto no PEAC/SE está em consonância com essas obrigações, ao garantir que Sergipe contribua com dados territorializados para as Comunicações Nacionais do Brasil à UNFCCC. A metodologia de elaboração dos inventários, baseada em diretrizes do IPCC e em protocolos internacionais reconhecidos, assegura a comparabilidade e a credibilidade dos dados produzidos.

5.1.2 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

A Agenda 2030 da ONU, com seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), constitui outro importante marco de referência internacional ao qual o PEAC/SE demonstra compatibilidade. O PSEV, ao qual o PEAC/SE está articulado, vincula explicitamente seus eixos aos ODS, conforme a Lei Estadual nº 9.919, de 2026. O Modelo de Governança proposto converge especialmente com o ODS 13 (Ação Climática), o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), o ODS 15 (Vida Terrestre), o ODS 14 (Vida na Água) e o ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação).

A Câmara Temática de Zonas Costeiras, dedicada à proteção de manguezais, ao combate à erosão marinha e à segurança da pesca artesanal, está diretamente alinhada ao ODS 14. O Núcleo de Erosão Costeira da Ouvidoria de Justiça Climática e as ações de capacitação de gestores municipais na região litorânea complementam essa dimensão. A CT de Recursos Hídricos e o módulo de segurança hídrica do plano de capacitação municipal convergem com o ODS 6, enquanto as ações de reflorestamento e criação de consórcios para gestão de matas ciliares se alinham ao ODS 15.

O ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação) é particularmente relevante para a dimensão policêntrica e transnacional do PEAC/SE. A participação de Sergipe no Consórcio Nordeste, a articulação com a FAPITEC, INPE, INMET e EMBRAPA, e a prospecção de parcerias com o BNDES, o Fundo Clima e organismos de financiamento internacional, como o BID e o Banco Mundial, são evidências concretas do compromisso com as metas de parceria da Agenda 2030. A assinatura de um protocolo de intenções com o BNDES para R$ 50 milhões em restauração ecológica, anunciada na COP30, demonstra a tradução operacional dessas parcerias.

5.2 CONSTITUIÇÃO FEDERAL E A POLÍTICA NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA

O ponto de partida mais relevante para a análise de compatibilidade constitucional é o artigo 225 da Constituição Federal de 1988, que consagra o direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado como bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. O Modelo de Governança do PEAC/SE materializa esse mandamento constitucional ao estabelecer um sistema integrado de monitoramento, adaptação e mitigação que busca, explicitamente, a

proteção dos ativos naturais sergipanos e a segurança da população frente aos riscos climáticos.

O artigo 23, inciso VI, da Constituição Federal estabelece a competência comum entre União, Estados, Distrito Federal e Municípios para proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas. O PEAC/SE incorpora essa diretriz ao propor um sistema de governança multinível que articula o Estado de Sergipe com os seus 75 (setenta e cinco) municípios, por meio de suporte técnico, capacitação, incentivos via ICMS Ecológico e assistência jurídica.

A proposta de institucionalizar Planos Municipais de Ações Climáticas (PACs) e criar o Selo Sergipe Resiliente está em perfeita consonância com a repartição de competências constitucionais em matéria ambiental.

O artigo 24, inciso VI, da Constituição, que atribui competência legislativa concorrente à União e aos Estados para legislar sobre proteção ao meio ambiente e controle da poluição, ampara diretamente a proposta de criação de lei estadual para instituir a Análise de Impacto Regulatório Ambiental (AIR-A). O documento reconhece que, embora a Lei Federal nº 13.874, de 2019 e o Decreto nº 10.411, de 2020 tenham disciplinado a matéria no âmbito federal, a autonomia federativa exige que o Estado de Sergipe edite norma própria para vincular suas agências e secretarias ao rito da análise prévia de impacto. Essa interpretação está em total alinhamento com a jurisprudência do Supremo Tribunal Federal sobre o exercício da competência legislativa concorrente pelos Estados.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima, estabelecida pela Lei Federal nº 12.187, de 2009, constitui o principal marco normativo nacional de referência para o PEAC/SE. A PNMC definiu os instrumentos da política climática nacional, entre os quais se incluem o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e os mecanismos de Medição, Reporte e Verificação (MRV). O modelo de governança proposto demonstra aderência explícita a todos esses instrumentos, especialmente ao sistema MRV, que constitui o núcleo técnico do PEAC/SE.

A PNMC estabelece como objetivo central a compatibilização do desenvolvimento econômico e social com a proteção do sistema climático global. O PEAC/SE operacionaliza esse objetivo por meio da governança multissetorial, que integra secretarias de planejamento, fazenda, agricultura, infraestrutura e saúde à agenda climática, tratando a mudança do clima como um desafio transversal ao desenvolvimento,

e não apenas como uma questão ambiental restrita. Essa abordagem é um reflexo direto das diretrizes do Plano Clima 2024–2035, que estrutura a política climática brasileira em torno de dois eixos complementares: adaptação e mitigação.

5.2.1 PRINCÍPIOS DE PARTICIPAÇÃO SOCIAL E JUSTIÇA CLIMÁTICA

A participação social é um princípio constitucional consagrado no artigo 225 da Constituição Federal e na PNMC, que exige a transparência e o envolvimento da sociedade na formulação e implementação das políticas climáticas. O PEAC/SE vai além das exigências mínimas ao propor um sistema robusto de participação, que inclui Conferências Estaduais de Mudanças Climáticas bienais, ciclos de audiências públicas regionalizadas nos cinco territórios de planejamento, a plataforma digital 'Sergipe Climático' com funcionalidades de orçamento participativo climático, consultas públicas online e canais de comunicação direta, a exemplo do WhatsApp e SMS.

A inclusão explícita de comunidades tradicionais (indígenas, quilombolas, marisqueiros, pescadores artesanais, catadoras de mangaba) como stakeholders prioritários da governança climática sergipana é um diferencial significativo em relação ao mínimo exigido pela legislação. Essa abordagem está em consonância com a Convenção nº 169 da OIT sobre Povos Indígenas e Tribais, ratificada pelo Brasil, que estabelece o direito à consulta prévia, livre e informada dessas comunidades sobre decisões que afetem seus territórios e meios de vida. A Ouvidoria de Justiça Climática, com seu Núcleo de Salvaguarda de Comunidades Tradicionais, institucionaliza esse compromisso.

O conceito de justiça climática incorporado no PEAC/SE, que reconhece que determinadas comunidades sofrem de forma desproporcional os efeitos da degradação ambiental, é coerente com as Estratégias Transversais do Plano Clima 2024–2035 e com os princípios do Acordo de Paris, que reconhece as necessidades especiais dos países e comunidades mais vulneráveis. A Câmara Temática de Justiça Climática, coordenada pela SEMAC e pela sociedade civil, é um mecanismo inédito no Brasil que pode servir de modelo para outros estados e que fortalece a governança climática sergipana como referência nacional.

A cooperação estratégica entre a Ouvidoria de Justiça Climática e a Defensoria Pública e o Ministério Público de Sergipe é uma medida de garantia de acesso à justiça para populações hipossuficientes, em consonância com o artigo 5º, inciso LXXIV, da Constituição Federal. Ao estabelecer um convênio para encaminhar casos de violação de direitos individuais diretamente para a Defensoria Pública ou o Ministério Público

quando a via administrativa falhar, o PEAC/SE cria um mecanismo de exigibilidade dos direitos climáticos que complementa a governança administrativa com instrumentos judiciais de proteção.

A Análise de Impacto Regulatório Ambiental (AIR-A), proposta como instrumento de racionalidade regulatória, é compatível com o princípio da participação social na medida em que exige a consulta a especialistas e a múltiplos atores antes da edição de atos normativos ambientais. A AIR-A é um mecanismo de prevenção ao retrocesso ambiental, pois vincula a criação de novas normas à demonstração de sua necessidade, proporcionalidade e eficácia — proteção jurídica relevante em contextos de pressão política contrária às políticas climáticas.

5.3 LEGISLAÇÃO FEDERAL

5.3.1 CONSÓRCIOS PÚBLICOS E A DESCENTRALIZAÇÃO

A Lei Federal nº 11.107, de 2005 (Lei dos Consórcios Públicos) é um dos pilares jurídicos do modelo de governança multiescalar proposto no PEAC/SE. O documento demonstra familiaridade com esse marco normativo ao detalhar os requisitos de alteração e ratificação dos protocolos de intenção dos consórcios existentes (CONSCENSUL, CONIVALES, CONSBAJU, CONBASF e CPAC) para incluir competências climáticas, bem como ao abordar a necessidade de contratos de rateio e contratos de programa para o financiamento das ações climáticas regionais.

A proposta de institucionalização de um Comitê Intermunicipal de Ação Climática, pautado na Lei dos Consórcios Públicos, é uma inovação institucional relevante que amplia o escopo dos consórcios existentes além de suas finalidades originais em saúde e saneamento. O PEAC/SE está correto ao identificar que essa ampliação requer alterações estatutárias formais, incluindo o aditamento dos protocolos de intenções e a ratificação legislativa por cada município consorciado. Esse cuidado jurídico demonstra maturidade técnica e garante a validade dos atos praticados pelos consórcios na nova seara climática.

O Marco Legal do Saneamento (Lei Federal nº 14.026, de 2020) é outra referência normativa importante que o PEAC/SE mobiliza na discussão dos consórcios intermunicipais. O documento propõe que o CONSCENSUL e o CONBASF sejam reorientados para o cumprimento das metas do Marco Legal do Saneamento, com foco na valoração econômica dos resíduos e na transformação de aterros em polos de captura de metano e biogás. Essa articulação entre saneamento e mercado de carbono é um

exemplo concreto de como a governança climática pode criar sinergias com políticas setoriais já em vigor, potencializando os resultados de ambas.

O Novo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651, de 2012) é mencionado no PEAC/SE como referência para a capacitação técnica de gestores municipais via consórcios, com foco na proteção de matas ciliares, áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais. A convergência entre a aplicação do Código Florestal e as metas de mitigação climática do PEAC/SE é evidente, uma vez que a conservação e restauração de vegetação nativa são os principais sumidouros de carbono previstos na NDC brasileira. A capacitação de gestores para aplicar o Código Florestal à luz das metas climáticas é, portanto, um elemento de coerência sistêmica da governança proposta.

5.3.2 LEI DO MERCADO DE CARBONO (LEI Nº 15.042/2024)

A Lei Federal nº 15.042, de 2024, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), representa um marco transformador para a política climática nacional e cria oportunidades e obrigações para os governos subnacionais. O PEAC/SE antecipa os impactos dessa lei ao detalhar as adequações necessárias para que os consórcios intermunicipais sergipanos possam operar ativos no mercado de carbono regulado, incluindo o cadastro no órgão gestor do SBCE e a conformidade com os critérios de MRV estabelecidos pela nova legislação.

A proposta de inserção de Sergipe no mercado de carbono está alinhada tanto com o SBCE quanto com o PSEV, que incentiva o mercado de carbono priorizando créditos de alta integridade social e ambiental. O PEAC/SE detalha, especificamente, que projetos de captura de metano gerenciados pelo CONSCENSUL e CONBASF, bem como projetos de reflorestamento, devem ser registrados conforme as normas do SBCE para garantir a fungibilidade e validade dos créditos no mercado regulado. Essa abordagem demonstra visão estratégica e antecipação regulatória, posicionando Sergipe favoravelmente na nova economia climática nacional.

A transparência e integridade do sistema MRV são requisitos centrais tanto do SBCE quanto do Acordo de Paris, e o PEAC/SE responde a essas demandas ao estruturar um sistema de monitoramento robusto, auditado externamente e conectado a uma plataforma pública de transparência. A exigência de que os consórcios se adequem técnica e administrativamente para cumprir os critérios de adição e permanência estabelecidos pelo SBCE é uma medida de conformidade regulatória que fortalece a credibilidade dos créditos de carbono sergipanos no mercado nacional e internacional.

5.4 PLANO CLIMA 2024-2035

5.4.1 ALINHAMENTO COM A ARQUITETURA DO PLANO CLIMA

O Plano Clima 2024–2035, aprovado pelo Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), em dezembro de 2025, é o principal instrumento da política climática nacional até o horizonte de 2035, fundamentado na PNMC e na Constituição Federal. Estruturado em três eixos (Adaptação, Mitigação e Estratégias Transversais), o Plano Clima traça o caminho para que o Brasil cumpra os compromissos da sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), que prevê a redução de 59% a 67% das emissões líquidas de GEE até 2035 em relação a 2005 e a neutralidade climática até 2050. O PEAC/SE se alinha a essa arquitetura de forma estrutural e deliberada.

A NDC brasileira de 2024 estabelece metas absolutas de emissões líquidas de GEE para os anos de 2025 (1,32 Gt CO2e), 2030 (1,2 Gt CO2e) e 2035 (entre 0,85 e 1,05 Gt CO2e). O PEAC/SE responde a essa escalada de metas ao propor um sistema de inventários bienais de emissões de GEE e um Sistema MRV robusto que alimentará os relatórios nacionais com dados territorializados. A proposta de elaboração de inventários regionalizados, articulados pelos consórcios intermunicipais, é relevante para garantir a qualidade dos dados que Sergipe contribuirá para o inventário nacional.

O Plano Clima prevê a integração de governos subnacionais na implementação das metas nacionais, reconhecendo que a descentralização é indispensável para a efetividade das políticas climáticas. O PEAC/SE representa exatamente essa dimensão subnacional, constituindo o instrumento pelo qual o Estado de Sergipe traduz as metas globais e nacionais para a escala territorial sergipana. A criação do Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas (CEEMC-SE) e do Grupo Técnico de Mudanças Climáticas (GTMC), com participação de 18 instituições estaduais, demonstra a institucionalização da agenda climática no nível subnacional, em perfeita consonância com o espírito descentralizador do Plano Clima federal.

O eixo de Estratégias Transversais do Plano Clima inclui dimensões de justiça climática, financiamento climático e participação social — temas que o PEAC/SE incorpora de maneira explícita e detalhada. A criação da Ouvidoria de Justiça Climática, com núcleos especializados em erosão costeira, resiliência no semiárido e salvaguarda de comunidades tradicionais, é um mecanismo pioneiro que vai além das exigências do Plano Clima federal, posicionando Sergipe como referência nacional em governança climática inclusiva. Da mesma forma, as Câmaras Temáticas, particularmente a CT de

Justiça Climática, coordenada pela SEMAC e pela sociedade civil, incorporam essa dimensão transversal à estrutura de governança.

O Plano Clima federal foi elaborado com amplo processo participativo, que reuniu mais de 24 mil pessoas e milhares de contribuições por meio de plenárias territoriais, da 5ª Conferência Nacional do Meio Ambiente e de consultas públicas. O PEAC/SE replica esse modelo participativo na escala estadual, por meio do Ciclo de Audiências Públicas Regionalizadas nos cinco territórios de planejamento, da plataforma digital 'Sergipe Climático', dos canais de comunicação direta via WhatsApp e SMS, e da Ouvidoria de Justiça Climática. Essa replicação fortalece a legitimidade democrática do Plano Estadual e garante que as contribuições da sociedade sergipana sejam incorporadas às revisões periódicas do sistema de governança.

5.4.2 ADERÊNCIA AOS PLANOS SETORIAIS DO PLANO CLIMA

O Plano Clima 2024–2035 estrutura suas estratégias de mitigação em oito planos setoriais, abrangendo áreas como energia, agricultura, transportes, indústria, resíduos e uso da terra. O PEAC/SE, por sua vez, organiza a governança climática em torno de nove Câmaras Temáticas, que cobrem setores diretamente equivalentes: Agropecuária e Uso da Terra (SEAGRI), Energia e Transporte (SEDETEC), Recursos Hídricos (SEMAC), Resíduos e Economia Circular (SEMAC/ADEMA), Adaptação Urbana (SEDURBI), Saúde e Clima (SES), Zonas Costeiras (SEMAC), Financiamento Climático (SEFAZ) e Justiça Climática. Essa correspondência direta entre as câmaras sergipanas e os planos setoriais federais garante que as ações estaduais sejam complementares e aditivas às metas nacionais.

O Plano Clima federal inclui, na área de adaptação, 16 planos setoriais e temáticos que abrangem, entre outros, recursos hídricos, saúde, cidades, oceano e zona costeira, e redução e gestão de riscos e desastres. O PEAC/SE demonstra aderência específica a essas prioridades ao dedicar câmaras temáticas e módulos de capacitação à gestão de recursos hídricos no semiárido, à erosão costeira na Grande Aracaju, à adaptação urbana e à integração da Defesa Civil nos consórcios intermunicipais. O treinamento de gestores municipais em análise de risco e mapeamento de vulnerabilidades, utilizando ferramentas de geoprocessamento e o portal SERHidro, é compatível com as metodologias recomendadas pelo Plano Clima federal para a adaptação das cidades.

A participação de Sergipe na Semana do Clima de Nova Iorque, em setembro de 2025, e na COP30, em Belém, apresentando o Plano Sergipano de Economia Verde e o

PEAC/SE como instrumentos articulados, demonstra que o Estado não apenas se alinha ao Plano Clima federal, mas ambiciona posicionar-se como referência subnacional na implementação das metas nacionais de clima. Esse protagonismo, respaldado por estruturas de governança sólidas como as propostas no Produto 4.3, fortalece a credibilidade de Sergipe perante financiadores internacionais e organismos multilaterais.

5.5 LEGISLAÇÃO ESTADUAL

5.5.1 PLANO SERGIPANO DE ECONOMIA VERDE (PSEV)

O Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), instituído pelo Decreto Estadual nº 1.016, de 7 de fevereiro de 2025, é o principal instrumento de política econômica sustentável de Sergipe, promovendo investimentos em bioeconomia, transição energética, economia circular, infraestrutura verde e mercado de carbono. O PEAC/SE e o PSEV são instrumentos complementares que compartilham objetivos estratégicos comuns e se articulam dentro do mesmo ecossistema de governança estadual, coordenado pela SEMAC, pela SEPLAN e pela Desenvolve-SE.

O PSEV foi elaborado com uma instância de governança integrada que reúne secretarias estaduais, órgãos públicos, setor privado, academia e sociedade civil, sendo muito semelhante à que o PEAC/SE propõe para o CEEMC-SE. Essa complementaridade institucional é um ponto forte de compatibilidade, pois evita a duplicação de esforços e garante que as instâncias decisórias de ambos os planos dialoguem de forma coerente. A perspectiva é que, até o final de 2025, o PSEV estivesse em fase de execução com projetos-piloto em municípios selecionados, o que cria uma base empírica sobre a qual o PEAC/SE pode ancorar as suas ações de governança.

O incentivo ao mercado de carbono previsto no PSEV encontra suporte técnico e jurídico no PEAC/SE por meio das disposições sobre os consórcios intermunicipais e a Lei nº 15.042, de 2024 (SBCE). O PEAC/SE detalha os requisitos para que os consórcios possam se adequar ao mercado de carbono regulado, incluindo o cadastro no órgão gestor do SBCE, a conformidade com os critérios de MRV e os requisitos de adição e permanência. Essa conexão entre os dois instrumentos estaduais e o marco regulatório federal do mercado de carbono é uma demonstração de coerência sistêmica da governança sergipana.

A bioeconomia e a transição energética, eixos centrais do PSEV, são indiretamente contemplados no PEAC/SE por meio das Câmaras Temáticas de Energia e Transporte e de Agropecuária e Uso da Terra, e pelo módulo de Soluções Baseadas na

Natureza (SbN) do plano de capacitação municipal. A conexão entre o reflorestamento da Caatinga pelo projeto Florestar-SE: Velho Chico, financiado pelo BNDES no âmbito do PSEV, e as metas de redução de emissões do PEAC/SE representa uma integração concreta entre os dois planos, demonstrando que a governança climática e a economia verde são faces complementares de uma mesma estratégia de desenvolvimento sustentável para Sergipe.

O PSEV alinha-se ao Sergipe 2050, que consiste em um planejamento estratégico de longo prazo do Estado, e reforça o compromisso com os ODS da ONU. O PEAC/SE compartilha esse horizonte temporal de longo prazo, ao estabelecer a meta de neutralidade climática de Sergipe para 2050 e ao estruturar um sistema de governança que opera em ciclos de curto, médio e longo prazo alinhados aos do PPA. Essa coincidência de horizontes temporais entre os dois instrumentos é fundamental para garantir a continuidade das políticas públicas para além dos ciclos eleitorais, um desafio reconhecido pelo próprio documento.

5.5.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL ESTADUAL

A Lei Estadual nº 9.364, de 2024, que estabelece a Política Estadual do Meio Ambiente de Sergipe, é o principal marco normativo estadual no qual o PEAC/SE se insere. O Modelo de Governança proposto reconhece expressamente essa lei como a materialização do modelo de governança vertical (top-down) em Sergipe, por meio do qual a SEMAC exerce sua autoridade central de controle da política ambiental. A criação do Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas, em 2024, é o instrumento executivo dessa lei na gestão climática.

A ADEMA (Administração Estadual do Meio Ambiente), mencionada reiteradamente no PEAC/SE como o braço executor do licenciamento e da fiscalização ambiental, é o principal órgão de implementação da Lei nº 9.364/2024. O modelo proposto fortalece a ADEMA ao integrá-la ao GTMC, conferindo-lhe papel no monitoramento de estatísticas e indicadores do sistema MRV, e ao atribuir-lhe a responsabilidade de auditoria técnica dos inventários municipais de emissões de GEE. Essa integração entre SEMAC e ADEMA na estrutura de governança está em plena conformidade com a lei estadual de meio ambiente.

A Lei Estadual nº 9.919, de 2026, que instituiu a Política de Apoio às Cidades Inteligentes, é uma referência normativa recente e de grande relevância para a dimensão tecnológica do PEAC/SE. O documento prevê explicitamente a necessidade de adequação dos planos de trabalho dos consórcios aos ODS citados nessa lei, o que cria um vínculo

normativo entre a governança climática e a política de modernização digital dos municípios sergipanos. A plataforma digital 'Sergipe Climático' e o sistema MRV digital são instrumentos que confluem diretamente com os objetivos dessa lei.

A Lei Complementar Federal nº 140, de 2011, que regula a cooperação entre os entes federados no âmbito do licenciamento ambiental, é um marco normativo central para a dimensão municipal do PEAC/SE. A proposta de descentralização do licenciamento ambiental para os municípios que constituírem Conselhos Municipais de Meio Ambiente e Mudança do Clima e obtiverem o Selo Sergipe Resiliente está em consonância com os critérios de delegação de competências previstos nessa lei complementar. Esse alinhamento é fundamental para garantir a segurança jurídica das ações descentralizadas propostas.

A Política Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe e o sistema gerenciado pelo CODERSE (Conselho de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe) estão indiretamente contemplados no PEAC/SE por meio da CT de Recursos Hídricos e do módulo de segurança hídrica do plano de capacitação municipal.

A articulação entre a governança climática e a gestão de recursos hídricos é uma necessidade imperativa para um estado como Sergipe, que enfrenta riscos de escassez hídrica no semiárido e de erosão costeira no litoral. A inclusão da CODERSE entre as entidades do GTMC seria recomendável para formalizar essa articulação.

6 COMPATIBILIDADE COM OS REQUISITOS DE MRV E TRANSPARÊNCIA

O Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) é o núcleo técnico do PEAC/SE e o mecanismo pelo qual Sergipe demonstrará, de forma verificável, o progresso de suas ações climáticas. O sistema MRV proposto é compatível com os requisitos do Quadro de Transparência Reforçado (ETF) do Acordo de Paris, com as diretrizes do IPCC para inventários nacionais de GEE e com os protocolos estabelecidos pelo SBCE. A estrutura do sistema, que inclui indicadores-chave por dimensão (mitigação, adaptação, governança, financiamento e justiça climática), garante uma visão integrada do desempenho climático do Estado.

A elaboração bienal de inventários de emissões de GEE, prevista no PEAC/SE, está alinhada aos ciclos de Comunicações Nacionais do Brasil à UNFCCC e às exigências do Plano Clima 2024–2035. O calendário bienal de inventários está também sincronizado com o ciclo de reuniões ordinárias e extraordinárias do CEEMC-SE, das reuniões mensais

do GTMC, das reuniões bimestrais das Câmaras Temáticas e das reuniões trimestrais do Painel Científico, garantindo que os dados do inventário alimentem continuamente as deliberações do sistema de governança.

A Plataforma de Transparência Climática "Sergipe Climático" é uma inovação tecnológica que traz requisitos mínimos de transparência da PNMC e do Acordo de Paris. A plataforma propõe funcionalidades avançadas como o georreferenciamento de vulnerabilidades, o orçamento participativo climático, o fórum de co-criação legislativa e a denúncia com georreferenciamento, que transformam a transparência passiva em participação ativa. Essa abordagem é consistente com as práticas internacionais de governança digital e com os princípios de governo aberto da Parceria para Governo Aberto (OGP), da qual o Brasil é membro fundador.

A revisão quinquenal do sistema MRV, prevista no PEAC/SE, coincide com os ciclos quinquenais de atualização das NDCs estabelecidos pelo Acordo de Paris. Essa sincronização é relevante porque garante que as revisões do sistema de governança sergipano incorporem as aprendizagens dos ciclos anteriores de implementação das NDCs nacionais, mantendo o PEAC/SE atualizado com as últimas descobertas científicas e com as práticas regulatórias internacionais.

7 ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO AMBIENTAL

7.1 CONCEITO E FUNDAMENTOS

A Análise de Impacto Regulatório (AIR) é um procedimento metodológico por meio do qual o Poder Público avalia, de forma sistemática e fundamentada, as consequências prováveis de uma intervenção regulatória antes de sua adoção. No campo ambiental, a AIR ganha uma dimensão adicional de complexidade, pois deve incorporar variáveis ecossistêmicas, climáticas, socioeconômicas e intergeracionais que frequentemente escapam às ferramentas tradicionais de avaliação de políticas públicas. Nas palavras de Marçal Justen Filho (2018, p. 617), *"a AIR representa a tradução procedimental do princípio da razoabilidade regulatória, impondo que o Estado demonstre, antes de agir, que suas escolhas são eficientes, necessárias e proporcionais aos objetivos perseguidos"*.

Em termos de fundamento doutrinário, a AIR conecta-se diretamente ao princípio da prevenção, pedra angular do Direito Ambiental, que determina a antecipação de danos conhecidos e previsíveis antes que se concretizem. Diferentemente do princípio da precaução, que lida com incertezas científicas, a prevenção exige ação concreta quando os riscos são identificáveis. A AIR ambiental instrumentaliza esse princípio ao forçar os

tomadores de decisão a mapear, quantificar e comparar os impactos potenciais de cada alternativa regulatória sobre o meio ambiente e sobre as populações mais vulneráveis.

7.2 MARCO LEGAL FEDERAL E SUA EXTENSÃO AOS ESTADOS

O marco normativo federal da AIR está consubstanciado, primordialmente, na Lei nº 13.874, de 2019 (Lei da Liberdade Econômica), cujo art. 5º prevê a realização de AIR como etapa prévia à edição de atos normativos por órgãos e entidades da Administração Pública Federal.

O Decreto nº 10.411, de 2020 regulamentou detalhadamente o procedimento de AIR no âmbito federal, definindo os elementos essenciais do relatório de impacto, os critérios de dispensa e os mecanismos de participação social. Embora esse decreto se aplique diretamente apenas à esfera federal, ele funciona como parâmetro técnico-metodológico fundamental para que estados e municípios estruturem seus próprios sistemas de AIR, respeitando a autonomia federativa constitucionalmente garantida. Carlos Ari Sundfeld (2014, p. 118) já alertava que "*o desenvolvimento do direito administrativo regulatório brasileiro depende, em larga medida, da capacidade dos entes subnacionais de se apropriarem das metodologias federais e as adaptarem às suas realidades institucionais*".

A Resolução CONAMA nº 237, de 1997, o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 1981) também integram o arcabouço normativo pertinente. A Lei nº 6.938, de 1981, ao estabelecer os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, em especial a avaliação de impactos ambientais (art. 9º, III) e o zoneamento ambiental (art. 9º, II), deu base legal para que estados e municípios desenvolvessem instrumentos avaliativos próprios, articulados com os sistemas estaduais de meio ambiente.

No plano estadual, a competência de Sergipe para instituir a AIR Ambiental por lei ordinária ou decreto executivo decorre da combinação de vários dispositivos: o art. 25 e o art. 24, VI, da CF/88; o art. 225 da CF/88; a Lei Complementar nº 140, de 2011, que definiu as competências de cada ente da Federação em matéria de licenciamento e fiscalização ambiental; e a própria Constituição do Estado de Sergipe, que, em seus artigos relativos à ordem econômica, social e ao meio ambiente, estabelece o dever do Estado de agir preventivamente na proteção dos recursos naturais. Conforme assinala Paulo Affonso Leme Machado (2021, p. 381), "*a avaliação prévia de impactos não é faculdade do administrador; é dever jurídico imposto pela Constituição, cujo cumprimento pode ser exigido judicial e administrativamente por qualquer cidadão*".

7.3 SERGIPE E A VIABILIDADE CONCRETA DA AIR AMBIENTAL

O Estado de Sergipe já conta com uma estrutura institucional que pode ser mobilizada para a implementação da AIR Ambiental. A Secretaria de Estado do Meio Ambiente e ações climáticas (SEMAC) dispõe de competência técnica e regulatória para coordenar o processo avaliativo. A Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) atua na fiscalização e monitoramento ambiental. A Assembleia Legislativa do Estado, no exercício de sua competência legislativa concorrente, tem plena legitimidade para editar lei estadual que institua a AIR Ambiental como etapa obrigatória do ciclo regulatório de políticas públicas com potencial impacto sobre o meio ambiente.

Do ponto de vista da teoria regulatória, a implementação da AIR Ambiental em Sergipe deve seguir o que Floriano de Azevedo Marques Neto (2005, p. 73) denomina de 'ciclo regulatório completo': identificação do problema, definição dos objetivos, análise das alternativas, consulta pública, decisão fundamentada, monitoramento e avaliação *ex post.*

A dimensão ambiental exige que, em cada uma dessas etapas, sejam incorporados indicadores ecológicos, matrizes de risco climático e mecanismos de participação das comunidades vulneráveis — populações quilombolas, pescadores artesanais, agricultores familiares da Caatinga, que em Sergipe representam parcelas significativas da população diretamente afetada por decisões regulatórias ambientais.

A implementação pode ocorrer em duas fases. Na primeira, por meio de decreto do Executivo estadual que institua a AIR como prática obrigatória para os atos normativos da SEMAC e da ADEMA que versem sobre licenciamento ambiental, zoneamento ecológico-econômico e uso de recursos naturais. Na segunda, por meio de lei estadual que universalize a obrigatoriedade da AIR Ambiental para todos os órgãos do Poder Executivo estadual que exerçam competências regulatórias com impacto ambiental, nos moldes do Decreto Federal nº 10.411, de 2020, adaptado à realidade sergipana.

Não se ignora que há vozes críticas quanto à efetividade da AIR quando implementada em estruturas administrativas com baixa capacidade técnica e institucional. Leila Cuéllar (2001, p. 145) adverte que "*instrumentos de análise prévia de impacto apenas cumprem sua função quando acompanhados de recursos humanos qualificados, dados confiáveis e independência técnica do órgão regulador"*. Esse alerta é pertinente para o Estado de Sergipe, mas não invalida a implementação; ao contrário, reforça a necessidade de que a AIR Ambiental seja acompanhada de um programa de fortalecimento institucional da SEMAC, incluindo capacitação de servidores,

investimento em sistemas de informação ambiental e criação de canais permanentes de participação social.

7.4 JURISPRUDÊNCIA APLICÁVEL

O STF, ao julgar demandas que envolvem a omissão do Poder Público em matéria ambiental, tem reiteradamente afirmado que o dever constitucional de proteção ambiental é dotado de exigibilidade judicial. No julgamento do ADPF 708/DF, o Tribunal reconheceu expressamente a possibilidade de se exigir do Estado a adoção de medidas concretas de governança climática, inclusive instrumentos de planejamento e avaliação prévia de impactos. O STJ, por sua vez, consolidou no âmbito da responsabilidade civil ambiental o caráter objetivo e integral dos danos ambientais (Súmula 623 do STJ), o que reforça, a *contrario sensu*, o imperativo de que o Estado disponha de mecanismos (como a AIR Ambiental), para prevenir tais danos antes que se concretizem.

No plano doutrinário, José Rubens Morato Leite e Patryck de Araújo Ayala (2015, p. 58) destacam que *"a prevenção de danos ambientais exige do Estado não apenas a abstenção de condutas lesivas, mas uma postura ativa de antecipação e gestão de riscos, o que demanda ferramentas regulatórias sofisticadas, dentre as quais a análise prévia de impactos ocupa posição central*". Essa compreensão reforça a tese de que a AIR Ambiental não é mera formalidade burocrática, mas instrumento de concretização de direitos fundamentais, especialmente o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, que o STF já reconheceu como direito fundamental de terceira geração (RE 134.297/SP).

8 ICMS ECOLÓGICO: FUNDAMENTO CONSTITUCIONAL, MODELOS ESTADUAIS E VIABILIDADE EM SERGIPE

8.1 O ICMS E SUA FUNÇÃO REDISTRIBUTIVA: BASE CONSTITUCIONAL

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) é tributo de competência dos estados, mas sua arrecadação é parcialmente redistribuída aos municípios por determinação constitucional. O art. 158, IV, da Constituição Federal determina que pertencem aos municípios 25% do produto da arrecadação do ICMS estadual. O parágrafo único do mesmo artigo estabelece que três quartos desse montante são repassados segundo o valor adicionado nas operações realizadas nos municípios, e até um quarto de acordo com o que a lei estadual dispuser.

É exatamente nesse 'até um quarto' que reside o espaço constitucional para o ICMS Ecológico. A lei estadual que define os critérios de distribuição desse percentual

pode — e, segundo a doutrina, deve — incorporar variáveis ambientais como forma de induzir comportamentos municipais voltados à preservação ambiental. Esse mecanismo transforma o instrumento tributário-fiscal em ferramenta de política ambiental, alinhando incentivos fiscais a objetivos de sustentabilidade, proteção de unidades de conservação, qualidade do saneamento e conservação de recursos hídricos.

8.2 EXPERIÊNCIAS ESTADUAIS CONSOLIDADAS

O Paraná foi o pioneiro na instituição do ICMS Ecológico no Brasil, por meio da Lei Complementar Estadual nº 59/1991, regulamentada pelo Decreto nº 974, de 1991, tornando-se referência internacional em políticas de pagamento por serviços ambientais via mecanismo fiscal. Wilson Loureiro (2002, p. 31), um dos maiores especialistas no tema, documentou que, após a implementação do ICMS Ecológico no Paraná, houve aumento expressivo da área protegida por unidades de conservação municipais e melhora nos indicadores de saneamento básico rural, demonstrando que o instrumento produz efeitos concretos de indução comportamental nos municípios.

Após o Paraná, outros estados aderiram ao mecanismo em suas variantes. Minas Gerais instituiu o ICMS Ecológico pela Lei Robin Hood (Lei Estadual nº 13.803/2000), que incorporou critérios ambientais como percentual de área protegida, qualidade das águas e destinação adequada de resíduos sólidos. São Paulo, Pernambuco, Tocantins, Goiás, Acre, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Amapá, Pará, Piauí, Ceará, Rondônia e Rio de Janeiro também já possuem legislação sobre o tema, em diferentes graus de sofisticação. Esse movimento progressivo de adesão estadual demonstra a maturidade do instrumento no ordenamento jurídico brasileiro e sua conformidade com o modelo constitucional de repartição de receitas do ICMS.

8.3 FUNDAMENTO DOUTRINÁRIO DO ICMS ECOLÓGICO

A doutrina tributário-ambiental brasileira tem abordado o ICMS Ecológico sob ângulos complementares. Lise Vieira da Costa Tupiassu (2006, p. 187) sustenta que *"o ICMS Ecológico representa a mais bem-sucedida experiência brasileira de extrafiscalidade ambiental, por operar em um campo de menor resistência política — o da redistribuição de receitas — sem onerar diretamente os contribuintes, mas produzindo incentivos municipais poderosos*". Essa análise é decisiva para compreender a viabilidade política e jurídica do instrumento no Estado de Sergipe: ao contrário de tributos novos, o ICMS Ecológico não cria ônus adicional; redistribui recursos já existentes segundo critérios ambientalmente orientados.

Fernando Facury Scaff e Lise Tupiassu (2005, p. 726) reforçam que o ICMS Ecológico:

> *não viola o princípio da capacidade contributiva, pois não é tributo, mas critério de repartição de receita pública; não fere a autonomia municipal, pois os municípios não são contribuintes do ICMS estadual; e não representa intervenção federal na competência estadual, pois a Constituição expressamente deferiu à lei estadual a definição dos critérios de repasse.*

A mencionada construção doutrinária afasta, de forma fundamentada, os principais argumentos que eventualmente poderiam ser opostos à implementação do ICMS Ecológico em Sergipe.

No campo do Direito Ambiental Econômico, Cristiane Derani (2008, p. 262) enquadra o ICMS Ecológico no âmbito dos instrumentos econômicos de gestão ambiental, categoria que compreende mecanismos "*que buscam internalizar externalidades ambientais negativas ou recompensar a produção de externalidades positivas, utilizando o sistema de preços e incentivos para orientar o comportamento dos agentes econômicos"*. Sob essa perspectiva, os municípios que preservam unidades de conservação, tratam seus resíduos adequadamente ou protegem mananciais produzem externalidades ambientais positivas que beneficiam toda a sociedade — e o ICMS Ecológico é o mecanismo jurídico pelo qual o Estado reconhece e remunera essa contribuição.

8.4 VIABILIDADE EM SERGIPE: ANÁLISE CONSTITUCIONAL E LEGISLATIVA

A implementação do ICMS Ecológico em Sergipe requer a aprovação de lei estadual que altere os critérios de distribuição da parcela de até 25% do ICMS que cabe ao Estado definir livremente. Atualmente, a legislação sergipana pertinente é a Lei Estadual nº 3.796/1996, que disciplina a distribuição do ICMS aos municípios sergipanos com base em critérios essencialmente fiscais — valor adicionado fiscal e população, principalmente. A introdução de critérios ambientais nessa lei, por meio de alteração legislativa, é juridicamente viável e constitucionalmente respaldada pelo art. 158, parágrafo único, II, da CF/88, sem qualquer necessidade de emenda constitucional ou lei complementar federal prévia.

A Constituição do Estado de Sergipe, em seus artigos relativos à política ambiental e ao desenvolvimento sustentável, impõe ao Estado o dever de implementar instrumentos de proteção ambiental. A inserção do ICMS Ecológico nesse quadro normativo estadual representa, portanto, não apenas uma faculdade do legislador, mas

uma obrigação decorrente do mandamento constitucional estadual de proteção ao meio ambiente. Conforme assinala Ingo Wolfgang Sarlet e Tiago Fensterseifer (2014, p. 143), "*os deveres de proteção ambiental do Estado vinculam positivamente todos os poderes — Executivo, Legislativo e Judiciário —, impondo não apenas abstenções, mas ações concretas e mensuráveis de promoção do equilíbrio ecológico"*.

Os critérios ambientais a serem incorporados na lei sergipana de ICMS Ecológico podem contemplar alterações no futuro, nos seguintes pontos, dentre outros: percentual de área territorial do município inserida em unidades de conservação estaduais, federais ou municipais; qualidade do saneamento básico, especialmente tratamento de esgoto e disposição adequada de resíduos sólidos; presença de mananciais de abastecimento hídrico e grau de proteção dos mesmos; índices de cobertura vegetal nativa, com ênfase especial para os remanescentes de Caatinga e Mata Atlântica; e indicadores de áreas quilombolas e terras indígenas que contribuam para a manutenção de serviços ecossistêmicos. A ponderação desses critérios deve ser objeto de amplo debate técnico e participativo, envolvendo municípios, sociedade civil e órgãos ambientais estaduais.

8.5 JURISPRUDÊNCIA SOBRE CRITÉRIOS DE DISTRIBUIÇÃO DO ICMS

O STF já analisou, em mais de uma oportunidade, a constitucionalidade de critérios estaduais de distribuição do ICMS aos municípios. No RE 572.762/SC, o Tribunal firmou entendimento de que a lei estadual que define os critérios de repartição da cota-parte do ICMS municipal goza de ampla margem de conformação, desde que observe o mínimo constitucional do valor adicionado fiscal (três quartos) e não crie distinções arbitrárias ou discriminatórias entre municípios.

A introdução de critérios ambientais, por ser objetiva, mensurável e orientada ao interesse público, está em plena consonância com esse entendimento jurisprudencial. Não há, nesse mecanismo, qualquer violação à isonomia ou à autonomia municipal, muito pelo contrário: ele amplia a autonomia dos municípios na medida em que lhes confere poder de influência sobre a própria arrecadação, mediante a adoção de práticas ambientais adequadas.

O princípio da vedação ao retrocesso socioambiental — densamente elaborado pela doutrina constitucional brasileira e parcialmente incorporado à jurisprudência do STF, reforça, por via negativa, a obrigatoriedade de que o Estado de Sergipe avance na direção de instrumentos como o ICMS Ecológico. Uma vez que outros estados da Federação já implementaram esse mecanismo, e considerando o quadro de emergência

climática reconhecido pelo próprio STF no julgamento da ADPF 708/DF, a inação do legislador sergipano poderia configurar omissão inconstitucional passível de controle judicial.

9 CONVERGÊNCIAS ENTRE AIR AMBIENTAL E ICMS ECOLÓGICO NO CONTEXTO DA GOVERNANÇA CLIMÁTICA

A análise isolada de cada instrumento, AIR Ambiental e ICMS Ecológico, não revela toda a sua potência transformadora. É na combinação dos dois mecanismos, como pilares de um sistema integrado de governança climática estadual, que eles produzem os efeitos mais significativos.

A AIR Ambiental garante que as políticas regulatórias do Estado incorporem, desde sua concepção, a variável ambiental e climática. O ICMS Ecológico, por sua vez, cria incentivos econômico-fiscais para que os municípios adotem práticas consistentes com os objetivos definidos nessas políticas estaduais. Os dois instrumentos são, portanto, complementares: um regula a produção normativa, o outro induz o comportamento local.

Sob a perspectiva da teoria da regulação, essa combinação corresponde ao que Floriano de Azevedo Marques Neto (2005, p. 103) chama de “regulação em rede”, na qual diferentes instrumentos normativos se articulam de forma sistêmica para produzir resultados que nenhum deles alcançaria isoladamente. O Plano Estadual de Governança Climática de Sergipe, ao integrar AIR Ambiental e ICMS Ecológico como seus principais pilares normativos, operará exatamente dentro dessa lógica de complementaridade sistêmica, alinhando-se às melhores práticas internacionais de governança climática subnacional documentadas pelo IPCC e pela OCDE.

A articulação entre os dois instrumentos também tem dimensão procedimental importante. A AIR Ambiental, quando aplicada à regulação do ICMS Ecológico — isto é, quando o próprio processo de elaboração da lei estadual que institui o ICMS Ecológico for precedido de uma rigorosa análise de impacto, garante que os critérios ambientais escolhidos para a distribuição do ICMS sejam os mais eficazes, os mais viáveis para os municípios e os mais alinhados às prioridades climáticas do Estado de Sergipe. Essa exigência de coerência interna da política pública é um imperativo de boa governança.

Há, ainda, uma dimensão de transparência e accountability que ambos os instrumentos compartilham. A AIR Ambiental exige publicidade dos estudos de impacto, participação social nas consultas e fundamentação das decisões regulatórias. O ICMS

Ecológico exige transparência na mensuração dos indicadores ambientais municipais e publicidade nos repasses. Juntos, eles constroem uma cultura de governança ambiental baseada em evidências e sujeita ao controle social, exatamente o que o STF demandou do Poder Público no julgamento da ADPF 708/DF, quando reconheceu que a proteção climática é obrigação constitucional dotada de exigibilidade jurídica imediata.

10 LACUNAS IDENTIFICADAS E OPORTUNIDADES DE APRIMORAMENTO

A análise de compatibilidade do Modelo de Governança do PEAC/SE com os marcos normativos vigentes evidenciou alto grau de alinhamento. As recomendações que se seguem não traduzem fragilidades estruturais do Produto 4.3, mas pontos de evolução natural a serem incorporados nos ciclos de revisão quinquenal do sistema MRV previstos no próprio Plano, mantendo-o atualizado em relação aos arcabouços nacionais e internacionais em formação. A primeira recomendação refere-se ao fortalecimento de um mecanismo formal de articulação entre o PEAC/SE e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), que serve de referência para a dimensão de adaptação do Plano Clima 2024–2035. A criação de um protocolo de comunicação periódica entre o GTMC e o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) permitiria que as experiências sergipanas contribuíssem para o aperfeiçoamento das políticas nacionais de adaptação.

A segunda recomendação versa sobre a incorporação de referência explícita à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei Federal nº 12.608/2012, que estabelece a articulação entre gestão de riscos climáticos e Defesa Civil. O PEAC/SE menciona a Defesa Civil como integrante do GTMC e como parceira na gestão de desastres via consórcios, mas não faz referência ao arcabouço normativo da PNPDEC. A incorporação explícita dessa referência fortaleceria a base jurídica das ações de adaptação e gestão de riscos climáticos, especialmente no contexto do aumento na frequência e intensidade de eventos extremos projetados para Sergipe.

A terceira oportunidade de aprimoramento refere-se à integração do PEAC/SE com o Sistema Nacional de Informações sobre Mudança do Clima (SINMC) e com o Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente (SINIMA), plataformas federais de dados que poderiam enriquecer o sistema MRV sergipano e garantir a interoperabilidade dos dados do Estado com as bases federais. A proposta de criar o 'Sergipe Climático' como plataforma digital autônoma é positiva, mas a integração com esses sistemas federais aumentaria a robustez técnica e a credibilidade internacional dos

dados produzidos. A articulação com esses sistemas depende, sobretudo, de uma parceria com o governo federal para o compartilhamento de dados.

A quarta oportunidade de aprimoramento é o desenvolvimento de uma estratégia específica de financiamento climático internacional, articulada à proposta de habilitação dos consórcios ao mercado de carbono. O PEAC/SE menciona o BID, o Banco Mundial, o Green Climate Fund e o Fundo Clima como possíveis fontes de financiamento, mas não possui mecanismos para detalhar os requisitos de elegibilidade nem o processo de estruturação de projetos bancáveis para cada um desses instrumentos, em virtude de questões que são alheias ao plano de governança climáticas. A elaboração de um pipeline de projetos financiáveis, com metodologias de MRV validadas internacionalmente, é uma contribuição valiosa à implementação do PEAC/SE.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE DA COMPATIBILIDADE

A análise de compatibilidade realizada neste Relatório demonstra que o Modelo de Governança Climática proposto no Produto 4.3 do PEAC/SE apresenta alto grau de alinhamento com os marcos normativos nacionais, estaduais e internacionais vigentes. A estrutura de governança multinível, que articula a SEMAC com os 75 municípios sergipanos por meio de consórcios, capacitação técnica e incentivos fiscais, é compatível com o artigo 23 da Constituição Federal e com a Lei Complementar nº 140/2011. O sistema MRV é compatível com os requisitos do Quadro de Transparência do Acordo de Paris e com o SBCE. As Câmaras Temáticas são compatíveis com os Planos Setoriais do Plano Clima 2024–2035.

A compatibilidade com o Plano Sergipano de Economia Verde é especialmente significativa, pois demonstra que Sergipe está construindo um ecossistema de políticas públicas coerente e integrado, no qual a governança climática e a economia verde são tratadas como dimensões complementares de um mesmo projeto de desenvolvimento sustentável. A articulação entre o PEAC/SE, o PSEV, a Lei nº 9.364, de 2024 e a Lei nº 9.919, de 2026 constitui um arcabouço normativo-programático robusto que posiciona Sergipe de forma competitiva na captação de financiamentos climáticos nacionais e internacionais.

A AIR Ambiental pode ser implementada por lei, como política de aprimoramento da qualidade regulatória da SEMAC e dos demais órgãos ambientais do Estado. Em seguida, a mesma lei deverá universalizar sua aplicação a todos os atos normativos com potencial impacto ambiental, criando um ciclo regulatório virtuoso que,

ao longo do tempo, melhorará a qualidade das políticas públicas ambientais e reduzirá o contencioso judicial decorrente de regulações mal calibradas. Recomenda-se, ainda, que Sergipe estabeleça convênios com a Casa Civil da Presidência da República e com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima para aproveitar a metodologia federal de AIR já desenvolvida, adaptando-a às especificidades do estado.

O ICMS Ecológico, por sua vez, requer lei estadual que altere os critérios de distribuição da cota-parte municipal do ICMS, incorporando indicadores ambientais objetivos e mensuráveis. Recomenda-se que o processo legislativo seja precedido de amplo debate com os municípios sergipanos, a SEMAC, as organizações da sociedade civil ambiental e as comunidades mais diretamente afetadas pelas dinâmicas ambientais do estado — incluindo as populações da Caatinga, do litoral e do entorno do Rio São Francisco. A adoção de critérios progressivos, com metas crescentes de desempenho ambiental, pode facilitar a adesão municipal e garantir a efetividade do instrumento ao longo do tempo.

A inovação institucional da Ouvidoria de Justiça Climática e da Análise de Impacto Regulatório Ambiental (AIR-A) são contribuições originais do PEAC/SE que vão além das exigências dos marcos normativos analisados, representando avanços que podem servir de referência para outros estados brasileiros. A AIR-A, em particular, é um instrumento de prevenção ao retrocesso ambiental que fortalece a segurança jurídica das políticas climáticas sergipanas, em consonância com a doutrina do Estado de Direito Ecológico e com as práticas internacionais de regulação ambiental.

O compromisso de alcançar a neutralidade climática de Sergipe até 2050, alinhado à NDC brasileira e ao Acordo de Paris, é a meta de longo prazo que confere sentido e direção a todo o sistema de governança proposto. A estrutura de revisões periódicas, auditorias e consultas públicas garante que esse compromisso não seja apenas uma declaração de intenções, mas um processo contínuo de aprendizagem e aperfeiçoamento institucional.

A solidez técnica do Produto 4.3, aliada à sua compatibilidade com os marcos normativos vigentes, confere ao PEAC/SE as condições necessárias para ser reconhecido como um dos planos climáticos subnacionais mais avançados do Brasil.

Por fim, este Relatório recomenda, em especial, a articulação formal com a PNPDEC, a integração com o SINMC e a incorporação dos Planos Setoriais de Adaptação do Plano Clima sejam endereçadas nas revisões anuais do sistema MRV, garantindo que o PEAC/SE se mantenha atualizado e em conformidade com a evolução dos marcos

normativos nacionais e internacionais. A governança climática é, por natureza, um processo adaptativo e contínuo, e o modelo proposto para o Estado de Sergipe está estruturalmente preparado para enfrentar esse desafio com a flexibilidade, a transparência e a participação social que a crise climática exige.

12 REFERÊNCIAS NORMATIVAS E PROGRAMÁTICAS

- ANTUNES, Paulo de Bessa. Direito Ambiental. 21. ed. São Paulo: Atlas, 2020.
- ARAGÃO, Alexandre Santos de. Agências Reguladoras e a Evolução do Direito Administrativo Econômico. 3. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2013.
- BENJAMIN, Antonio Herman. Constitucionalização do Ambiente e Ecologização da Constituição Brasileira. In: CANOTILHO, José Joaquim Gomes; LEITE, José Rubens Morato (org.). Direito Constitucional Ambiental Brasileiro. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. p. 82–156.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, 1988.
- BRASIL. Decreto nº 10.411, de 30 de junho de 2020. Análise de Impacto Regulatório.
- BRASIL. Lei Complementar Federal nº 140, de 8 de dezembro de 2011. Cooperação Federativa em Matéria Ambiental.
- BRASIL. Lei Federal nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Lei dos Consórcios Públicos.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).
- BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro.
- BRASIL. Lei Federal nº 13.874, de 20 de setembro de 2019. Lei da Liberdade Econômica.
- BRASIL. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Marco Legal do Saneamento Básico.
- BRASIL. Lei Federal nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE (SBCE).
- BRASIL. Plano Clima 2024–2035. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM). Brasília: MMA, dezembro de 2025.
- BRASIL. Segunda Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC 3.0). Submetida à UNFCCC em 13 de novembro de 2024.
- BRASIL. Supremo Tribunal Federal. ADPF 708/DF. Rel. Min. Roberto Barroso. Brasília: STF, 2020.
- BRASIL. Supremo Tribunal Federal. RE 572.762/SC. Rel. Min. Ricardo Lewandowski. Brasília: STF, 2008.
- CUÉLLAR, Leila. As Agências Reguladoras e seu Poder Normativo. São Paulo: Dialética, 2001.
- DERANI, Cristiane. Direito Ambiental Econômico. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

- Howlett, M. (1991). "Policy Instruments and Implementation Styles". Journal of Public Policy, 11(4), 453-476.
- JUSTEN FILHO, Marçal. Curso de Direito Administrativo. 13. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2018.
- LEITE, José Rubens Morato; AYALA, Patryck de Araújo. Dano Ambiental: Do Individual ao Coletivo Extrapatrimonial. 7. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2015.
- LOUREIRO, Wilson. **ICMS Ecológico:** Uma Experiência Brasileira de Pagamentos por Serviços Ambientais. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná, 2002.
- MACHADO, Paulo Affonso Leme. Direito Ambiental Brasileiro. 28. ed. São Paulo: Malheiros, 2021.
- Marks, G., Hooghe, L., & Blank, K. (1996). "European Integration from the 1980s: State-Centric v. Multi-level Governance". Journal of Common Market Studies, 34(3), 341-378.
- MARQUES NETO, Floriano de Azevedo. Agências Reguladoras Independentes: Fundamentos e seu Regime Jurídico. Belo Horizonte: Fórum, 2005.
- MILARÉ, Édis. Direito do Ambiente. 11. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2018.
- MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 13.803, de 27 de dezembro de 2000. Dispõe sobre a distribuição da parcela da receita do produto da arrecadação do ICMS pertencente aos municípios. Belo Horizonte: ALMG, 2000.
- OIT. Convenção nº 169 sobre Povos Indígenas e Tribais. Genebra: OIT, 1989.
- ONU. Acordo de Paris. Adotado em 12 de dezembro de 2015. Entrada em vigor: 4 de novembro de 2016.
- ONU. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015.
- PARANÁ. Lei Complementar Estadual nº 59, de 1º de outubro de 1991. Dispõe sobre a repartição de 5% do ICMS a que alude o art. 2º da Lei nº 9.491/90. Curitiba: ALEP, 1991.
- SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. Princípios do Direito Ambiental. São Paulo: Saraiva, 2014.
- SCAFF, Fernando Facury; TUPIASSU, Lise Vieira da Costa. Tributação e Políticas Públicas: O ICMS Ecológico. In: TÔRRES, Heleno Taveira (org.). Direito Tributário Ambiental. São Paulo: Malheiros, 2005. p. 725–760.
- SERGIPE. Decreto Estadual nº 1.016, de 7 de fevereiro de 2025. Institui o Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV).

- SERGIPE. Lei Estadual nº 9.364, de 2024. Política Estadual do Meio Ambiente.
- SERGIPE. Lei Estadual nº 9.919, de 2026. Política de Apoio às Cidades Inteligentes.
- SUNDFELD, Carlos Ari. Direito Administrativo para Céticos. 2. ed. São Paulo: Malheiros, 2014.
- TUPIASSU, Lise Vieira da Costa. Tributação Ambiental: A Utilização de Instrumentos Econômicos e Fiscais na Implementação do Direito ao Meio Ambiente Saudável. Rio de Janeiro: Renovar, 2006.

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas – Governo do Estado de Sergipe

Relatório Técnico das Atividades de apoio técnico e operacional voltadas à instituição do novo modelo de governança
Produto 4.6

São Paulo, maio/2026

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO 3

2 OBJETIVOS 4

3 ATIVIDADES REALIZADAS 4

3.1 CAPACITAÇÃO TÉCNICA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO NOVO MODELO DE GOVERNANÇA 4

3.2 GUIA ORIENTADOR PARA OS MUNICÍPIOS IMPLEMENTAREM PLANOS DE AÇÃO CLIMÁTICA 5

4 RESULTADOS OBTIDOS 6

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 7

6 REFERÊNCIAS 8

7 ANEXOS 9

7.1 ANEXO I – APRESENTAÇÃO INSTITUCIONAL DO MODELO DE GOVERNANÇA CLIMÁTICA 9

7.2 ANEXO II – GUIA ORIENTADOR PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PLANOS MUNICIPAIS DE AÇÕES CLIMÁTICAS 9

1 APRESENTAÇÃO

Este Relatório Técnico de Atividades tem por objetivo apresentar as ações de apoio técnico e operacional realizadas para fins de subsidiar a implementação do novo modelo de governança climática por parte da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC). Essas ações compõem o Produto 4.6 do Plano Estadual de Ações Climáticas (PEAC/SE), denominado "Apoio técnico e operacional ao Estado de Sergipe nas atividades voltadas à instituição do novo modelo de governança".

Para a preparação do material de apoio objeto deste produto, foram consultadas as disposições da modelagem do plano de governança climática prevista no Produto 4.3 do PEAC/SE. No mencionado documento, foram detalhadas as cinco modalidades de governança a serem adotadas pelas instituições implementadoras do PEAC/SE, que são:

- Governança vertical ou "*top-down*": modelo em que a administração pública assume papel central na criação e aplicação do processo decisório;
- Governança integrada ou multissetorial: modelo de governança que prevê a participação de distintos entes públicos e privados no processo decisório, materializado, neste caso, no Comitê de Enfrentamento das Mudanças Climáticas (CEEMC-SE);
- Governança em rede ou participativa: modelo participativo de governança que permite a colaboração entre a sociedade civil e o Estado no processo decisório;
- Governança multinível ou multiescalar: modelo que presume a articulação de diversas esferas governamentais com o objetivo de alcançar uma meta compartilhada;
- Governança policêntrica ou transnacional: este modelo compreende a operação simultânea de diversas camadas e magnitudes de governança, por meio de múltiplos núcleos decisórios. No âmbito do Estado de Sergipe, essa atuação se materializa na participação do Estado no Consórcio Nordeste, especificamente na Câmara Temática de Meio Ambiente.

Os instrumentos previstos para cada tipo de governança climática apresentada naquele documento foram o aspecto central dos materiais de apoio e da capacitação técnica, uma vez que as atividades tiveram como principal finalidade o subsídio à implementação do modelo de governança.

Por fim, cumpre mencionar que o presente Relatório, assim como os demais produtos do PEAC/SE apresentam seu escopo definido no Contrato n° 08/2025, firmado entre a SEMAC e a Fundação Instituto de Administração (FIA).

2 OBJETIVOS

As atividades de apoio técnico e operacional realizadas tem como objetivo principal o subsídio à implementação do novo modelo de governança climática, modelado no Produto 4.3 do PEAC/SE, além dos seguintes objetivos específicos:

- Capacitar tecnicamente a equipe da SEMAC quanto à estrutura e operacionalização do modelo de governança climática;
- Desenvolver instrumento orientador para os Municípios, visando à elaboração de Planos Municipais de Ação Climática;
- Promover a integração entre o nível estadual e municipal no contexto da governança multinível;
- Contribuir para o alcance das metas de governança estabelecidas no PEAC/SE, incluindo a elaboração de planos municipais e a capacitação de gestores públicos.

3 ATIVIDADES REALIZADAS

Foram desenvolvidas duas atividades principais, que correspondem a:

- Capacitação técnica à SEMAC para a implementação do novo modelo de governança, por meio de apresentação institucional;
- Elaboração de um guia orientador destinado aos Municípios sergipanos que visa à implementação de planos locais de ação climática.

Nos tópicos subsequentes, serão detalhadas as atividades realizadas para a prestação de apoio técnico e operacional à SEMAC.

3.1 CAPACITAÇÃO TÉCNICA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO NOVO MODELO DE GOVERNANÇA

A capacitação técnica teve como objetivo principal promover o alinhamento institucional da SEMAC quanto aos conceitos, estruturas e procedimentos necessários à operacionalização da governança climática estadual. Esta atividade contemplou, primeiramente, a elaboração de material técnico expositivo que buscou apresentar o novo

modelo de governança climática, desenvolvido a partir das disposições do Produto 4.3[1] do PEAC/SE.

A capacitação foi realizada por meio de apresentação institucional, realizada em 30/04/2026, em que estiveram presentes representantes da equipe técnica da FIA e o Coordenador de Mudanças Climáticas da SEMAC. Na apresentação, foram abordados temas como os princípios dos cinco eixos de governança climática, a estrutura institucional voltada à sua implementação, o detalhamento dos instrumentos de governança participativa, o papel dos Municípios na elaboração de seus respectivos planos de ação climática, bem como o plano de implementação do modelo de governança proposto. O material técnico elaborado consta no Anexo I deste documento.

Com a conclusão da apresentação, foi aberto espaço aos participantes para que realizassem apontamentos, questionamentos ou sugestões no modelo de governança climática. Dentre os principais tópicos debatidos neste momento, cita-se:

- A importância da Análise de Impacto Regulatório para fins de avaliação da viabilidade de promulgação de leis relacionadas ao meio ambiente;
- A necessidade de articular frentes parlamentares com o objetivo de assegurar a previsão legal dos instrumentos de governança previstos;
- Os desafios para incentivar os municípios sergipanos a criarem e implementarem seus respectivos planos municipais de ações climáticas, e como a criação de um "Ranking Verde" e outras fontes de financiamento poderão auxiliar esse processo.

De maneira geral, a capacitação foi tida como satisfatória para o conhecimento prévio da modelagem da governança climática proposta, sendo a transmissão de informações facilitada pela preparação do material técnico.

3.2 GUIA ORIENTADOR PARA OS MUNICÍPIOS IMPLEMENTAREM PLANOS DE AÇÃO CLIMÁTICA

Diante da necessidade de alcançar a universalização dos planos municipais de ações climáticas no Estado de Sergipe, uma das atividades de apoio técnico e operacional realizadas consistiu na elaboração de um material de apoio, a ser direcionado às Prefeituras Municipais e Consórcios Intermunicipais, que apresente orientações quanto aos requisitos mínimos para o desenvolvimento destes planos.

[1] Produto 4.3 – Modelagem de um plano de governança para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas.

Neste contexto, foi proposta uma metodologia de desenvolvimento que contempla 5 etapas sequenciais e interdependentes, que são:

1. Mobilização Institucional: contempla a organização interna da Prefeitura Municipal, definição de ponto focal e mobilização de grupo técnico;
2. Levantamento de informações: busca por dados de uso e ocupação do solo, saneamento básico, saúde, população e atividades econômicas que subsidiem a elaboração do diagnóstico climático;
3. Diagnóstico climático: documento que sintetiza as características climáticas do território municipal, incluindo a identificação de riscos e vulnerabilidades climáticas e, em alguns casos[2], Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE);
4. Participação social: promoção de ações de participação social para angariar contribuições da população que subsidiem a elaboração do Plano de Ação;
5. Definição de objetivos, metas e ações: estabelecimento, com base nas informações levantadas e nas contribuições recebidas, dos objetivos, metas e ações voltados à mitigação de emissões, à adaptação climática e ao fortalecimento da resiliência territorial.

Cumpre mencionar que os Produtos 2.1, referente ao PEMAMC-SE, e 4.3, referente ao Plano de Governança Climática, também indicam alternativas para a captação de recursos financeiros e para a viabilização técnica do desenvolvimento dos Planos Municipais. Destaca-se, ainda, a importância da realização de capacitações técnicas voltadas aos gestores municipais, instrumento previsto no PEMAMC-SE como medida de fortalecimento institucional e de apoio à implementação da agenda climática nos Municípios.

4 RESULTADOS OBTIDOS

De maneira geral, verifica-se que as ações de apoio técnico e operacional desenvolvidas cumpriram adequadamente seu propósito de subsidiar a implementação do novo modelo de governança climática. Tais ações contribuíram para a capacitação dos membros da Secretaria quanto aos aspectos técnicos e operacionais dos instrumentos

[2] De acordo com o PEMAMC-SE, a elaboração de Inventários de GEE é opcional para Municípios com população inferior a 50.000 habitantes.

previstos no Produto 4.3, bem como viabilizaram a elaboração de material técnico orientador destinado aos Municípios.

No que se refere ao Guia, destinado aos Municípios, ressalta-se como o material de apoio fortalece a efetividade da governança multinível e contribui diretamente para o alcance de uma das metas estratégicas estabelecidas no PEMAMC-SE, que consiste na universalização da elaboração de Planos de Ações Climáticas em todos os municípios do Estado de Sergipe.

De maneira complementar, o alcance da meta permitirá a ampliação do conhecimento climático do Estado, uma vez que um dos requisitos para a elaboração de planos municipais de ações climáticas consiste na elaboração de estudos técnicos como o Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) e o Diagnóstico Climático, incluindo a previsão de cenários climáticos e a elaboração de mapas de vulnerabilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades ora tratadas contribuíram para o fortalecimento das condições técnicas e institucionais necessárias à implementação do novo modelo de governança climática do Estado de Sergipe, conforme diretrizes estabelecidas no Produto 4.3 do PEAC/SE. Ao articular capacitação técnica, produção de material orientador e apoio à descentralização da agenda climática, o Produto buscou oferecer subsídios práticos para que a SEMAC avance na operacionalização dos instrumentos de governança previstos para a condução da política climática estadual.

Destaca-se, nesse contexto, a relação direta do Anexo II, correspondente ao Guia Orientador destinado aos Municípios, com a meta de universalização dos Planos Municipais de Ação Climática. Contudo, o alcance dessa meta dependerá da articulação institucional entre o Estado e os Municípios, de modo a assegurar apoio técnico e condições mínimas para a elaboração e implementação dos planos locais. Nesse processo, o envolvimento dos Consórcios Intermunicipais assume papel estratégico, uma vez que diversos Municípios compartilham características territoriais, climáticas e socioeconômicas semelhantes, o que pode viabilizar o desenvolvimento dos planos de forma mais célere, integrada e organizada.

6 REFERÊNCIAS

- FIA. Fundação Instituto de Administração. Produto 4.3 – Modelagem de um plano de governança climática para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas. São Paulo, SP, 2026.

7 ANEXOS

7.1 ANEXO I – APRESENTAÇÃO INSTITUCIONAL DO MODELO DE GOVERNANÇA CLIMÁTICA

Este anexo corresponde ao material técnico elaborado para fins de capacitação de representantes da SEMAC quanto ao modelo de governança climática proposto no Produto 4.3. O material está disponível em meio digital.

7.2 ANEXO II – GUIA ORIENTADOR PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PLANOS MUNICIPAIS DE AÇÕES CLIMÁTICAS

O Guia Orientador para Implementação de Planos Municipais de Ações Climáticas busca apresentar aos Municípios do Estado de Sergipe o conjunto de documentos necessários para o desenvolvimento e implementação de planos locais de ações climáticas. O documento está disponível em meio digital.



FIA BUSINESS SCHOOL

Quem sabe lidera.

Procedimentos de Governança Climática do PEAC/SE

FIA BUSINESS SCHOOL

Objetivos da Capacitação

01

Compreender a arquitetura conceitual da governança climática do PEAC/SE.

02

Identificar o papel da Secretaria nos arranjos vertical, integrado, participativo, multiescalar e policêntrico.

03

Operar os mecanismos de escuta, transparência, articulação municipal e suporte técnico previstos no Produto 4.3.

FIA BUSINESS SCHOOL

Arquitetura Conceitual do Plano de Governança

Instituição de um modelo híbrido de governança

FIA BUSINESS SCHOOL

Arquitetura Conceitual

Combinação de cinco formas de governança distintas.

1. Vertical

Diretrizes e normativos

2. Integrada

Articulação entre secretarias

3. Participativa

Escuta social e controle democrático

4. Multiescalar

Estado ↔ municípios e consórcios

5. Policêntrica

Redes, ciência, setor produtivo e ALESE

Modelos de Governança

Funcionamento de cada arranjo

FIA BUSINESS SCHOOL

Governança vertical

Modelo *top-down*.

Uso principal

- Definir diretrizes, normas, atribuições e metas vinculantes.
- Orientar a ação pública climática e a execução descentralizada.

Papel da SEMAC

- Atuar como autoridade coordenadora da política climática.
- Convocar, orientar, monitorar e cobrar resultados.

AIR-A: Análise de Impacto Regulatório Ambiental

No Produto 4.3, a AIR-A condiciona a criação de normas e atos administrativos ao uso de evidências técnicas, econômicas e ambientais.

1. Problema

Descrever o risco climático ou falha regulatória.

2. Objetivos

Explicitar o resultado público esperado.

3. Alternativas

Comparar opções normativas, administrativas ou não regulatórias.

4. Impactos

Avaliar riscos, custos, benefícios e externalidades.

5. Monitoramento

Definir alternativa preferida e indicadores de avaliação.

Governança integrada: modelo multisetorial

A mudança do clima deixa de ser assunto exclusivo da SEMAC e passa a organizar a ação de múltiplas políticas públicas.

Coordenação e fiscalização
SEMAC, ADEMA, Polícia Ambiental

Produção e desenvolvimento
SEAGRI, EMDAGRO, SEDETEC

Infraestrutura e recursos
SEDURBI, DESO, CODERSE

Serviços sociais e riscos
SES, SEDUC, Defesa Civil

Gestão, tecnologia e fomento
SEPLAG, SEFAZ, BANESE, EMGETIS, CTs

Procedimento para a SEMAC: convocar, integrar dados, evitar sobreposição de iniciativas e registrar responsabilidades por órgão.

Secretaria Executiva

Monitoramento
Coleta informações, acompanha indicadores e apoia inventários de GEE.

Articulação Setorial
Garante o fluxo de dados e a cooperação dos órgãos do GTMC.

Comunicação
Publica relatórios, promove transparência ativa e organiza consultas públicas.

O papel da Secretaria Executiva é transformar a arquitetura institucional em operação: fluxo de dados, agendas, registros e devolutivas.

Câmaras Temáticas e Painel Científico

Nível consultivo e consultivo-científico.

9 Câmaras Temáticas

Produzem diagnósticos e estudos técnicos para embasar deliberações estratégicas.

15–20 especialistas

Ponte entre ciência climática, inovação e execução do PEAC/SE.

Encontros trimestrais

Acompanham tendências, cenários, inventários, demandas e eficiência das políticas.

Mandato das CTs

Lideranças nomeadas pelo GTMC, com possibilidade de uma recondução.

Produtos esperados: refino técnico • validação metodológica • cenários climáticos • diagnósticos de vulnerabilidade • suporte às CTs.

Participação e Transparência

Participação da sociedade civil no processo decisório

FIA BUSINESS SCHOOL

Governança em rede: participação como condição de legitimidade

- **SEMAC**: Coordenação e devolução institucional;
- **Municípios**: territorialização das demandas;
- **Academia**: suporte técnico e evidências;
- **Comunidades**: vivência dos riscos e prioridades;
- **Setor produtivo**: investimentos, práticas e compromissos.

FIA BUSINESS SCHOOL

Instrumentos participativos



Fórum Sergipano:

Caráter deliberativo e participação do governo, da academia, da iniciativa privada e de comunidades tradicionais;



Ouvidoria de Justiça Climática:

Canal para conflitos socioambientais, violações e riscos percebidos;



Consulta Popular:

Coleta estruturada de comentários, críticas e sugestões;



Audiências regionalizadas:

Debate presencial e territorializado, com registro em ata e devolutiva.

FIA BUSINESS SCHOOL

Fluxo de atendimento da Ouvidoria de Justiça Climática



FIA BUSINESS SCHOOL

Audiências públicas e consulta popular

PREPARAÇÃO: divulgar documentos, data, local e canais digitais.

INSCRIÇÃO: identificar território, representatividade e eixo temático.

MANIFESTAÇÃO: registrar perguntas, críticas, propostas e fundamentos locais.

RESPOSTA TÉCNICA: prestar esclarecimentos e documentar encaminhamentos.

DEVOLUTIVA: publicar ata e tratamento das contribuições.

FIA BUSINESS SCHOOL

Fundamentos da Governança Multiescalar

Envolvimento dos Municípios, redes de implantação e planejamento

FIA BUSINESS SCHOOL

Governança multiescalar

Procedimentos da SEMAC para os Municípios

- Diagnóstico de capacidades
- Territorialização por região climática
- Apoio técnico e capacitação
- Monitoramento em dashboard climático
- Devolutiva e ajustes

Resultados Esperados

- Municípios com competências técnicas para a gestão climática
- Publicação de planos locais e criação de comitês gestores
- Capacidade de acessar recursos financeiros para adaptação e mitigação

FIA BUSINESS SCHOOL

Pilares da Governança Multiescalar

ICMS Ecológico: reforma legal, Comitê Gestor, IQAM, auditoria, Ranking Verde e Revisão Periódica de Critérios.

Capacitação técnica: formação de gestores, módulos práticos, suporte digital e multiplicadores de carreira.

Regionalização: consórcios públicos como polos de suporte, dados, saneamento, resíduos, água e adaptação territorial.

Plano de Implementação da Governança Multiescalar

Fase 1 | Fundação e alinhamento | 2026–2027

Normas, diagnósticos, arranjos iniciais e preparação institucional.

Fase 2 | Expansão e operacionalização

Capacitação, integração municipal, instrumentos econômicos e regionalização.

Fase 3 | Consolidação | até 2030

Rotina de monitoramento, ajustes, maturidade institucional e escala territorial.

FIA BUSINESS SCHOOL

Estrutura mínima para Planos Municipais de Ações Climáticas

DIAGNÓSTICO TERRITORIAL	METAS E INDICADORES	AÇÕES CLIMÁTICAS	GOVERNANÇA LOCAL	FINANCIAMENTO	MONITORAMENTO
• Vulnerabilidades e riscos climáticos; • Emissões de GEE; • Capacidades energéticas instaladas.	• Objetivos mensuráveis; • Responsáveis; • Horizonte temporal; • Critérios de medição.	• Adaptação, mitigação, SbN e prioridades setoriais.	• Estrutura de governança climática, formada por comitês gestores e equipes técnicas.	• Projetos bancáveis; • Fontes de recursos; • Incentivos locais;	• Dashboard; • Relatórios; • Revisão periódica.

Governança policêntrica, PPPs e ALESE: múltiplos centros de execução

UFS / UNIT
Inventários, cenários, dados e inovação tecnológica

FAPESE
Gestão de convênios, bolsas e equipamentos

ALESE
Frentes parlamentares, leis de incentivo e harmonização normativa

Setor privado / PPPs
Infraestrutura resiliente, tecnologia e financiamento

Consórcio Nordeste
Cooperação regional e negociação em bloco

Tarefa da SEMAC: manter coerência técnica e evitar dispersão de responsabilidades nos múltiplos centros de decisão.

Rotina mínima de operação para a SEMAC

1. Convocar e coordenar

Fórum, Comitê Intersetorial, GTMC, CTs e Painel Científico.

2. Pactuar responsabilidades

Quem entrega dados, analisa, delibera, publica e responde.

3. Operar instrumentos

AIR-A, Ouvidoria, consultas, audiências, Sergipe Climático e apoio municipal.

4. Consolidar evidências

Relatórios, atas, protocolos, mapas, indicadores e registros de decisão.

5. Devolver e ajustar

Publicar respostas, corrigir rota e atualizar critérios, metas e procedimentos.

Checklist de implementação do novo modelo de governança

- ✓ Institucionalizar o Fórum Sergipano de Mudanças Climáticas com caráter deliberativo.;
- ✓ Estabelecer Comitê Intersetorial com representantes das secretarias de Estado.
- ✓ Criar Rede Sergipana de Municípios Resilientes e orientar PACs municipais.
- ✓ Formalizar Painel Científico de Assessoramento com universidades e centros de pesquisa.
- ✓ Implantar canais participativos: Ouvidoria, consultas, audiências e Sergipe Climático.
- ✓ Operacionalizar AIR-A e verificações periódicas da legislação estadual.
- ✓ Estruturar Observatório de Governança Climática para metas, recursos e indicadores.
- ✓ Desenvolver PPPs e apoio legislativo para resiliência climática.

FIA BUSINESS SCHOOL

Obrigado!

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AÇÕES CLIMÁTICAS

SERGIPE
GOVERNO DO ESTADO

FIA BUSINESS SCHOOL

Quem sabe lidera.

FIA BUSINESS SCHOOL

Guia Orientador para Implementação de Planos Municipais de Ações Climáticas

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO....3

2. OBJETIVOS....3

3. PÚBLICO-ALVO....4

4. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DOS PLANOS DE AÇÕES CLIMÁTICAS 4

1.1 ETAPA 1 – MOBILIZAÇÃO INSTITUCIONAL....5
1.2 ETAPA 2 – LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES....6
1.3 ETAPA 3 – DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO....7
1.4 ETAPA 4 – PARTICIPAÇÃO SOCIAL....7
1.5 ETAPA 5 – DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS, METAS E AÇÕES....8

5. ESTRUTURA MÍNIMA PARA O PLANO MUNICIPAL DE AÇÃO CLIMÁTICA 9

6. INSTITUCIONALIZAÇÃO, VIGÊNCIA E REVISÃO....10

7. LISTA DE CHECAGEM DA IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO MUNICIPAL DE AÇÃO CLIMÁTICA....11

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS....11

9. LISTA DE FIGURAS....13

10. LISTA DE QUADROS....13

1. APRESENTAÇÃO

O presente Guia Orientador tem por finalidade subsidiar os Municípios sergipanos na elaboração, institucionalização, implementação e monitoramento de seus Planos Municipais de Ação Climática, em consonância com as diretrizes do Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Sergipe — PEMAMC-SE, e com a Modelagem do Plano de Governança Climática.

O Guia foi concebido como instrumento de apoio técnico às Prefeituras Municipais, especialmente às Secretarias Municipais de Meio Ambiente, Planejamento, Obras, Agricultura, Saúde, Defesa Civil e demais órgãos correlatos, com o objetivo de padronizar a estrutura mínima dos planos municipais e assegurar sua compatibilidade com o planejamento climático estadual. Essa padronização é necessária para que os 75 Municípios de Sergipe possam avançar de forma coordenada na agenda climática, assegurando o alcance da meta de 100% dos municípios com planos municipais de ações climáticas, definida no PEMAMC-SE.

O PEMAMC-SE busca promover a redução das emissões de gases de efeito estufa e o fortalecimento da capacidade adaptativa do Estado de Sergipe no horizonte 2026–2050, por meio da combinação entre diagnóstico técnico, governança participativa, mitigação, adaptação, financiamento climático e justiça climática. O novo Plano de Governança, por sua vez, define que o Estado deverá fornecer um modelo metodológico para garantir que todos os Planos Municipais tenham estrutura mínima comum, contemplando inventário de emissões, análise de vulnerabilidade, ações de adaptação e governança local.

Nesse sentido, este Guia apresenta orientações práticas para que cada Município possa transformar as diretrizes estaduais em ações compatíveis com sua realidade territorial, climática, socioeconômica e institucional.

2. OBJETIVOS

Este guia possui como objetivo principal orientar os Municípios do Estado de Sergipe na elaboração e implementação de Planos Municipais de Ação Climática, assegurando alinhamento metodológico com o PEMAMC-SE, integração ao sistema estadual de governança climática e compatibilidade com os instrumentos de monitoramento, transparência e financiamento previstos no PEAC/SE.

3. PÚBLICO-ALVO

Este Guia destina-se, principalmente, a:

a) Prefeitos e Vice-Prefeitos;
b) Secretários Municipais de Meio Ambiente, Planejamento, Obras, Infraestrutura, Saúde, Agricultura, Educação e Finanças;
c) Coordenadorias Municipais de Defesa Civil;
d) Conselhos Municipais de Meio Ambiente;
e) Técnicos municipais responsáveis pelo licenciamento ambiental e urbanístico;
f) Consórcios públicos intermunicipais.

4. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DOS PLANOS DE AÇÕES CLIMÁTICAS

A elaboração de planos municipais exige a execução de etapas sequenciais e interdependentes, que buscam contemplar o diagnóstico climático do município, a escuta ativa da população e a definição de objetivos, metas e ações climáticas. Nesse sentido, recomenda-se a execução, por parte dos Municípios, das seguintes etapas:

Figura 1: Etapas de desenvolvimento de Planos de Ação Climática.



Nos tópicos a seguir, será apresentado um detalhamento das etapas necessárias à criação e implementação de Planos Municipais de Ações Climáticas.

1.1 ETAPA 1 – MOBILIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Nesta etapa, estão contempladas as ações iniciais de mobilização institucional da Prefeitura Municipal para fins de elaboração do Plano Municipal de Ação Climática. Para tanto, recomenda-se a edição de ato normativo que indique o órgão responsável pela coordenação do Plano, preferencialmente a Secretaria de Meio Ambiente, quando houver, e a identificação do grupo técnico que irá desenvolver o diagnóstico e o plano de ação.

No âmbito do grupo técnico, poderão ser buscadas parcerias estratégicas com universidades e institutos de pesquisa que viabilizem o desenvolvimento destes documentos. É recomendado que os profissionais envolvidos sejam de múltiplas áreas do conhecimento, e possuam expertise acerca dos setores inventariados para fins de elaboração do Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE), um dos requisitos mínimos para a elaboração do Plano de Ação Climática.

1.2 ETAPA 2 – LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

Com a etapa de mobilização institucional concluída, deverá ser conduzida a etapa de levantamento de informações municipais, com o objetivo de subsidiar a etapa de diagnóstico climático e, posteriormente, a definição de ações de mitigação e adaptação. Recomenda-se o levantamento dos seguintes dados e informações:

- Extensão territorial do Município e delimitação de bairros e localidades;
- População total, distribuição urbana e identificação de grupos vulneráveis e comunidades tradicionais;
- Atividades econômicas predominantes e dados industriais;
- Uso e ocupação do solo do Município, a partir de dados geoespaciais fornecidos por sensoriamento remoto;
- Existência de áreas de risco hidrológico e geológico;
- Séries históricas de precipitação pluviométrica e temperatura do ar;
- Disponibilidade hídrica e modalidades de abastecimento de água;
- Cobertura da rede geral de coleta e tratamento de efluentes sanitários;
- Situação da macro e microdrenagem urbana;
- Gestão de resíduos sólidos urbanos e industriais;
- Infraestrutura de saúde, educação e assistência social;
- Identificação de Unidades de Conservação, Áreas de Preservação Permanente (APP), nascentes e demais áreas protegidas;
- Frequência de eventos climáticos extremos;
- Programas e projetos ambientais em execução no Município, na região ou no Estado;
- Legislação municipal relacionada a meio ambiente, uso do solo, defesa civil, saneamento, resíduos e desenvolvimento urbano.

No que se refere à legislação municipal, deverão ser identificados e analisados os planos e programas municipais que dialogam diretamente com o desenvolvimento e implementação do plano, tais como:

- Plano Diretor Municipal;
- Plano Plurianual;
- Lei de Diretrizes Orçamentárias;
- Lei Orçamentária Anual;
- Plano Municipal de Saneamento Básico;
- Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;
- Plano de Contingência da Defesa Civil;

- Plano Municipal de Saúde;
- Plano Municipal de Educação;
- Código de Obras;
- Lei de Uso e Ocupação do Solo;
- Plano de Mobilidade Urbana, quando existente;
- Plano de Habitação de Interesse Social, quando existente.

1.3 ETAPA 3 – DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO

O Diagnóstico Climático corresponde ao alicerce técnico do Plano de Ação Climática. Os resultados obtidos nesta etapa deverão subsidiar a proposição de ações de mitigação e adaptação, por meio do levantamento de emissões de GEE e a identificação de vulnerabilidades climáticas.

O documento deve contemplar, preferencialmente, os seguintes temas:

a) Caracterização territorial e socioeconômica;
b) Caracterização climática local ou regional;
c) Projeção de cenários e tendências climáticas;
d) Mapeamento de riscos e vulnerabilidades climáticas;
e) Mapeamento de áreas e grupos vulneráveis;
f) Levantamento de emissões de GEE, quando aplicável;
g) Identificação de políticas, programas e ações já existentes.

Em Municípios com baixa capacidade técnica ou população inferior a 50 mil habitantes, o inventário de emissões poderá ser simplificado ou estimado com base em dados setoriais disponíveis, sem prejuízo da adoção progressiva de metodologias mais robustas em ciclos posteriores. O Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas prevê que o inventário municipal de emissões de GEE seja opcional para Municípios com população inferior a 50 mil habitantes, justamente para permitir adequação à capacidade técnica local.

1.4 ETAPA 4 – PARTICIPAÇÃO SOCIAL

A etapa de participação social corresponde à forma de inclusão da sociedade civil no processo decisório, ao permitir que a população contribua com a identificação de riscos, prioridades e possíveis soluções. Para tanto, é recomendado que o Município promova, no mínimo, uma consulta pública ou oficina participativa durante o desenvolvimento do Plano.

Nos Municípios com maior extensão territorial ou com realidades socioambientais distintas, podem ser realizadas oficinas por região, comunidade, distrito ou setor de interesse. A escuta deve considerar especialmente as populações mais vulneráveis aos impactos climáticos.

São formas de participação social:

a) Audiências públicas presenciais;
b) Consultas virtuais;
c) Reuniões comunitárias;
d) Oficinas temáticas;
e) Escuta de conselhos municipais;
f) Reuniões com associações rurais, pescadores, marisqueiras, comunidades tradicionais, agricultores familiares, setor produtivo e instituições de ensino.

1.5 ETAPA 5 – DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS, METAS E AÇÕES

Nesta etapa, será desenvolvido o elemento central do Plano Municipal de Ação Climática, que contempla o conjunto de ações de mitigação, adaptação, monitoramento, governança, financiamento e de justiça climática que será incorporado na agenda climática municipal. De maneira análoga ao que foi desenvolvido no PEMAMC-SE, recomenda-se que as ações sejam estruturadas em eixos temáticos, e que apresentem o seguinte conteúdo mínimo:

- Descrição da ação;
- Problema climático que pretende enfrentar;
- Objetivo específico;
- Meta relacionada;
- Indicador de monitoramento;
- Área ou público prioritário;
- Órgão municipal responsável;
- Órgãos ou parceiros envolvidos;
- Prazo de execução.

Preferencialmente, o Plano deverá conter a estrutura de governança climática que será responsável por implementar o conjunto de ações, com a devida divisão de responsabilidades e formalização por meio da expedição de ato administrativo.

5. ESTRUTURA MÍNIMA PARA O PLANO MUNICIPAL DE AÇÃO CLIMÁTICA

Conforme definido no Plano de Governança, a estrutura mínima dos Planos Municipais deve incluir inventário de emissões, análise de vulnerabilidade, ações de adaptação com foco em Soluções baseadas na Natureza e governança local. A partir desses critérios mínimos, recomenda-se que o Plano Municipal seja organizado com a seguinte estrutura:

- Apresentação: apresentar o contexto do projeto e sua importância;
- Objetivos: detalhar os objetivos geral e específicos do plano de ações climáticas;
- Caracterização Municipal: apresentar uma síntese das principais características do Município, que contenha:
    - Localização geográfica;
    - População total, urbana e rural;
    - Principais atividades econômicas;
    - Uso e ocupação do solo;
    - Bacias hidrográficas e principais corpos hídricos;
    - Infraestrutura urbana e rural;
    - Saneamento básico e drenagem;
    - Áreas protegidas e ecossistemas relevantes;
    - Comunidades tradicionais ou grupos socialmente vulneráveis.
- Diagnóstico climático e análise de vulnerabilidade: deverá conter a análise das condições meteorológicas atuais do Município, a partir do levantamento de séries históricas de temperatura e precipitação do ar, a projeção de cenários climáticos, bem como a identificação de riscos e vulnerabilidades climáticas, como secas, inundações, erosão costeira, deslizamentos, entre outros;
- Inventário Municipal de Emissões de GEE: apresentar a estimativa das emissões e remoções de GEE no território municipal, para subsidiar a definição de metas e ações de mitigação. Deverão ser contemplados os seguintes setores:
    - Setor de Energia;
    - Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos – IPPU;
    - Setor Agropecuário;
    - Setor de Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Floresta (MUT);
    - Setor de Resíduos.

- Plano de Ação: consiste no elemento central do Plano, e deve conter o conjunto de ações de mitigação, adaptação, monitoramento, governança e justiça climática, acompanhadas do seguinte conteúdo mínimo:
    - Área prioritária;
    - Órgão/Entidade responsável;
    - Prazos;
    - Meta e indicador associado.
- Estrutura de governança climática: deverá ser apresentada a estrutura de governança climática municipal responsável pela implementação do plano. Deve estar prevista(o):
    - Órgão municipal coordenador;
    - Ponto focal técnico;
    - Grupo de trabalho intersetorial;
    - Comitê municipal de mudanças climáticas ou instância equivalente;
    - Participação do conselho municipal de meio ambiente;
    - Formas de participação social;
    - Integração com consórcios intermunicipais;
    - Canal de comunicação com a SEMAC;
    - Periodicidade de reuniões;
    - Responsabilidades de cada secretaria.
- Monitoramento, reporte e verificação: com base nas metas propostas no Plano de Ação, deverá ser proposto um sistema de acompanhamento simples, que permita o acompanhamento da realização das ações e cumprimento das metas. Para tanto, deverão ser propostos indicadores de monitoramento.

6. INSTITUCIONALIZAÇÃO, VIGÊNCIA E REVISÃO

O Plano deverá indicar sua vigência, forma de aprovação e periodicidade de revisão. Recomenda-se que o documento tenha horizonte mínimo de 10 anos, com metas intermediárias e revisão a cada cinco anos.

A revisão deve considerar:

- Novos dados climáticos;
- Resultados do monitoramento;
- Mudanças no uso do solo;
- Ocorrência de eventos extremos;
- Atualização do PEMAMC-SE;
- Alterações no orçamento municipal;

- Contribuições da sociedade civil.

7. LISTA DE CHECAGEM DA IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO MUNICIPAL DE AÇÃO CLIMÁTICA

Para assegurar que a elaboração e implementação do Plano Municipal de Ação Climática elaborado esteja condizente com as diretrizes apresentadas neste documento, recomenda-se a aplicação da lista de checagem apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Lista de checagem da implantação do Plano Municipal de Ação Climática.

ITEM	VERIFICAÇÃO
O Município designou órgão responsável pela coordenação do Plano?	Sim/Não
Foi designado ponto focal técnico para a agenda climática?	Sim/Não
Foi criado grupo de trabalho intersetorial?	Sim/Não
O diagnóstico municipal apresenta riscos e vulnerabilidades climáticas?	Sim/Não
O Plano apresenta inventário de emissões ou previsão de sua elaboração? (opcional para Municípios com menos de 50.000 habitantes)	Sim/Não
Foram identificadas áreas e populações vulneráveis?	Sim/Não
Houve consulta pública, oficina ou mecanismo de participação social?	Sim/Não
As ações estão organizadas por eixo temático?	Sim/Não
As ações apresentam responsáveis, prazos, indicadores e fontes potenciais de recurso?	Sim/Não
Há ações de mitigação?	Sim/Não
Há ações de adaptação?	Sim/Não
Há ações com foco em Soluções baseadas na Natureza?	Sim/Não
Há ações voltadas à justiça climática?	Sim/Não
O Plano define arranjo de governança municipal?	Sim/Não
O Plano prevê monitoramento e revisão periódica?	Sim/Não
O Plano foi aprovado por ato normativo municipal?	Sim/Não
O Plano foi publicizado em meio oficial ou portal municipal?	Sim/Não

Eventuais lacunas identificadas poderão ser corrigidas por meio de revisões ou complementações, com vistas a assegurar a completude do documento e execução das ações mínimas previstas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de planos municipais de ações climáticas corresponde a uma etapa essencial para a ampliação do alcance das ações de mitigação, adaptação e justiça climática previstas no PEAC/SE, uma vez que é na escala municipal que os impactos climáticos se manifestam de forma mais direta sobre as populações, a infraestrutura, os ecossistemas naturais e as atividades econômicas.

O Guia Orientador busca, portanto, transformar as diretrizes estaduais em um roteiro prático para os Municípios, considerando suas diferenças institucionais, territoriais e socioeconômicas. Ao adotar uma estrutura mínima padronizada, os Municípios contribuem para a comparabilidade dos dados, para a integração com o sistema estadual de MRV, para a transparência pública e para a ampliação das possibilidades de acesso a recursos financeiros.

É importante salientar que a efetividade dos Planos Municipais dependerá da capacidade de cada Prefeitura em institucionalizar a agenda climática, mobilizar seus setores internos, ouvir a população, priorizar ações viáveis e monitorar seus resultados ao longo do tempo. Nesse sentido, reforça-se a importância das fontes de financiamento e capacitações técnicas previstas no Plano de Governança, que dispõe acerca da governança climática estadual, para viabilizar a criação e implantação de planos municipais.

9. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DE PLANOS DE AÇÃO CLIMÁTICA 5

10. LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: LISTA DE CHECAGEM DA IMPLANTAÇÃO DO PLANO MUNICIPAL DE AÇÃO CLIMÁTICA 11

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS.

Cliente: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas - SEMAC

Relatório de Alternativas de Financiamento para a Ação Climática em Sergipe
Produto 5.1

Panorama técnico das alternativas de financiamento climático aplicáveis às prioridades do Plano Estadual de Mudanças Climáticas de Sergipe

São Paulo, novembro/2025

SUMÁRIO

1. LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS 4

2. INTRODUÇÃO 8

2.1. APRESENTAÇÃO 8
2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO 8
2.3. OBJETIVOS DO RELATÓRIO 11
2.4. METODOLOGIA APLICADA 11

3. CONTEXTO ESTRATÉGICO E GOVERNANÇA 12

3.1. PANORAMA DO ECOSSISTEMA DE FINANCIAMENTO CLIMÁTICO NO BRASIL E IMPLICAÇÕES PARA ESTADOS 12
3.2. COORDENAÇÃO FEDERATIVA E PAPEL DO ESTADO DE SERGIPE 16
3.3. TAXONOMIA SUSTENTÁVEL BRASILEIRA E IMPACTOS SOBRE A BANCABILIDADE DE CARTEIRAS ESTADUAIS (SERVIÇOS E INFORMAÇÕES DO BRASIL) 18

4. PRIORIDADES SETORIAIS DA LEI Nº 9.364, DE 2024 23

4.1. CONSERVAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA; DESCARBONIZAÇÃO DA GERAÇÃO E COGERAÇÃO 24
4.2. TRANSPORTE E MOBILIDADE DE BAIXA EMISSÃO 29
4.3. INDÚSTRIA E MINERAÇÃO; PROCESSOS E GASES INDUSTRIAIS 33
4.4. SETOR DOMÉSTICO E RESÍDUOS; REDUÇÃO DE METANO EM ATERROS . 39
4.5. SETOR PÚBLICO; PADRÕES DE EFICIÊNCIA, QUALIDADE DO AR E TRANSPARÊNCIA 44
4.6. USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL URBANA; RESTAURAÇÃO FLORESTAL E PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA) 49
4.7. SETOR ELÉTRICO DESCENTRALIZADO E EFICIÊNCIA EM EDIFICAÇÕES 53
4.8. RECURSOS HÍDRICOS; GESTÃO COSTEIRA E MARINHA 58

5. FONTES E INSTRUMENTOS FINANCEIROS 62

5.1. FUNDO CLIMA: LINHAS REEMBOLSÁVEIS E APLICAÇÕES NÃO REEMBOLSÁVEIS; CRITÉRIOS E EXEMPLOS 63
5.2. TÍTULOS SOBERANOS SUSTENTÁVEIS: ELEGIBILIDADE E IMPLICAÇÕES PARA PROGRAMAS ESTADUAIS (SERVIÇOS E INFORMAÇÕES DO BRASIL) 67
5.3. ECO INVEST BRASIL, PROTEÇÃO CAMBIAL, “BLENDED FINANCE” (FINANÇAS COMBINADAS) E CHAMADAS PARA RESTAURAÇÃO E AGROFLORESTAS 72
5.4. BANCOS MULTILATERAIS E BILATERAIS: INSTRUMENTOS E OPORTUNIDADES DE COFINANCIAMENTO 76
5.5. FUNDOS CLIMÁTICOS INTERNACIONAIS E COOPERAÇÃO: PAPÉIS DE ENTIDADES ACREDITADAS 82

6. MAPA ESTRATÉGICO DE FINANCIAMENTO POR PRIORIDADE SETORIAL 89

6.1. MATRIZ FONTE–INSTRUMENTO–CONDICIONANTES PARA CADA PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364, DE 2024 90
6.2. GATILHOS DE DESEMBOLSO POR RESULTADO, INDICADORES E MRV ESTADUAL 95
6.3. SALVAGUARDAS SOCIAIS E AMBIENTAIS; MECANISMOS DE TRANSPARÊNCIA E AUDITORIA 100

7. ROTAS OPERACIONAIS PARA CAPTAÇÃO E EXECUÇÃO 105

7.1. PIPELINE, PRÉ-VIABILIDADE E PREPARAÇÃO DE PROJETOS 105
7.2. ESTRUTURAS DE GARANTIAS, CONTAS VINCULADAS E GESTÃO DE RISCO CAMBIAL 109
7.3. MODELOS DE GOVERNANÇA FINANCEIRA; COMITÊS E TRILHA DE AUDITORIA 115

8. ESTUDOS DE CASO E BENCHMARKS RECENTES NO BRASIL 119

8.1. EXPANSÃO DE RENOVÁVEIS E MOBILIDADE COM CRÉDITO DO FUNDO CLIMA NO NORDESTE 119
8.2. REFLORESTAMENTO COM ESTRUTURAÇÃO FINANCEIRA HÍBRIDA E CONTRATOS DE COMPRA FUTURA 124

9. PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO E CRONOGRAMA 128

9.1. METAS SEMESTRAIS DE CAPTAÇÃO E EXECUÇÃO 129
9.2. GESTÃO DE RISCOS E MONITORAMENTO 132

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS 138

11. REFERÊNCIAS 139

11.1. MARCOS LEGAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS NO BRASIL 139

12. BIBLIOGRAFIA SELECIONADA 141

1. LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

- ABEAS - *Architecture for REDD+ Transactions* (ART) – TREES
- Padrão jurisdicional internacional para mensuração, validação, verificação e registro de reduções de emissões por desmatamento e degradação florestal em escala de jurisdição. No documento aparece como ART/TREES.
- API - Application Programming Interface – Interface de Programação de Aplicações. Conjunto de especificações que permite acesso automatizado a dados e serviços de sistemas oficiais, como portais de transparência e o PNCP.
- AR6 - *Sixth Assessment Report* – Sexto Relatório de Avaliação do IPCC. Conjunto mais recente de sínteses científicas sobre mudanças climáticas, incluindo fatores de equivalência de gases de efeito estufa.
- B3 - Brasil, Bolsa, Balcão. Bolsa de valores e de derivativos do Brasil, onde são negociados futuros de dólar e cupom cambial utilizados em hedge.
- BEI (EIB) - Banco Europeu de Investimento (*European Investment Bank*). Banco público europeu que opera linhas para energia, água, cidades e clima, inclusive por meio de intermediários financeiros.
- BID (IDB) - Banco Interamericano de Desenvolvimento (*Inter-American Development Bank*). Banco regional que financia projetos e políticas públicas, com Marco de Política Ambiental e Social próprio.
- BM (WB) - Banco Mundial (*World Bank*). Instituição financeira internacional que opera, entre outros, o instrumento *Program-for-Results* e o Quadro Ambiental e Social.
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Operador do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (Fundo Clima) em suas modalidades reembolsáveis.
- CAF - Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe (antiga *Corporación Andina de Fomento*). Banco regional com linhas para infraestrutura, cidades e clima.
- CAPEX - *Capital Expenditure* – Despesa de capital. Gastos de investimento em ativos de longo prazo.
- CBAM - Carbon Border Adjustment Mechanism – Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia. Regime que ajusta, na fronteira, a intensidade de carbono de produtos importados.
- CGU - Controladoria-Geral da União. Órgão federal responsável por transparência, dados abertos e integridade no Executivo federal.
- CIF - *Climate Investment Funds*. Conjunto de fundos climáticos multilaterais (por exemplo, CTF, PPCR) que financiam energia limpa, resiliência e natureza.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Órgão colegiado que estabelece normas ambientais nacionais, inclusive padrões de qualidade do ar (Resolução nº 506/2024).
- COSO - *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission.* Referencial internacional de controles internos e gestão de riscos (*Internal*

Control – Integrated Framework).

- DSCR- *Debt Service Coverage Ratio* – Índice de cobertura do serviço da dívida. Relação entre fluxo de caixa operacional e serviço da dívida; usado como *covenant em project finance*. No texto aparece como "índice de cobertura do serviço da dívida".
- Eco Invest Brasil - Programa federal de instrumentos catalíticos para financiamento parcial, liquidez e proteção cambial, com leilões e regras do Conselho Monetário Nacional e do Tesouro Nacional.
- ERPA - *Emission Reductions Purchase Agreement* – Contrato de compra futura de reduções/remoções de emissões. Instrumento para travar demanda e preço de créditos de carbono.
- ESG - *Environmental, Social and Governance* – Ambiental, Social e Governança. Diretriz ampla de finanças sustentáveis; aparece indiretamente em padrões e rotulagem temática.
- FGTS - Fundo de Garantia do Tempo de Serviço. Fundo trabalhista que em algumas operações cofinancia ônibus elétricos e infraestrutura urbana.
- GCF - Green Climate Fund – Fundo Verde para o Clima. Fundo multilateral da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima para mitigação e adaptação, inclusive pagamentos por resultados.
- GEF - *Global Environment Facility* – Fundo Global para o Meio Ambiente. Mecanismo financeiro multilateral para biodiversidade, clima, águas internacionais e degradação de terras.
- GD - Geração Distribuída. Geração elétrica próxima ao consumo (por exemplo, fotovoltaica em telhados e usinas locais) regida pela Lei nº 14.300, de 2022.
- GEE (GHG) - Gases de Efeito Estufa (*Greenhouse Gases*). Conjunto de gases que contribuem para o efeito estufa, como dióxido de carbono, metano e óxido nitroso.
- GWP - *Global Warming Potential* – Potencial de Aquecimento Global. Fator que converte gases em dióxido de carbono equivalente para um horizonte temporal (no documento, GWP-100 do AR6).
- IAASB - *International Auditing and Assurance Standards Board*. Conselho que emite os padrões de asseguração ISAE 3000 e ISAE 3410.
- ICVCM - *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market*. Conselho de Integridade para o Mercado Voluntário de Carbono; define os Core Carbon Principles e avalia programas.
- INI-C - Instrução Normativa de Edificações Comerciais e de Serviços do Inmetro no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica. Referência para etiquetagem de eficiência energética em prédios.
- Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Órgão responsável pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem e normas correlatas (por exemplo, Portaria nº 309/2022).
- IPCC -*Intergovernmental Panel on Climate Change* – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Órgão científico que emite

diretrizes e relatórios como o AR6.

- ISAE 3000 - *International Standard on Assurance Engagements* 3000. Padrão internacional para asseguração de informações não financeiras.
- ISAE 3410 - *International Standard on Assurance Engagements* 3410. Padrão para asseguração de inventários e declarações de gases de efeito estufa.
- LAI - Lei de Acesso à Informação. Marco legal brasileiro para transparência ativa e passiva.
- LEAF - *Lowering Emissions by Accelerating Forest finance* – Coalizão internacional de compradores de créditos jurisdicionais. Usa padrões como ART/TREES.
- LGPD - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais. Marco legal de proteção de dados no Brasil, com papéis de controlador, operador e encarregado.
- MapBiomas - Plataforma colaborativa de mapeamento anual de uso e cobertura da terra; usada como linha de base e verificação em restauração e PSA.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Órgão federal de políticas ambientais e climáticas; corregula o Fundo Clima nas aplicações não reembolsáveis.
- MRV - Monitoramento, Relato e Verificação (*Monitoring, Reporting and Verification*). Arquitetura de indicadores, fontes e auditoria para desembolsos por resultados.
- PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem. Sistema de etiquetagem de eficiência energética, inclusive para edificações (PBE Edifica).
- PI-2, PI-3, PI-4 - Padrões Intermediários de qualidade do ar definidos pela Resolução CONAMA nº 506/2024, com cronograma escalonado de adoção.
- PNCP - Portal Nacional de Contratações Públicas. Plataforma oficial de publicação de editais, contratos, aditivos e dados de contratações da administração pública.
- PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Marco legal de resíduos, logística reversa e planos de gerenciamento.
- PPP - Parceria Público-Privada (Lei nº 11.079/2004). Mecanismo contratual de longo prazo para provisão de infraestrutura e serviços.
- ProFloresta+ - Programa Petrobras–BNDES para leilões de compra de créditos de restauração com oferta de crédito de longo prazo aos vencedores.
- P4R / PforR - *Program-for-Results* (BM/WB). Instrumento do Banco Mundial de apoio por resultados, com indicadores vinculados a desembolsos.
- REST - *Representacional State Transfer*. Estilo de arquitetura de APIs web, usado em portais de dados abertos.
- REDD+ - *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation* – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação. Abordagem para mitigação no uso da terra, inclusive em escala jurisdicional.
- SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition* – Supervisão, Controle e

Aquisição de Dados. Sistema para telemetria e automação em saneamento, energia e mobilidade.

- SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. Sistema federal que, desde 2024, substituiu o antigo SNIS e reúne indicadores oficiais de abastecimento, esgotamento, resíduos e drenagem.
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (antecessor do SINISA). Base histórica de indicadores do setor de saneamento no Brasil.
- SPE - Sociedade de Propósito Específico. Entidade jurídica criada para isolar ativos e fluxos de um projeto em operações de project finance.
- SUSEP - Superintendência de Seguros Privados. Autarquia que regula e supervisiona o mercado de seguros, inclusive seguro-garantia (Circular nº 662/2022).
- TCU - Tribunal de Contas da União. Órgão de controle externo com referenciais de governança, riscos e controles internos.
- TREES - The REDD+ *Environmental Excellence Standard*. Conjunto de requisitos do padrão ART para créditos jurisdicionais de REDD+.
- VLT - Veículo Leve sobre Trilhos. Modal de transporte urbano eletrificado; aparece como parte do portfólio financiável em mobilidade.
- WB (BM) - World Bank – Banco Mundial. Ver entrada BM (WB).

Observações

a) Entradas bilíngues indicam o termo em português e, entre parênteses, o correspondente consagrado em inglês.

b) Quando o texto emprega a forma por extenso sem a sigla, o verbete foi incluído quando o acrônimo é usual no ecossistema de financiamento climático e aparece em outras partes do documento.

2. INTRODUÇÃO

2.1. APRESENTAÇÃO

O presente texto refere-se ao Módulo 5, Fontes de Financiamento, item 5.1 - "Relatório de estudos relativos às alternativas de financiamento para a implementação do Plano de Ações Climáticas", da proposta FIA anexada ao Contrato nº 08/2025 firmado com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente Sustentabilidade e Ações Climáticas de Sergipe – SEMAC (Processo nº 192/2025).

Apresenta-se um panorama técnico das alternativas de financiamento aplicáveis às prioridades estabelecidas na Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas do Sergipe – PEMC/SE. Este texto aborda, especialmente, a viabilização econômica das estratégias de mitigação e adaptação definidas na Lei, dando ênfase às fontes, instrumentos, critérios de elegibilidade e arranjos institucionais que aumentem a "bancabilidade"[1] de projetos estaduais de mitigação, adaptação e resiliência.

2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Entende-se por financiamento climático o conjunto de fluxos e mecanismos públicos e privados destinados a reduzir emissões líquidas de gases de efeito estufa e a fortalecer a adaptação, abrangendo, desde orçamento e fundos públicos, à dívida soberana rotulada, crédito concessionário, garantias, capital de risco e estruturas de financiamento misto. Essa definição é consistente com a prática internacional e com a arquitetura brasileira recente, na qual instrumentos soberanos, fundos climáticos e

[1] "Bancabilidade" é um neologismo que se disseminou no vocabulário nacional de projetos de financiamento. Trata-se do empréstimo direto do inglês *bankability*, termo de finanças corporativas e de project finance que designa a capacidade de um projeto atrair financiamento e é amplamente em relatórios produzidos por atores multilaterais, como no PPP *Reference Guide* do Banco Mundial (World Bank Group, WBG), e em inúmeras publicações do Banco Interamericano de Desenvolvimento (Inter-American Development Bank, IDB), Banco Asiático de Desenvolvimento (*Asian Development Bank*, ADB) e Banco Europeu para Reconstrução e Desenvolvimento (*European Bank for Reconstruction and Development, EBRD*). O termo já integrou o jargão comum do setor e é usado porque concentra, numa palavra, o juízo dos financiadores sobre a capacidade de um projeto climático fechar financiamento — conectando preparação de projetos, de *risking* e critérios de crédito em um padrão comum de mercado.

bancos de desenvolvimento passaram a operar com governança e métricas de resultado explícitas[2] .

O contexto macroinstitucional de 2024–2025 oferece uma janela particularmente favorável para estados. Em abril de 2025, o Comitê Gestor do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima aprovou plano anual de aplicação com 11,2 bilhões de reais para projetos de mitigação e adaptação, combinando linhas reembolsáveis operadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social em áreas como transição energética, mobilidade, recursos hídricos, florestas nativas e indústria verde, com parcela não reembolsável sob gestão do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. O registro oficial explicita as áreas elegíveis e a governança do fundo, oferecendo previsibilidade para a preparação de propostas estaduais alinhadas a resultados verificáveis.

No plano soberano, o Tesouro Nacional estruturou o arcabouço brasileiro para títulos sustentáveis com categorias de despesas elegíveis, que incluem energia renovável, eficiência energética, transporte limpo, gestão hídrica, biodiversidade, manejo sustentável do uso da terra e adaptação.

O "arcabouço" adota boas práticas da "*International Capital Market Association*", estabelece processo de avaliação e seleção de despesas e publica relatórios pré-emissão e de alocação e impactos, o que cria trilhas de transparência e padrões de mensuração aplicáveis também a programas subnacionais. As categorias e a governança estão documentadas no portal do Tesouro e em comunicações a investidores, incluindo relatórios de alocação[3] .

Para catalisar capital privado, o programa Eco Invest Brasil combina instrumentos de proteção cambial e financiamento misto, realizado por rodadas competitivas que avaliam alavancagem e métricas ambientais, com foco recente na recuperação produtiva de terras degradadas.

Em 2025, o segundo leilão[4] de restauração e reflorestamento realizado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), em parceria com o Banco

---

[2] *Brazi's Sovereign Sustainable Bond Frameworks*, 2023, Tesouro Nacional, https://thot-arquivos.tesouro.gov.br/publicacao-anexo/21043

[3] Brazil's Sovereign Sustainable Bond Frameworks, 2023, Tesouro Nacional, https://thot-arquivos.tesouro.gov.br/publicacao-anexo/21043

[4] O primeiro leilão de restauração e reflorestamento, realizado em 2024, teve um volume financeiro menor, mas foi considerado um marco na estruturação do mercado. Ele movimentou R$ 410 milhões em demanda contratada e mobilizou cerca de R$ 1,7 bilhão em compromissos potenciais de investimento,

Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e com apoio técnico da Plataforma Mercados da Sociobiodiversidade e Restauração, que integra o programa Floresta+, dentro da Agenda de Economia Verde do governo federal. registrou demanda catalítica de 17,3 bilhões de reais e potencial de até 31,4 bilhões de reais em investimentos totais, com meta de restaurar cerca de 1,4 milhão de hectares; o desenho financeiro prevê o uso de veículos como fundos de investimento em direitos creditórios e fundos agroindustriais.

O programa evoluiu para incluir rodada voltada à atração de participação societária com proteção cambial parcial, reforçando sua utilidade para operações que envolvam capital externo. Esses elementos reduzem barreiras típicas de risco de câmbio e de execução para projetos estaduais.

No ambiente internacional, bancos multilaterais de desenvolvimento reportaram novo recorde de financiamento climático em 2024, sinalizando disponibilidade de crédito concessionário e de cofinanciamento para carteiras alinhadas a metas de mitigação e adaptação, em paralelo a compromissos crescentes de investidores privados. Essa expansão, somada à convergência regulatória doméstica, sugere que operações estaduais bem documentadas e com resultados auditáveis tendem a atrair recursos externos e estruturantes[5] .

A Taxonomia Sustentável Brasileira[6], aprovada em 2025 por comitê interinstitucional criado pelo Decreto nº 11.961, de 22 de março de 2024, estabelece critérios técnicos e salvaguardas mínimas para rotular atividades alinhadas à mitigação, adaptação e objetivos sociais, com cadernos setoriais que cobrem eletricidade e gás, água e resíduos, construção e transportes, entre outros.

Embora voluntária em sua adoção, a taxonomia foi concebida como referência para políticas públicas e para o sistema financeiro, com expectativa de integração progressiva a regramentos setoriais e às exigências de reporte e verificação, o que reduz assimetrias de informação, melhora comparabilidade e acelera diligências de financiadores. Para estados, internalizar a taxonomia como requisito de elegibilidade e reporte tende a aumentar a previsibilidade de captação e a qualidade das carteiras.

---

com a meta de restaurar 230 mil hectares de vegetação nativa. O modelo também usou fundos de investimento em direitos creditórios (FIDC) e fundos agroambientais como mecanismos financeiros, servindo de piloto para o formato expandido adotado no segundo leilão, maior e mais relevante, em 2025.

[5] https://www.reuters.com/sustainability/cop/development-banks-climate-finance-hit-record-137-billion-2024-2025-09-09/

[6] Taxonomia Sustentável Brasileira, Ministério da Fazenda, 2025, https://www.gov.br/fazenda/pt-br/orgaos/spe/taxonomia-sustentavel-brasileira.

2.3. OBJETIVOS DO RELATÓRIO

Diante desse ecossistema, este Relatório tem quatro objetivos: o primeiro, traduzir as prioridades setoriais da Lei nº 9.364, de 2024, em frentes de investimento financiáveis, explicitando características de risco, horizontes de maturação e hipóteses de geração de receitas ou benefícios públicos mensuráveis no contexto sergipano; o segundo, mapear as fontes e os instrumentos disponíveis no Brasil e no exterior e seus requisitos de elegibilidade, com ênfase em linhas do Fundo Clima, no uso do arcabouço de títulos sustentáveis, em leilões Eco Invest, em operações com bancos multilaterais e em fundos climáticos internacionais; o terceiro, propor um mapa estratégico de financiamento que conecte, para cada prioridade legal, uma combinação de fontes reembolsáveis e não reembolsáveis, mitigadores de risco, gatilhos de desembolso por resultado e requisitos de medição, verificação e auditoria; e, por fim, o quarto, organizar rotas operacionais de captação e execução que sejam compatíveis com cronogramas de chamadas, ciclos orçamentários e exigências de transparência, incluindo a produção de dossiês de elegibilidade e de planos de monitoramento e reporte.

2.4. METODOLOGIA APLICADA

A abordagem metodológica combina análise documental de elegibilidade, critérios de salvaguardas e padrões de mensuração adotados por programas federais e investidores, com a modelagem de estruturas de "*blended finance*" (finanças combinadas)" e de mitigação de risco usualmente solicitadas em operações com capital privado ou estrangeiro. Em todas as seções, dados e afirmações são referenciados a fontes públicas de alta confiabilidade, e as recomendações operacionais incorporam requisitos de diligência e de transparência presentes no arcabouço soberano e nos programas nacionais citados.

Por fim, o documento está organizado em quatro blocos analíticos: o Capítulo 2 descreve o contexto estratégico e a governança do financiamento no Brasil, com implicações para estados e para Sergipe; o Capítulo 3 relaciona as prioridades setoriais da Lei nº 9.364, de 2024 e identifica as especificidades que influenciam desenho financeiro e monitoramento; o Capítulo 4 sistematiza fontes e instrumentos, com critérios e exemplos; e o Capítulo 5 apresenta o mapa estratégico de financiamento por prioridade, seguido dos capítulos sobre rotas operacionais, estudos de caso, plano de implementação e referências.

Essa organização visa orientar a preparação de uma carteira financiável, com documentação técnica e financeira apta a diligências e auditorias, e com foco na execução de políticas públicas climáticas em Sergipe, em linha com padrões nacionais e internacionais de transparência e mensuração.

3. CONTEXTO ESTRATÉGICO E GOVERNANÇA

Este Capítulo situa o financiamento climático disponível ao Brasil em 2024–2025 e explicita suas implicações para estados, com foco em como Sergipe pode estruturar uma carteira financiável, transparente e com métricas de resultado. O pano de fundo combina três vetores recentes: (i) a escala e o reordenamento do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, com plano de aplicação de 11,2 bilhões de reais em 2025; (ii) o arcabouço soberano brasileiro para títulos sustentáveis, que define categorias elegíveis, procedimentos de seleção e reporte de alocação e impactos; e (iii) a consolidação de mecanismos de catalisação de capital privado, como o Eco Invest Brasil, voltados a reduzir barreiras de risco, inclusive cambial, e a ampliar a participação de investidores em restauração, infraestrutura e transição energética. Em paralelo, bancos multilaterais de desenvolvimento reportam máximas históricas de financiamento climático[7] , e a Taxonomia Sustentável Brasileira oferece um padrão de referência para rotulagem, elegibilidade e monitoramento de atividades, com governança interinstitucional formalizada por decreto. Esses elementos, quando tomados em conjunto, formam um trilho de elegibilidade e de transparência para carteiras estaduais e municipais que apresentem prontidão técnica, salvaguardas e medição de resultados[8] .

3.1. PANORAMA DO ECOSSISTEMA DE FINANCIAMENTO CLIMÁTICO NO BRASIL E IMPLICAÇÕES PARA ESTADOS

O financiamento climático no Brasil passa, em primeiro lugar, pelos instrumentos federais de maior escala e previsibilidade. Em abril de 2025, o Comitê Gestor do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima aprovou plano anual de aplicação

[7] Segundo o *Joint Report on Multilateral Development Banks' Climate Finance* 2023 — elaborado pelo Banco Mundial (World Bank), Banco Interamericano de Desenvolvimento (IDB), Banco Europeu de Investimento (EIB) e outros — o volume total de financiamento climático concedido pelos bancos multilaterais atingiu US$ 60,7 bilhões em 2023 para países de renda média e baixa, representando o maior valor já registrado desde o início da série em 2011. Somando-se as operações em países desenvolvidos, o total global ultrapassou US$ 98 bilhões, com cerca de 65% destinados à mitigação e 35% à adaptação.

[8] https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/04/fundo-clima-aprova-r-11-2-bilhoes-em-investimentos-para-2025

com 11,2 bilhões de reais, combinando operações reembolsáveis, via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, em frentes como desenvolvimento urbano resiliente, logística e mobilidade de baixa emissão, transição energética, florestas nativas e recursos hídricos, indústria verde e serviços e inovação, além de uma modalidade não reembolsável operada pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

O comunicado oficial detalha a governança do Comitê e aponta chamadas temáticas adicionais, exemplificadas pelo edital "Periferias Verdes Resilientes", sinalizando a coexistência de financiamentos de capital e de aportes a fundo perdido para adaptação urbana e soluções baseadas na natureza. Esse desenho cria alinhamento natural com prioridades setoriais de estados que consigam transformar linhas gerais em projetos com documentação de elegibilidade e métricas de resultado[9] .

A operacionalização do fundo em sua vertente reembolsável encontra-se refletida nas páginas programáticas do BNDES, que apresentam as modalidades, elegibilidades e parâmetros financeiros por eixo. As linhas de transição energética abrangem modernização de redes, eletrificação de setores intensivos em emissões e hidrogênio de fonte renovável, com limites de financiamento por grupo econômico, prazos de amortização e carência definidos; outros módulos cobrem logística e mobilidade verdes, florestas nativas e recursos hídricos, serviços e inovação e aquisição de máquinas verdes.

Além do canal direto, bancos regionais do Sistema Nacional de Fomento, como o Banco do Nordeste, operam a modalidade automática com prazos e tetos específicos para setor público e privado, ampliando capilaridade e velocidade de execução. Essa rede de execução permite a estados combinarem operações estruturantes com operações descentralizadas, desde que adotem padrões comuns de salvaguardas, indicadores e verificação[10] .

O segundo vetor, considerando o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC) como o primeiro e principal eixo do sistema, é o canal soberano de títulos sustentáveis. O Tesouro Nacional lançou, em 2023, o arcabouço brasileiro para títulos soberanos sustentáveis, com governança interministerial por meio do Comitê de Finanças Sustentáveis Soberanas, critérios de exclusão claros e um conjunto de

[9]https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/04/fundo-clima-aprova-r-11-2-bilhoes-em-investimentos-para-2025
[10]https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima-transicao-energetica

categorias elegíveis que cobrem prevenção e controle de poluição, energia renovável, eficiência energética, transporte limpo, gestão sustentável do uso da terra e da biodiversidade, gestão das águas e adaptação.

O arcabouço foi elaborado com apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento e do Banco Mundial, e prevê avaliações externas independentes e relatórios de alocação e impacto, publicados no portal Tesouro Transparente. Embora direcionado à dívida federal, o framework serve como referência para carteiras estaduais no diálogo com investidores institucionais, porque antecipa expectativas sobre elegibilidade, mensuração e transparência. Estados que organizarem seus programas de investimento com base nessas categorias e nos processos de seleção e reporte tenderão a reduzir custos de diligência e a acelerar a captação junto a bancos de desenvolvimento e mercados[11] .

A terceira peça é a catalisação de capital privado com mitigação de riscos. O Eco Invest Brasil, coordenado pelo Ministério da Fazenda com apoio técnico do Banco Interamericano de Desenvolvimento, realiza rodadas competitivas que combinam capital catalítico público com proteção cambial parcial e metas de alavancagem.

Como já mencionado acima, o segundo leilão de restauração e reflorestamento realizado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), em parceria com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e com apoio técnico da Plataforma Mercados da Sociobiodiversidade e Restauração — que integra o programa Floresta+, dentro da Agenda de Economia Verde do governo federal., em agosto de 2025, registrou demanda de 17,3 bilhões de reais e potencial de 31,4 bilhões de reais em investimentos totais em recuperação produtiva de áreas degradadas, com desembolsos previstos para 2025–2027 e meta de 1,4 milhão de hectares.

O desenho privilegia veículos de mercado de capitais e a participação de bancos, e já ensejou compromissos específicos, como a linha de 3,5 bilhões de reais anunciada por banco público para 200 a 230 mil hectares, a partir do capital catalítico do programa e de mobilização privada. Para estados, a implicação prática é a elegibilidade de projetos de restauração, agroflorestas e agricultura regenerativa tecnicamente maduros que apresentem métricas de solo, emissões e cobertura, e que possam ser estruturados como carteiras financiáveis com mitigadores de risco[12] .

[11] Títulos Públicos Sustentáveis. https://www.gov.br/tesouronacional/pt-br/divida-publica-federal/titulos-sustentaveis
[12] EcoInvest Brasil. https://www.gov.br/tesouronacional/pt-br/fomento-ao-investimento/eco-invest-brasil

No ambiente internacional, bancos multilaterais de desenvolvimento ampliaram substancialmente o volume de financiamento climático. Em 2023, o conjunto dos bancos multilaterais reportou 125 bilhões de dólares, montante 25 por cento superior ao do ano anterior; em 2024, o Grupo Banco Mundial divulgou recorde de 42,6 bilhões de dólares em seu ano fiscal, com 44 por cento do total de financiamento com co-benefícios climáticos e meta de 45 por cento para o exercício seguinte.

A literatura institucional recente destaca maior transparência sobre mensuração de co-benefícios e compromisso de metas por instituição. Para estados, esse movimento aumenta a disponibilidade de linhas concessionais, garantias e cofinanciamentos, desde que os projetos estejam alinhados a prioridades de mitigação e adaptação e apresentem documentação de salvaguardas, estudos de viabilidade e modelos de medição e verificação[13] .

A trajetória de consulta pública entre novembro de 2024 e março de 2025 resultou em uma primeira edição que prioriza mitigação, adaptação e objetivos sociais, com salvaguardas mínimas e diretrizes para monitoramento, relato e verificação. Apesar do caráter voluntário, o governo federal anunciou a intenção de usar a taxonomia como farol de políticas e instrumento de interoperabilidade internacional. A adoção, por estados, como requisito interno de elegibilidade tende a reduzir assimetrias de informação, riscos de rotulagem inadequada e custos de transação em operações com bancos de desenvolvimento e investidores.

Em síntese, o ecossistema brasileiro de financiamento climático oferece três trilhos operacionais que se reforçam mutuamente para carteiras estaduais: linhas reembolsáveis e editais não reembolsáveis do Fundo Clima e de bancos de desenvolvimento; arcabouço soberano de títulos sustentáveis como referência de elegibilidade, mensuração e reporte; e mecanismos de "*blended finance*" (finanças combinadas) e proteção cambial do Eco Invest para destravar participação privada, sobretudo em restauração e cadeias produtivas verdes.

Esse arranjo é reforçado pela expansão de financiamento climático dos bancos multilaterais e por um padrão nacional de taxonomia. Para Sergipe, as implicações imediatas são organizar um pipeline de projetos por prioridade setorial, estruturar dossiês de elegibilidade com base no arcabouço soberano e na taxonomia, e preparar

[13] Joint MDBs Report: Climate financing hits record $125 billion in 2023, https://www.afdb.org/en/news-and-events/press-releases/joint-mdbs-report-climate-financing-hits-record-125-billion-2023-74288

instrumentos de mitigação de risco e de gatilhos de desembolso por resultado compatíveis com o Fundo Clima e com operações de cofinanciamento.

3.2. COORDENAÇÃO FEDERATIVA E PAPEL DO ESTADO DE SERGIPE

A coordenação federativa eficaz é condição para converter instrumentos nacionais em execução territorial com previsibilidade e controle de riscos. Em nível federal, três eixos ancoram os fluxos com impacto direto sobre carteiras estaduais: (i) o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima com plano anual de aplicação aprovado para 2025 e chamadas complementares; (ii) o arcabouço soberano de títulos sustentáveis do Tesouro Nacional com categorias elegíveis e reporte de alocação e impactos; e (iii) os mecanismos de catalisação de capital privado com mitigação de risco cambial como o Eco Invest Brasil.

Os multilaterais têm complementado esse ecossistema com uma série de instrumentos que bateram recordes, em montantes para financiamento climático. Em nível estadual, a SEMAC lidera a priorização programática e a preparação do pipeline, a Desenvolve – SE, criada pelo Decreto Estadual nº 40.137, de 30 de agosto de 2019, como Agência de Fomento do Estado de Sergipe S.A.**,** vinculada à Secretaria de Estado da Fazenda (SEFAZ), com a finalidade de promover o desenvolvimento econômico e social por meio do financiamento de atividades produtivas e sustentáveis., executa a engenharia financeira e contratual, e o Conselho Estadual do Meio Ambiente provê supervisão e deliberação de mudanças estruturais. A articulação com o Sistema Nacional de Fomento amplia capilaridade e velocidade de execução.

Tabela 2.1-A Matriz de coordenação e entregas

NÍVEL/ÓRGÃO	ENTREGAS-CHAVE	EVIDÊNCIA PÚBLICA
União – MMA e Comitê Gestor do Fundo Clima	Plano anual de aplicação, chamadas temáticas não reembolsáveis, diretrizes de elegibilidade e salvaguardas	Aprovação do PAA 2025 e lançamento de edital de adaptação urbana; comunicados oficiais.
União – BNDES (Fundo Clima reembolsável)	Linhas setoriais de crédito concessionário; parâmetros financeiros; operação direta e via SNOF	Páginas programáticas de linhas para energia, mobilidade, florestas nativas, recursos hídricos, serviços e inovação.
União – Tesouro Nacional e Comitê de Finanças Sustentáveis Soberanas	Arcabouço de títulos sustentáveis; categorias elegíveis; relatório de alocação e impactos; opinião de segunda parte	Framework, governança e relatórios no Tesouro Transparente e comunicações a investidores.
União – Ministério da Fazenda e BID (Eco Invest Brasil)	Leilões catalíticos; proteção cambial parcial; metas de alavancagem; foco em restauração e cadeias verdes	Resultado do 2º leilão, demanda e potencial de investimento; notas ministeriais.

NÍVEL/ÓRGÃO	ENTREGAS-CHAVE	EVIDÊNCIA PÚBLICA
Multilaterais – Grupo Banco Mundial e pares	Crédito concessionário, garantias e cofinanciamentos; metas de co-benefícios climáticos	Recordes recentes de financiamento climático e metas institucionais publicadas.
Sergipe – SEMAC	Priorizar pipeline conforme Lei 9.364/2024; dossiês de elegibilidade; integração com indicadores e MRV	Atos e agendas estaduais de governança ambiental e climática.
Sergipe – Desenvolve -SE	Estruturação financeira; contratações; garantias e contas vinculadas; convênios com SNOF	Lei de criação e comunicados institucionais sobre escopo e projetos.
Sergipe – Conselho Estadual do Meio Ambiente	Supervisão colegiada; validação de salvaguardas; deliberação de mudanças	Composição e competências publicadas pelo Estado.
Sistema Nacional de Fomento (SNOF) e agentes financeiros regionais	Capilaridade de crédito; repasses e cofinanciamentos; atendimento a municípios e MPMEs	Desempenho recente do sistema em operações com municípios e empresas.

Fonte: formulação própria

Esse arranjo se operacionaliza por três artefatos documentais que devem ser padronizados. O dossiê de elegibilidade traduz a prioridade setorial em descrição técnica do ativo, alinhamento à taxonomia, estimativas de custo e cronograma, na mesma gramática do arcabouço soberano e do Fundo Clima. O plano de resultados e verificação define indicadores, periodicidade de medição, fontes de dados e responsáveis pelo reporte, preparando a transposição para relatórios federais de alocação e impacto. O caderno de salvaguardas consolida avaliação ambiental e social, mecanismos de participação e atendimento a normas de financiadores, facilitando diligências e auditorias.

A SEMAC coordena a produção desses artefatos; a Desenvolve - SE operacionaliza contratações e instrumentos financeiros; o conselho colegiado supervisiona alterações materiais.

A conexão com o Sistema Nacional de Fomento viabiliza a difusão territorial de linhas temáticas e a montagem de pacotes para prefeituras e empresas locais. Indicadores recentes do sistema evidenciam participação dominante em operações com municípios e carteira ativa relevante para micro, pequenas e médias empresas, permitindo estruturar repasses e cofinanciamentos que combinem crédito concessionário, assistência técnica e desembolsos condicionados a marcos de implementação. Essa capilaridade é especialmente útil quando as chamadas federais requerem contrapartida municipal ou integração entre políticas setoriais.

3.3. TAXONOMIA SUSTENTÁVEL BRASILEIRA E IMPACTOS SOBRE A BANCABILIDADE DE CARTEIRAS ESTADUAIS (SERVIÇOS E INFORMAÇÕES DO BRASIL)

A Taxonomia Sustentável Brasileira organiza um léxico comum para classificar atividades, ativos e projetos alinhados a objetivos climáticos, ambientais e sociais, permitindo que governos, reguladores, empresas, instituições financeiras e investidores se orientem por critérios técnicos comparáveis. Para um estado, a adoção desse léxico na fase de concepção reduz assimetrias de informação, melhora a previsibilidade de análises de elegibilidade e encurta os ciclos de decisão de financiadores públicos e privados. Em termos práticos, a taxonomia transforma prioridades em itens verificáveis, com critérios de contribuição substancial, salvaguardas mínimas e diretrizes de monitoramento, relato e verificação. Isso facilita a montagem de dossiês de elegibilidade, a negociação de linhas concessionais, a estruturação de títulos rotulados e a conexão com mecanismos catalíticos de capital privado.

Tabela 2.3-A Correspondência entre prioridades da Lei nº 9.364, de 2024 e setores da Taxonomia Sustentável Brasileira

PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364/2024	CORRESPONDÊNCIA PRINCIPAL NA TAXONOMIA	EXEMPLOS DE CRITÉRIOS TÉCNICOS USUAIS	EVIDÊNCIAS E MÉTRICAS SUGERIDAS PARA O DOSSIÊ
Conservação e eficiência energética; descarbonização da geração e cogeração	Eletricidade e gás	Limites de intensidade de emissões na geração; participação mínima de renováveis; cogeração com rendimento global acima de patamar de referência; redução de perdas técnicas em redes	Fatores de emissão por MWh; participação renovável no mix; rendimento de cogeração; perdas técnicas e comerciais; curva de carga e indicadores de modernização de rede
Transporte e mobilidade de baixa emissão	Transporte, armazenagem e correio	Emissões por passageiro-quilômetro e por tonelada-quilômetro; metas de eletrificação de frotas públicas; infraestrutura de recarga; priorização de transporte coletivo e ativo	Inventário de emissões do sistema; participação de veículos de baixa emissão; cobertura e confiabilidade do transporte coletivo; tempo de viagem e transferência modal
Indústria e mineração; processos e gases industriais	Indústrias extrativas e de transformação	Intensidade energética por unidade de produto; substituição de	Consumo específico de energia; fator de emissão do combustível; taxas de

PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364/2024	CORRESPONDÊNCIA PRINCIPAL NA TAXONOMIA	EXEMPLOS DE CRITÉRIOS TÉCNICOS USUAIS	EVIDÊNCIAS E MÉTRICAS SUGERIDAS PARA O DOSSIÊ
		combustíveis e insumos fósseis; controle de gases industriais de alto GWP; reciclagem e simbiose industrial	reaproveitamento de insumos; medições de SF6, HFCs e PFCs quando aplicável
Setor doméstico e resíduos; redução de metano em aterros	Água, esgoto, resíduos e descontaminação	Captura e queima ou uso energético de biogás; desvio de orgânicos; compostagem; modernização de aterros e ETEs com controle de emissões	Taxa de captura de CH4; geração e uso de biogás; percentual de orgânicos desviados; eficiência de ETEs; conformidade com normas sanitárias e ambientais
Setor público; padrões de eficiência, qualidade do ar e transparência	Construção; eletricidade e gás; serviços de planejamento	Desempenho energético de edificações públicas; iluminação pública eficiente; sistemas de gestão e transparência de dados; planos de qualidade do ar	Consumo específico por m²; taxa de substituição por luminárias eficientes; disponibilidade de dados abertos; indicadores de material particulado e NOx em áreas urbanas
Uso do solo e cobertura vegetal urbana; restauração florestal e PSA	Agricultura, pecuária, proteção florestal e pesca; serviços de planejamento	Restauração de ecossistemas com métricas de carbono e biodiversidade; soluções baseadas na natureza em infraestrutura verde urbana; mecanismos de PSA com adicionalidade	Estoques e fluxos de carbono; índices de conectividade e diversidade; área restaurada por ano; número de contratos de PSA; indicadores de serviços ecossistêmicos
Setor elétrico descentralizado e eficiência em edificações	Eletricidade e gás; construção	Micro e minigeração distribuída renovável; reabilitação profunda de edificações com metas de consumo por uso final; gestão de demanda	Capacidade instalada distribuída; perfil de autoconsumo; redução percentual de consumo por uso final; indicadores de demanda máxima e fator de carga
Recursos hídricos; gestão costeira e marinha	Água, esgoto, resíduos e descontaminação; serviços de planejamento	Redução de perdas; reuso e aproveitamento de águas pluviais; proteção de	Índice de perdas na distribuição; volume de reuso; áreas de proteção efetiva; indicadores de risco

PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364/2024	CORRESPONDÊNCIA PRINCIPAL NA TAXONOMIA	EXEMPLOS DE CRITÉRIOS TÉCNICOS USUAIS	EVIDÊNCIAS E MÉTRICAS SUGERIDAS PARA O DOSSIÊ
		mananciais; planejamento costeiro resiliente	costeiro e de salinização; planos de contingência

Fonte: elaboração própria.

A utilidade dessa correspondência é imediata para a preparação de dossiês de elegibilidade. Em cada prioridade, o proponente descreve o ativo, demonstra a contribuição substancial segundo os critérios do caderno setorial correspondente, comprova o atendimento às salvaguardas mínimas e antecipa um plano de monitoramento e verificação. Em termos práticos, essa documentação converte intenções programáticas em requisitos verificáveis que dialogam com financiadores de forma padronizada.

Para energia, por exemplo, a conversão de metas genéricas de "modernização de rede" em métricas de perdas técnicas, incremento de capacidade de resposta a demanda e participação renovável reduz discussões conceituais e concentra a análise na viabilidade técnica e financeira. Em mobilidade, o deslocamento do debate para indicadores de emissões por passageiro-quilômetro, confiabilidade do serviço e infraestrutura de recarga permite avaliar, com base em evidências, a contribuição real do projeto para mitigação e qualidade de vida.

A adoção da taxonomia como filtro interno de elegibilidade tem três efeitos sobre a bancabilidade: o primeiro, melhora a qualidade da informação ex ante, pois obriga a explicitar limites, metas e fontes de dados, reduzindo incerteza para o financiador; o segundo, cria interoperabilidade com outros instrumentos nacionais, como o arcabouço soberano para títulos sustentáveis e as linhas do Fundo Clima, que trabalham com princípios semelhantes de seleção e reporte; o terceiro, prepara a carteira para diligências e auditorias, pois a lógica de contribuição substancial, de não causar dano significativo e de salvaguardas é a mesma esperada por bancos de desenvolvimento, investidores institucionais e verificadores independentes. O resultado é um ganho cumulativo de credibilidade e de velocidade de processamento.

Do ponto de vista operacional, é recomendável instituir uma rotina de revisão taxonômica em três etapas: a primeira, é o enquadramento, no qual se verifica se a atividade do projeto figura no caderno setorial aplicável e se há critérios de mitigação ou adaptação pertinentes; a segunda, é a verificação de salvaguardas, que avalia o atendimento a requisitos mínimos sociais e ambientais, incluindo relações de trabalho,

não discriminação, integridade e prevenção de riscos ambientais relevantes; a terceira, é a definição do plano de monitoramento, relato e verificação, com seleção de indicadores, periodicidade de medição, fontes primárias e secundárias e procedimentos de auditoria. Cada etapa se traduz em artefatos documentais que acompanham o projeto desde a submissão até a operação e a prestação de contas.

Projetos em uso do solo e restauração tendem a exigir atenção adicional ao desenho de indicadores. Para que a contribuição substancial seja reconhecida, é útil combinar métricas de carbono, biodiversidade e serviços ecossistêmicos. O carbono pode ser estimado por mudanças de estoque em biomassa e no solo com protocolos de amostragem e de sensoriamento remoto já aceitos por verificadores. A biodiversidade pode ser acompanhada com índices de diversidade e conectividade e com o monitoramento de espécies indicadoras. Serviços ecossistêmicos urbanos, por sua vez, podem ser avaliados por métricas de temperatura de superfície, interceptação de águas pluviais e conforto térmico em áreas de infraestrutura verde.

A inclusão de mecanismos de pagamento por serviços ambientais reforça a adicionalidade e cria uma rotina de desembolsos condicionados a resultados, com forte aderência ao uso de recursos subsidiados ou condições mais favoráveis do que as praticadas no mercado e a instrumentos catalisadores[14]

No eixo de resíduos e metano, o dossiê deve explicitar a linha de base de deposição de resíduos, a fração de biodegradáveis e a eficiência de captura de biogás por célula de aterro, além do destino energético ou da queima controlada. O desvio de orgânicos e a compostagem urbana exigem metas quantificadas, plano de logística reversa e integração com serviços municipais. Esses elementos permitem construir, de forma rastreável, a contribuição substancial para mitigação e para a saúde pública, e

[14] Mecanismos financeiros desenhados para atrair e alavancar capital privado — ou seja, funcionam como um gatilho (catalisador) que reduz riscos e aumenta a atratividade de investimentos sustentáveis. Os principais exemplos são:

1. Garantias parciais ou integrais de crédito – o setor público cobre parte do risco de inadimplência, reduzindo o custo do financiamento privado.
2. Fundos de blended finance – combinam capital público ou filantrópico (geralmente concessional, isto é, com juros reduzidos) com capital comercial, permitindo taxas de retorno mais equilibradas.
3. Fundos de *first loss* (primeira perda) – o recurso público absorve as perdas iniciais, protegendo investidores privados.
4. Hedges cambiais públicos – mecanismos que neutralizam o risco de câmbio em operações internacionais (como o *Eco Invest Brasil*).
5. Pagamentos por resultado (*results-based finance*) – desembolsos condicionados ao atingimento de metas de impacto verificáveis (por exemplo, hectares restaurados ou emissões evitadas).

orientam o dimensionamento financeiro de plantas de triagem, biodigestão e modernização de aterros.

Indústria e mineração demandam métricas de intensidade energética e carbônica por unidade de produto, com cronograma de substituição de combustíveis e insumos fósseis e de controle de gases industriais de alto potencial de aquecimento. Onde couber, a simbiose industrial e o reaproveitamento de calor residual ampliam a contribuição substancial. A documentação deve trazer balanços de massa e energia, curvas de aprendizado e justificativa de investimentos, de modo que o financiador avalie o ganho líquido em emissões e produtividade com segurança.

No setor público, a taxonomia oferece trilhas para reabilitação de edificações com metas de desempenho energético e para modernização de iluminação pública, demandando inventários de consumo por m², diagnóstico de equipamentos e plano de substituição com garantias de desempenho. A implantação de sistemas de gestão e transparência de dados é parte do desenho, uma vez que o reporte público periódico é, por si, um ativo de redução de risco para financiadores e para auditorias.

A conexão entre taxonomia e mecanismos de "*blended finance*" (finanças combinadas) é direta. Em projetos que combinem recursos reembolsáveis e não reembolsáveis, os critérios taxonômicos funcionam como fronteira objetiva para alocação de capital subsidiado nas parcelas de maior risco tecnológico ou social, deixando o capital privado em componentes de risco médio e retorno mais previsível. O desenho de garantias e contas vinculadas segue a mesma lógica, com eventos de desembolso atrelados a indicadores de contribuição substancial já definidos no dossiê. Essa arquitetura alinha incentivos e facilita a participação de investidores institucionais que, por regulação prudencial ou por mandatos fiduciários, exigem métricas claras de impacto.

Há especificidades regionais que devem ser incorporadas sem perder a coerência com os cadernos setoriais. No semiárido, por exemplo, projetos de água e esgoto devem considerar indicadores de perdas e de reuso ajustados às condições de escassez, e iniciativas de infraestrutura verde urbana devem dialogar com métricas de ilha de calor e de escorrimento superficial. Em eletricidade, o papel da geração distribuída renovável e da gestão de demanda pode ganhar ênfase maior do que em regiões de outra configuração de rede. A taxonomia acomoda essas nuances desde que as evidências sejam robustas e os indicadores comparáveis, fator que reforça a necessidade de um plano estadual de dados climáticos e ambientais integrados aos projetos.

É aconselhável que o Estado estabeleça um comitê técnico interno para revisão taxonômica, com representação das áreas setoriais, da Secretaria de Meio Ambiente e da Agência de Fomento. Esse comitê recebe as propostas, verifica enquadramento, solicita ajustes, emite parecer de elegibilidade e acompanha a execução até a prestação final de contas. O fluxo de trabalho deve ser padronizado, com prazos máximos por etapa e checklists de documentos. A publicação, em portal próprio, de um repositório de projetos elegíveis e de seus indicadores de resultado aumenta a transparência e cria um banco de casos que acelera futuras submissões.

Por fim, convém enfatizar que a utilidade da taxonomia não se restringe ao acesso a recursos. Ao dar previsibilidade e comparabilidade a critérios técnicos, ela desarma controvérsias comuns na discussão pública e juridicamente sensíveis, como alegações de "*greenwashing*" ou de priorização indevida de investimentos. O uso consistente do léxico e dos critérios reduz a litigiosidade potencial, melhora a qualidade do debate político e produz ganhos reputacionais. Em mercados de capitais, isso se traduz em menor prêmio de risco para emissões rotuladas; em bancos de desenvolvimento, em processos de análise mais céleres; e, em fundos públicos, em maior previsibilidade de chamadas e desembolsos.

4. PRIORIDADES SETORIAIS DA LEI Nº 9.364, DE 2024

Este Capítulo traduz as prioridades do Capítulo II da Lei nº 9.364, de 2024, em frentes financiáveis, articulando critérios técnicos, indicadores de resultado e rotas de acesso a instrumentos nacionais e internacionais. A abordagem organiza, para cada prioridade, a lógica de elegibilidade, a relação com a Taxonomia Sustentável Brasileira, as métricas de monitoramento e as janelas de financiamento atualmente disponíveis no país.

Sempre que pertinente, são trazidos parâmetros regulatórios e números recentes de políticas setoriais, de modo a alinhar a preparação de dossiês estaduais a práticas aceitas por financiadores públicos e privados.

4.1. CONSERVAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA; DESCARBONIZAÇÃO DA GERAÇÃO E COGERAÇÃO

A prioridade de conservação e eficiência de energia, associada à descarbonização da geração e à cogeração de alta eficiência, é um dos eixos com maior prontidão para financiamento, pois combina regulação consolidada, linhas de crédito concessionário e métricas padronizadas de desempenho. Em energia elétrica, convivem três camadas de ação.

A primeira ação é a redução de consumo final por meio de projetos de eficiência em edificações públicas, iluminação pública, água e saneamento e processos industriais, que podem ser ancorados por programas regulatórios e por linhas do Fundo Clima; a segunda, é a modernização e a expansão de infraestrutura de geração e redes, com foco em fontes renováveis e em redução de perdas técnicas e comerciais.; e a terceira, é a cogeração de alta eficiência em arranjos industriais, com substituição de combustíveis e aproveitamento de calor residual.

Do ponto de vista regulatório, o Brasil opera desde 2022 com o marco legal da micro e minigeração distribuída[15], que estabeleceu segurança jurídica para a geração junto à carga e sistemas de compensação, com cronograma de transição de encargos e regras de conexão.

A regulamentação pela Agência Reguladora garantiu a continuidade de incentivos, definiu um período de transição 2023–2029, com contribuição gradativa aos custos de rede e manteve os benefícios integrais até 2045 para pedidos protocolados até 6 de janeiro de 2023.

Em fevereiro de 2023, a autoridade setorial reportou mais de 780 mil conexões e 7,6 gigawatts de potência instalada desde a lei, evidenciando a tração do instrumento e sua relevância para políticas subnacionais de geração distribuída. Esses elementos orientam o desenho de projetos estaduais de autoconsumo, consórcios públicos e

[15] Lei nº 14.300 de janeiro de 2022 - https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm

soluções para serviços essenciais como água e saneamento, que podem acoplar geração local à redução de perdas e ao gerenciamento de demanda.

Na dimensão de eficiência energética, o Programa de Eficiência Energética regulado pela agência setorial gerou um acervo de projetos executados em consumidores residenciais, comerciais, industriais e poder público. Avaliação publicada em 2023 analisou uma amostra de 1.485 projetos entre 2008 e 2022 e reportou economias anuais de energia com foco em impactos distributivos, notadamente entre consumidores de baixa renda.

Embora os números divulgados na notícia sejam agregados, o ponto relevante é a existência de metodologia de cálculo de economias, verificação de resultados e relatórios finais, que podem ser espelhados em projetos estaduais para padronizar a medição de resultados e habilitar desembolsos condicionados. Em Sergipe, essa referência permite construir pacotes de retrofit de edificações públicas e iluminação pública com indicadores comparáveis, reduzindo custos de diligência e viabilizando crédito concessionário[16] .

Para financiar investimentos, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, em sua vertente reembolsável operada pelo banco de desenvolvimento, mantém linhas específicas para transição energética e uma modalidade automática via agentes financeiros do Sistema Nacional de Fomento.

No módulo de transição energética, os parâmetros publicados incluem valor máximo por grupo econômico, participação do banco nos itens financiáveis e prazos de amortização diferenciados para eólica e demais atividades. Na modalidade automática, os prazos chegam a 24 anos para eólica e a 16 anos para outras frentes de transição, com condições estendidas para projetos nas regiões Norte e Nordeste, e janelas próprias para desenvolvimento urbano resiliente e indústria verde. Essas linhas são instrumentais para pacotes que combinem geração distribuída renovável, reabilitação energética de edifícios e redução de perdas em sistemas públicos essenciais, desde que os dossiês tragam a engenharia de medição e verificação e o plano de operação e manutenção[17] .

No Nordeste, o volume de aprovações com recursos do Fundo Clima cresceu de forma desproporcional em 2024, tornando a região um polo de transição energética.

---

[16] Avaliação dos resultados do Programa de Eficiência Energética regulado pela ANEEL: Sumário Executivo 2023, https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/237700

[17]https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima-transicao-energetica?utm

Comunicação recente da agência de notícias do banco de desenvolvimento registrou que o Fundo Clima encerrou 2024 com 10,2 bilhões de reais em aprovações no país, com expansão destacada no Nordeste. Essa dinâmica sinaliza capacidade de execução regional e sugere que carteiras bem preparadas em Sergipe podem se beneficiar da curva de aprendizado do ecossistema regional de agentes financeiros e consultores[18] .

A cogeração de alta eficiência aparece como alternativa para *clusters* industriais e para serviços com demanda térmica e elétrica contínua. A regulação federal define critérios de eficiência global para o enquadramento como cogeração eficiente e permite, quando atendidos os requisitos, o acesso a condições diferenciadas de contratação de energia e benefícios correlatos. Em arranjos com biomassa, gás renovável ou resíduos industriais, a cogeração agrega ganhos de eficiência e redução de emissões, com forte aderência a métricas de contribuição substancial em taxonomias. Projetos com calor residual e substituição de combustíveis em processos térmicos intensivos, desde que quantifiquem a intensidade energética por unidade de produto e a redução associada de emissões, tendem a ser elegíveis em linhas de transição energética e em instrumentos setoriais[19] .

A preparação de projetos para essa prioridade deve seguir uma lógica de quatro etapas: a primeira etapa é o diagnóstico energético, com inventários de consumo por uso final, curvas de carga, fator de carga, perdas técnicas e comerciais e estrutura tarifária; a segunda, é a modelagem de medidas de eficiência e de geração, validadas por análise de custo de ciclo de vida e por um plano de medição e verificação que detalhe fronteiras de medição, variáveis independentes e regressões de ajuste; a terceira, é o desenho financeiro, combinando linhas reembolsáveis do Fundo Clima, aportes municipais quando aplicável, contrapartidas e, se houver, instrumentos de "*blended finance*" (finanças combinadas) quando a carteira incluir capital privado; e a quarta, é o plano de operação e manutenção e de gestão de riscos, com metas de desempenho energético, cronogramas de substituição e contratos de desempenho quando cabíveis.

Para facilitar a montagem dos dossiês, a tabela a seguir organiza subfrentes típicas e indicadores de resultado, alinhados a critérios de elegibilidade e a práticas de mensuração aceitas por reguladores e financiadores.

[18]https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/socioambiental/Nordeste-e-regiao-que-mais-avanca-na-aprovacao-de-projetos-de-transicao-energetica
[19]https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2034

Tabela 3.1-A Subfrentes e indicadores para a prioridade de conservação e eficiência energética; descarbonização da geração e cogeração

SUBFRENTES	ATIVIDADES ELEGÍVEIS E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS	REFERÊNCIAS REGULATÓRIAS E DE FINANCIAMENTO
Iluminação pública eficiente	Substituição por luminárias com alto desempenho, controle de fluxo e telegestão; contratos com garantias de desempenho	Redução de kWh por ponto de luz; redução de demanda na ponta; taxa de disponibilidade do sistema	Programa de Eficiência Energética e metodologia de verificação; linhas Fundo Clima para desenvolvimento urbano resiliente e transição energética[20].
Edificações públicas e serviços essenciais	Retrofit de ar-condicionado, envoltória, automação, bombeamento eficiente em água e saneamento; geração fotovoltaica em autoconsumo	Redução de kWh por m² e por serviço prestado; fator de carga; perdas técnicas e comerciais em água e esgoto	Marco de micro e minigeração distribuída e regulamentação; linhas Fundo Clima automática; prazos e limites para Norte e Nordeste[21].
Geração distribuída renovável	Micro/mini geração em unidades públicas e privadas, autoconsumo remoto, consórcios públicos	MWh gerados; participação de renováveis no consumo; custo evitado; redução de perdas por proximidade à carga	Lei nº 14.300 e transição de encargos; indicadores de conexão e potência instalada reportados pela autoridade.
Redução de perdas técnicas e comerciais	Modernização de redes internas, medição inteligente, regularização de ligações, combate a perdas em saneamento	Redução percentual de perdas; redução de demanda máxima; melhoria do fator de potência	Diretrizes de eficiência e qualidade de serviço; linhas Fundo Clima setoriais com foco em serviços essenciais[22].
Cogeração de alta eficiência	Arranjos CHP com biomassa, biogás, gás renovável e calor residual; integração processo-elétrica	Eficiência global; intensidade energética por unidade de produto; tCO2e evitadas	Enquadramento federal de cogeração eficiente; critérios de elegibilidade em transição energética[23].

Fonte: elaboração própria

[20] Avaliação dos resultados do Programa de Eficiência Energética regulado pela ANEEL, 2023, https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/237700

[21] LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022, https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2022/lei-14300-6-janeiro-2022-792217-normaatualizada-pl.html?utm

[22] https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima-automatico-projetos-de-investimento?utm

[23] Plano Decenal de Expansão de Energia 2034, https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2034?utm

Em Sergipe, a priorização de pacotes com múltiplas medidas por município tende a aumentar a escala e a atratividade para agentes financeiros. A agregação de iluminação pública, retrofit de edificações e geração distribuída em blocos permite prazos e condições mais vantajosas, além de diluir custos de transação e padronizar contratos de desempenho e manutenção. Quando os serviços de água e esgoto estiverem incluídos, ganha-se também em impacto climático, pois a redução de perdas e de consumo elétrico em estações de bombeamento e tratamento representa parcela relevante do consumo municipal.

A presença de agentes do Sistema Nacional de Fomento com atuação regional e o histórico recente de aprovações no Nordeste sugerem que a execução pode ocorrer por repasses automáticos e por operações diretas em projetos estruturantes, desde que os dossiês incluam o plano de medição e verificação com indicadores de base, metas e periodicidade de reporte.

Em curto prazo, três riscos práticos merecem ser considerados e mitigados nos projetos: o primeiro, é o risco de desempenho energético inferior ao projetado, mitigável por contratos com garantias de desempenho, comissionamento independente e planos de manutenção; o segundo, é o risco regulatório de mudanças nas regras de compensação de energia em geração distribuída ao longo do período de transição, mitigado por análise jurídica e por cenários de sensibilidade para encargos e tarifas, à luz das normas de transição estabelecidas pela lei e pela reguladora; o terceiro, é o risco de operação e integração em cogeração industrial, mitigado por estudos térmicos detalhados, flexibilidade de carga e redundância operacional. A explicitação dessas estratégias de mitigação nos dossiês tende a reduzir o prêmio de risco e a acelerar decisões de financiamento.

Essa prioridade mantém alta aderência à Taxonomia Sustentável Brasileira nas frentes de eletricidade e gás e de construção, pois os critérios de contribuição substancial costumam se basear em limites de intensidade de emissões em geração, metas de participação renovável, melhoria de eficiência e redução de perdas, além de padrões de desempenho energético em edificações.

A internalização desses critérios como filtro de elegibilidade estadual simplifica a interlocução com financiadores e com o arcabouço soberano para títulos sustentáveis, e cria uma trilha de métricas para relatórios de alocação e de impactos quando houver rotulagem de despesas. A preparação de dossiês com essa estrutura, acoplada a linhas do Fundo Clima e a eventuais instrumentos catalíticos, coloca Sergipe

em condição de acelerar a execução de investimentos com impacto mensurável e auditável.

4.2. TRANSPORTE E MOBILIDADE DE BAIXA EMISSÃO

A prioridade de transporte e mobilidade de baixa emissão articula diretrizes de política urbana com metas climáticas e sanitárias, pedindo intervenções que reorganizem a oferta de transporte coletivo e ativo, reduzam dependência do automóvel e viabilizem a eletrificação progressiva de frotas e a melhoria da eficiência logística.

Em termos normativos, a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) estabelece a primazia do transporte público coletivo e dos modos não motorizados, impondo ao planejamento municipal a integração modal e a gestão da demanda como instrumentos para acesso universal e desenvolvimento urbano sustentável. O texto legal e seus materiais de referência ministeriais explicitam a prioridade normativa de pedestres, ciclistas e transporte coletivo sobre o transporte individual motorizado, criando a moldura para planos setoriais e para a elegibilidade de projetos em linhas federais e bancárias[24] .

No plano do financiamento, a modalidade reembolsável do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, operada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), incorporou mobilidade urbana entre os eixos financiáveis e, desde 2024, registrou salto de aprovações com projetos de ônibus limpos, sistemas de transporte coletivo, terminais e soluções de logística urbana.

Em 2024, o BNDES aprovou 7,3 bilhões de reais em operações do Fundo Clima entre abril e outubro, com portfólio que incluía mobilidade urbana, dentro de um total anual de 10,2 bilhões de reais aprovados no país, segundo comunicações oficiais; o Nordeste, em particular, teve crescimento proporcional expressivo na aprovação de recursos. Essa trajetória sinaliza espaço para carteiras estaduais e municipais tecnicamente maduras que atendam a critérios de elegibilidade, salvaguardas e medição de resultados.

A elegibilidade técnica para mobilidade de baixa emissão é construída a partir de três camadas: a primeira camada é de requalificação da oferta e da infraestrutura do transporte coletivo, por meio de corredores dedicados, prioridade semafórica,

[24] Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12587-3-janeiro-2012-612248-normaatualizada-pl.html?utm

reordenamento de linhas, integração tarifária e física, terminais e bilhetagem interoperável, além de reestruturação de contratos, com foco em confiabilidade e redução de tempos de viagem; a segunda, é de transição tecnológica, com introdução de ônibus elétricos a bateria e/ou trólebus e de ônibus movidos a biometano e outros combustíveis de menor intensidade carbônica, acoplados a infraestrutura de recarga ou abastecimento, à gestão de energia e a contratos de fornecimento que reduzam custos operacionais totais; a terceira é de mobilidade ativa e logística de última milha, com redes cicloviárias e de calçadas acessíveis, estacionamento para bicicletas em terminais e políticas de carga urbana que consolidem entregas e reduzam viagens vazias. Essas frentes dialogam com a classificação setorial e com critérios técnicos vigentes na Política Nacional de Mobilidade Urbana, que privilegia a integração modal e a priorização do transporte coletivo e ativo.

Para transformar prioridades em projetos financiáveis, é recomendável submeter cada intervenção a um dossiê de elegibilidade alinhado à Taxonomia Sustentável Brasileira, à Política Nacional de Mobilidade Urbana e às linhas do Fundo Clima. O dossiê deve trazer justificativa de demanda e de emissões, desenho operacional, plano de medição e verificação e análise financeira, com indicadores de resultado que sustentem desembolsos por marcos.

Em termos práticos, esse dossiê oferece ao financiador as condições para aferir contribuição substancial do projeto à mitigação e à adaptação, bem como o atendimento a salvaguardas. No caso de sistemas com ônibus elétricos e terminais, por exemplo, a medição de emissões por passageiro-quilômetro e de consumo elétrico específico por quilômetro rodado, acrescida de dados de confiabilidade e regularidade, permite avaliar o ganho líquido ambiental e de qualidade de serviço.

Os instrumentos financeiros disponíveis no país cobrem uma gama de necessidades. O Programa Fundo Clima do BNDES (modalidade reembolsável) explicita, em sua página programática, elegibilidade para empreendimentos que reduzam emissões de gases de efeito estufa em setores como mobilidade, com objetivos, parâmetros e modalidades operacionais, inclusive via agentes do Sistema Nacional de Fomento. Essa estrutura admite operações diretas para projetos estruturantes e operações automáticas para intervenções padronizáveis, com prazos de amortização compatíveis com infraestrutura de transporte coletivo e condições diferenciadas para as regiões Norte e Nordeste. A combinação com orçamentos municipais, contrapartidas e eventuais subvenções é usual, sobretudo quando o projeto inclui componentes de adaptação urbana, como infraestrutura verde em corredores e terminais.

A preparação técnico-financeira deve contemplar quatro entregas documentais: a primeira entrega é o plano operacional, com o redesenho da rede e da oferta e a identificação de gargalos, construção de cenários para o mix de propulsão e simulações de demanda, além de estratégia de transição que minimize descontinuidade de serviços; a segunda, é o plano de infraestrutura e energia, com escolha do padrão de recarga ou abastecimento, dimensionamento de subestações e da rede de distribuição nos pontos de recarga, contratos de fornecimento e, quando cabível, acoplamento a geração distribuída renovável para mitigar custos; a terceira, é o plano de negócios, com análise de custo total de propriedade por tecnologia, modelagem de receitas e despesas operacionais, cronograma de implantação e indicadores de viabilidade econômica; e a quarta, é o plano de resultados e verificação, com definição de indicadores como emissões por passageiro-quilômetro, regularidade, velocidade operacional e satisfação do usuário, fontes de dados e periodicidade de reporte. Esses planos, quando aderentes ao léxico da política federal e às linhas do Fundo Clima, encurtam ciclos de análise e aumentam a previsibilidade de desembolsos.

Para dar clareza aos marcos de execução e às métricas de resultado, a seguinte matriz organiza subfrentes elegíveis típicas e seus indicadores, com referências normativas e de financiamento.

Tabela 3.2 Subfrentes e indicadores para a prioridade de transporte e mobilidade de baixa emissão

SUBFRENTE	ATIVIDADES ELEGÍVEIS E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS	REFERÊNCIAS NORMATIVAS E DE FINANCIAMENTO
Requalificação do transporte coletivo	Corredores dedicados, prioridade semafórica, reordenamento de linhas, integração tarifária e física, bilhetagem interoperável, terminais intermodais	Velocidade operacional média no pico, índice de regularidade, tempo médio de viagem e transferência, crescimento de demanda	Política Nacional de Mobilidade Urbana; linhas reembolsáveis do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (BNDES) para mobilidade urbana[25].
Eletrificação de frotas de ônibus	Aquisição de ônibus elétricos a bateria, sistemas de recarga (depot e oportunidade), subestações e reforços de rede, gestão de energia, contratos de	Emissões por passageiro-quilômetro, consumo elétrico específico (kWh/km), disponibilidade de frota, custo total de propriedade por km	Política Nacional de Mobilidade Urbana; Programa Fundo Clima (modalidade reembolsável) do BNDES; comunicações oficiais de aprovações que incluem mobilidade[26].

[25] Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12587-3-janeiro-2012-612248-normaatualizada-pl.html?utm

[26] Política nacional de mobilidade urbana (PNMU), https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/caravana-federativa/mobilidade-urbana?utm

SUBFRENTE	ATIVIDADES ELEGÍVEIS E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS	REFERÊNCIAS NORMATIVAS E DE FINANCIAMENTO
	fornecimento		
Ônibus a biometano e combustíveis de menor intensidade carbônica	Conversão/aquisição de frota, implantação de estações de abastecimento, contratos de fornecimento de biometano, controle de emissões locais	Intensidade de emissões por passageiro-quilômetro, custo operacional por km, disponibilidade	Política Nacional de Mobilidade Urbana; linhas do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (BNDES)[27].
Mobilidade ativa e integração	Infraestrutura cicloviária e de calçadas acessíveis, bicicletários e paraciclos em terminais, redesenho de interseções	Participação modal de bicicleta e a pé, acidentes por milhão de viagens, conexões com o transporte coletivo	Política Nacional de Mobilidade Urbana e diretrizes ministeriais[28].
Logística urbana de baixa emissão	Centros de consolidação, faixas e janelas de carga, *microhubs e* veículos leves elétricos	Emissões por tonelada-quilômetro, taxa de ocupação, redução de viagens vazias	Política Nacional de Mobilidade Urbana; linhas reembolsáveis do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (BNDES)[29].

Fonte: elaboração própria

No Nordeste, a aceleração recente do financiamento climático alimentado pelo Fundo Nacional sobre Mudança do Clima sugere uma janela de oportunidade para Sergipe adotar uma estratégia de pacotes municipais, combinando requalificação do transporte coletivo com projetos-piloto de eletrificação e redes de mobilidade ativa.

A comunicação oficial registra que a região multiplicou por 36 as aprovações em 2024 em relação a 2022, com destaque a projetos de energias renováveis e de recursos hídricos; o mesmo arcabouço é apropriado para mobilidade urbana quando o dossiê apresenta métricas robustas e governança clara. Esse movimento regional facilita a formação de consórcios de compras e a padronização de especificações técnicas, reduzindo custos de transação e acelerando a contratação via agentes do Sistema Nacional de Fomento.

Três riscos operacionais merecem atenção no desenho financeiro: o primeiro, é o risco tecnológico e de integração energética em eletrificação de frotas, mitigado por

[27] lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12587-3-janeiro-2012-612248-normaatualizada-pl.html?utm
[28] Política nacional de mobilidade urbana (PNMU), https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/caravana-federativa/mobilidade-urbana?utm
[29] Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12587-3-janeiro-2012-612248-normaatualizada-pl.html

pilotos escalonados, contratos de desempenho e estudos elétricos que dimensionem infraestrutura de recarga e subestações; o segundo, é o risco de demanda e receita, atenuado por requalificação prévia da rede, integração tarifária e bilhetagem interoperável que reduzam evasão e melhorem a atratividade do transporte coletivo; o terceiro, é o risco institucional e contratual, que pede revisão de contratos de concessão e de metas de qualidade, com mecanismos de incentivo para regularidade e eficiência energética, além de cláusulas de compartilhamento de ganhos de produtividade com o poder público.

Alinhamento à Taxonomia Sustentável Brasileira e ao arcabouço soberano para títulos sustentáveis reforça a bancabilidade. A classificação da intervenção em transporte como atividade de mitigação com critérios de emissões por passageiro-quilômetro, confiabilidade e integração modal, somada às salvaguardas mínimas e a um plano de monitoramento e verificação compatível com relatórios federais de alocação e de impactos, reduz assimetrias de informação para financiadores. A preparação de dossiês padronizados, com indicadores e marcos de desembolso definidos, facilita a combinação de recursos reembolsáveis do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima com contrapartidas municipais e, quando cabível, com instrumentos catalíticos que reduzam custo de capital, como garantias e fundos de hedge cambial para componentes com importações relevantes.

A política pública estadual pode induzir a prontidão municipal ao ofertar assistência técnica para elaboração de planos de mobilidade atualizados, inventários de emissões do setor de transportes e estudos de demanda, além de modelos de edital para aquisição de ônibus limpos e para contratação de sistemas de bilhetagem e de gestão de frota. A criação de um repositório estadual de projetos elegíveis e de resultados, alimentado por dados de operação e por auditorias independentes, melhora a transparência e a curva de aprendizado, beneficiando etapas subsequentes da implementação.

4.3. INDÚSTRIA E MINERAÇÃO; PROCESSOS E GASES INDUSTRIAIS

A priorização de indústria e mineração demanda uma abordagem simultânea sobre processos produtivos, insumos energéticos e emissões provenientes do uso de produtos, com foco em intensidade energética por unidade de produto, substituição de combustíveis, captura e uso de subprodutos, controle de gases industriais de alto potencial de aquecimento e economia circular.

No Brasil, o enquadramento de investimentos em descarbonização industrial ganhou tração ao integrar a carteira reembolsável do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima operada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, que passou a destacar o eixo Indústria Verde com parâmetros financeiros específicos e prazos de amortização compatíveis com retrofits de processo e atualização de ativos.

A modalidade automática do fundo permite viabilizar projetos padronizáveis por meio de agentes do Sistema Nacional de Fomento, com prazos de até 16 anos para indústria verde e até 25 anos para eixos correlatos, além de condições estendidas para Norte e Nordeste, o que melhora a viabilidade econômico-financeira de carteiras estaduais e municipais ancoradas em eficiência, substituição de combustíveis e controle de emissões fugitivas. Essas condições aparecem nos canais oficiais do banco e nas comunicações do governo federal sobre a escala do fundo entre 2024 e 2025[30] .

A pressão competitiva internacional constitui um vetor adicional de urgência. O Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia, conhecido pelo termo em inglês *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM), iniciou, em 2023, sua fase transitória com reporte trimestral de emissões incorporadas em bens intensivos em carbono como ferro e aço, cimento, fertilizantes, alumínio, eletricidade e hidrogênio, com previsão de início da fase definitiva a partir de 2026, quando importadores deverão adquirir certificados equivalentes ao preço do carbono europeu para cobrir emissões incorporadas.

Documentos oficiais da Comissão Europeia detalham as obrigações na fase transitória e o horizonte de 2026 para cobrança efetiva. Houve, em 2025, discussões legislativas para simplificar obrigações, introduzir limiar de massa anual para isenções e ajustar cronogramas de compra de certificados, sem alterar a lógica de internalização de custos de carbono em bens intensivos. Para exportadores brasileiros, especialmente nos segmentos de ferro e aço, cimento, alumínio e fertilizantes, as exigências de mensuração e redução de emissões incorporadas tendem a afetar diretamente a competitividade, o que reforça a relevância de linhas de financiamento que reduzam intensidade de emissões, além de governança robusta de dados e verificação[31] .

O componente de gases industriais tratados na literatura internacional como uso de produtos e emissões de processos inclui hidrofluorcarbonos usados em

[30]https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima-industria-verde

[31] https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/commission-adopts-detailed-reporting-rules-carbon-border-adjustment-mechanisms-transitional-phase-2023-08-17_en

refrigeração e ar condicionado, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre em processos metalúrgicos e elétricos, entre outros. A política brasileira avançou na implementação da Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal, com Decreto de 2023 e anúncio de instrução normativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis para controle e cotas de importação de hidrofluorcarbonos, que embora não destruam ozônio apresentam elevado potencial de aquecimento global. Esse movimento regula o abastecimento doméstico, cria previsibilidade para transição tecnológica e reforça a necessidade de projetos de substituição de refrigerantes e de melhoria de manutenção e vedação em sistemas industriais, além de reforçar oportunidades para recuperação e reciclagem de gases[32] .

A tradução da prioridade em projetos financiáveis passa por um conjunto de frentes técnicas recorrentes. Em processos térmicos intensivos, a modernização de fornos, caldeiras e trocadores, associada a digitalização e controle avançado, reduz consumo específico de energia e permite comissionamento com garantias de desempenho.

Em siderurgia e cimento, a substituição parcial de clínquer por materiais cimentícios suplementares, o aumento de adição de escória granulada e cinzas, o pré-aquecimento eficiente e o uso de combustíveis alternativos são rotas relevantes, desde que acompanhadas por controle de emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado. Em alumínio, a redução de perfluorcarbonos exige controle fino das anódicas e implementação de boas práticas operacionais. Em fertilizantes, redução de vazamentos e otimização de catalisadores em produção de amônia e ureia podem reduzir emissões de óxido nitroso e dióxido de carbono. Em refrigeração e climatização industrial, a substituição de hidrofluorcarbonos por alternativas de baixo potencial de aquecimento global e o reforço de manutenção preventivas reduzem perdas fugitivas. Em equipamentos de alta tensão, a substituição gradual do hexafluoreto de enxofre por misturas de menor impacto e o aperfeiçoamento de vedações diminuem emissões fugitivas.

Para organizar a preparação de dossiês de elegibilidade e a modelagem de indicadores de resultado, a Tabela 3.3-A reúne subfrentes típicas, parâmetros de projeto e evidências esperadas por financiadores em processos de diligência. Os indicadores propostos seguem o léxico das linhas do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e dos cadernos setoriais da Taxonomia Sustentável Brasileira, com ênfase em métricas de

[32] https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2023/ibama-informa-sobre-implementacao-da-emenda-de-kigali-para-controle-dos-hfcs-no-brasil

intensidade energética, intensidade carbônica por unidade de produto e controle de gases industriais alvo.

Tabela 3.3-A Subfrentes industriais e indicadores de resultado para a prioridade indústria e mineração

SUBFRENTE	ATIVIDADES ELEGÍVEIS E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS	REFERÊNCIAS E JANELAS DE FINANCIAMENTO
Eficiência térmica e elétrica em processos	Retrofit de fornos, caldeiras, sistemas de combustão, motores de alto rendimento, variadores de velocidade, recuperação de calor residual, instrumentação e controle	Redução do consumo específico de energia por tonelada de produto, fator de carga e rendimento térmico, horas de indisponibilidade evitadas	Fundo Clima Indústria Verde e Transição Energética; modalidade automática via agentes regionais do Sistema Nacional de Fomento; prazos e limites definidos pelo banco de desenvolvimento.
Substituição de combustíveis e insumos	Conversão de combustíveis fósseis para gás renovável, biomassa certificada ou eletrificação, adição de materiais cimentícios suplementares e de escória em cimento e aço	Intensidade carbônica por tonelada de produto, participação de energia renovável no consumo, teor de clínquer no cimento, emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado dentro de padrões	Fundo Clima; alinhamento a cadernos setoriais da taxonomia para contribuições substanciais em mitigação; integração com contratos de fornecimento de insumos de baixo carbono.
Controle de emissões de processos e gases industriais	Minimização de perfluorcarbonos na eletrólise de alumínio, substituição e gestão de hidrofluorcarbonos em refrigeração industrial, redução de emissões fugitivas de hexafluoreto de enxofre em equipamentos	Taxa de vazamento anual por sistema, emissões por unidade funcional do equipamento, porcentual de substituição por alternativas de baixo potencial de aquecimento global	Implementação da Emenda de Kigali e normativos de controle pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; elegibilidade em Indústria Verde para substituição tecnológica.
Digitalização, medição e verificação	Sistemas supervisórios, medição em tempo real de energia e processos, modelagem estatística de base e regressões de ajuste para verificação	Erro padrão relativo dos indicadores-chave, planos de medição e verificação auditáveis, trilha de dados com metadados e versionamento	Exigências de diligência de linhas do banco de desenvolvimento e relatórios de impacto alinhados ao arcabouço soberano de títulos sustentáveis.
Economia circular e simbiose	Reaproveitamento de resíduos e subprodutos como insumos,	Percentual de substituição de matéria-prima virgem,	Eixos Indústria Verde e Serviços e Inovação do fundo; edital para fundos

SUBFRENTE	ATIVIDADES ELEGÍVEIS E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS	REFERÊNCIAS E JANELAS DE FINANCIAMENTO
industrial	logística reversa e aumento de reciclagem de materiais energointensivos	ganhos de produtividade, emissões evitadas por unidade de produto reciclado	de investimento temáticos em descarbonização industrial[33].

Fonte: Organizações Multilaterais, elaboração própria.

A convergência entre exigências de mensuração domésticas e internacionais é determinante para bancabilidade. O Sistema de Registro Nacional de Emissões do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação disponibiliza dados e metodologias oficiais do Inventário Nacional nos setores de energia, processos industriais e uso de produtos, agropecuária, uso da terra e resíduos, com detalhamento metodológico, séries históricas e métricas consistentes com as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.

Esses recursos são úteis para estabelecer linhas de base e fatores de emissão nacionais, evitando inconsistências em dossiês. Para empresas com cadeias de exportação sujeitas ao Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira, a aderência a metodologias aceitas na fase transitória e a preparação para regras definitivas a partir de 2026 são passos imprescindíveis, uma vez que haverá necessidade de reporte e, depois, compra de certificados correspondentes às emissões incorporadas[34] .

A modelagem financeira de projetos industriais exige atenção ao ciclo de capital e à distribuição de riscos. Em eficiências de processo e digitalização, contratos com garantias de desempenho e partilha de ganhos podem reduzir percepções de risco tecnológico. Em substituição de combustíveis e insumos, o risco de suprimento e de preço deve ser mitigado por contratos de longo prazo com cláusulas de volume e indexadores, além de opções de "*fallback"* (mecanismo de contingência) tecnológico. Em controle de hidrofluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre, a combinação de substituição de equipamentos, planos de manutenção e recuperação de gases aumenta a robustez ambiental e pode ser enquadrada como contribuição substancial em mitigação

[33] Chamada Pública para Seleção de Fundos com Foco em Mitigação Climática - Chamada de Clima, https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/mercado-de-capitais/fundos-de-investimentos/chamadas-publicas-para-selecao-de-fundos/chamada-publica-selecao-fundos-mitigacao-climatica/

[34]Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), ttps://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/sirene.html

nos cadernos da taxonomia, desde que as métricas e salvaguardas sejam devidamente documentadas.

Em todos os casos, a estruturação de créditos via Fundo Nacional sobre Mudança do Clima pode ser combinada com instrumentos catalíticos, como fundos de investimento temáticos e garantias, conforme chamadas recentes do banco de desenvolvimento que buscam alavancar capital privado para descarbonização industrial, adaptação e infraestrutura.

Os riscos regulatórios e de mercado associados a bens intensivos em carbono precisam ser explicitados em análises de sensibilidade. No contexto europeu, a fase transitória do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira admite metodologias de reporte e valores de referência, com cronograma para aceitação exclusiva do método europeu a partir de 2025 e início da cobrança a partir de 2026. Discussões recentes indicam eventuais simplificações e limiares de massa para isenções, bem como possível postergação da exigência de compra de certificados, mas sem alteração de objetivo. Para exportadores brasileiros, planejar cenários conservadores com preço do carbono europeu e com reconhecimento parcial de preços domésticos é prudente, enquanto se aguarda a regulação secundária definitiva. O estímulo é organizar trilhas de dados e métodos auditáveis já em 2024–2025, reduzindo custos de adequação em 2026–2027[35] .

A articulação com a política industrial doméstica amplia o espaço de financiamento. O Programa Mobilidade Verde e Inovação, conhecido pela sigla Mover, reconfigurou incentivos econômicos ao setor automotivo com créditos financeiros direcionados a Pesquisa e Desenvolvimento e à descarbonização, incorporando limites mínimos de reciclagem e tributação diferenciada por intensidade de emissões. Embora focado no segmento automotivo, o programa sinaliza critérios de desempenho ambiental e de circularidade que tendem a irradiar para cadeias industriais correlatas e pode dialogar com carteiras estaduais que incluam fornecedores locais e investimentos em eficiência e reciclagem.

Para Sergipe, a operacionalização dessa prioridade recomenda um pipeline que combine projetos de rápida maturação com retrofits de maior complexidade. A camada de rápida maturação inclui trocas de motores e acionamentos, automação de processos e recuperação de calor, apoiadas por medições de base sólidas e contratos de desempenho.

[35] Commission publishes default values for determining embedded emissions during the CBAM transitional period and updated guidance on reporting obligations, https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/commission-publishes-default-values-determining-embedded-emissions-during-cbam-transitional-period-2023-12-22_en

A camada estrutural abrange substituição de combustíveis, adições e mudanças de insumos em cimento e aço, captura e queima de gases de processo quando viável e substituição de refrigerantes, com cronogramas plurianuais e marcos de verificação anuais. A documentação deve contemplar dossiê de elegibilidade alinhado à Taxonomia Sustentável Brasileira, estudo de viabilidade técnica e econômica, plano de medição e verificação com regressões de ajuste e trilha de auditoria, e caderno de salvaguardas ambientais e sociais. O uso de agentes do Sistema Nacional de Fomento com presença regional pode acelerar a contratação de medidas padronizáveis, enquanto operações diretas com o banco de desenvolvimento acomodam projetos estruturantes, mantendo coerência metodológica e de reporte entre operações.

4.4. SETOR DOMÉSTICO E RESÍDUOS; REDUÇÃO DE METANO EM ATERROS

A prioridade de resíduos sólidos urbanos combina objetivos sanitários, inclusão socioeconômica de catadores, segurança hídrica e mitigação climática por meio da redução de metano em aterros e lixões, do desvio de orgânicos e do aumento de reciclagem.

O marco jurídico é a Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, regulamentada pelo Decreto Federal nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022, com diretrizes para logística reversa, coleta seletiva, inclusão de cooperativas e encerramento de lixões. O Decreto articula a política de resíduos com a política nacional de saneamento básico e cria instrumentos operacionais para planos e sistemas de informação, alinhando responsabilidades de geradores, titulares do serviço e poder público.

Essa arquitetura normativa sustenta projetos de modernização de aterros, implantação de sistemas de captura e aproveitamento de biogás, programas de compostagem e biodigestão de orgânicos e ampliação de coleta seletiva, com exigência explícita de transparência e gestão por indicadores[36] .

A redução de metano ganhou prioridade internacional desde a adesão do Brasil ao Compromisso Global do Metano, que estabelece a meta de reduzir em trinta por

[36] Lei nº 12.305/2010, Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Decreto 10.936/2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/DEC%2010.936-2022?OpenDocument

cento as emissões até 2030 em relação a 2020. O Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima confirmou a adesão e destacou que, no Brasil, o setor de resíduos e efluentes já responde por parcela relevante das emissões de metano, o que torna o eixo de resíduos crítico para o cumprimento dessa meta.

Em 2024, o país também aderiu à declaração específica sobre metano proveniente de resíduos, reforçando expectativas de políticas e investimentos no setor. Esses compromissos internacionais convergem com a política doméstica, com o Programa Nacional de Redução das Emissões de Metano (Metano Zero), aprovado por portaria e citado entre os instrumentos vinculados à política de resíduos e ao sistema nacional de informações.

Do ponto de vista técnico, a quantificação de emissões em aterros segue, em linha com inventários nacionais, o modelo de primeira ordem de decomposição recomendado pelas Diretrizes de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima para o volume de resíduos. O método utiliza parâmetros como carbono orgânico degradável, fração efetivamente decomposta, fração de metano no biogás e fator de correção de metano, que depende da condição do sítio (sanitário, semiaeróbio, não gerenciado).

Para aterros sanitários gerenciados em condições anaeróbias, o fator de correção é unitário; em sistemas semiaeróbios, o valor de referência é inferior, e em sítios não gerenciados os valores são ainda menores, refletindo degradação mais lenta e emissões difusas. O documento do grupo de força-tarefa do painel disponibiliza o volume de resíduos com capítulos específicos para disposição em solo e planilhas de apoio para cálculo; estudos recentes que comparam modelos usuários de parâmetros padrão apontam erros relativos compatíveis com auditoria quando os dados primários de massa e composição dos resíduos são confiáveis e o sistema de captação é conhecido[37] .

A contabilização climática recomenda adotar o potencial de aquecimento global do metano com base no Sexto Relatório de Avaliação do painel. Para aplicações de política pública e contabilidade de resíduos, a orientação técnica recente distingue valores de referência por origem do metano e sugere evitar a adoção do valor de 27,0; a literatura metodológica consolidou o valor de 27,9 para o metano em horizonte de cem anos como referência mais apropriada para uso geral, com 29,8 aplicável a fontes fósseis. Em projetos de resíduos sólidos urbanos, o metano é de origem biogênica, o que

[37] https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html

justifica a aplicação do valor consolidado de 27,9 em relatórios e dossiês, ressalvada a consistência com os padrões de cada financiador[38] .

A elegibilidade financeira para o eixo de resíduos opera hoje com rotas claras. Na vertente reembolsável, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima operado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social já apoiou, por exemplo, a expansão de um centro de tratamento de resíduos com captação e aproveitamento energético de biogás no Rio de Janeiro, combinando recursos do fundo e da linha de saneamento, o que demonstra a possibilidade de estruturar operações híbridas que simultaneamente reduzam emissões e ampliem a capacidade de tratamento.

A modalidade automática do fundo, via rede de agentes do Sistema Nacional de Fomento, habilita projetos padronizáveis, enquanto operações diretas contemplam empreendimentos estruturantes. Essas janelas se somam a instrumentos regulatórios e programáticos vinculados à política de resíduos e saneamento, inclusive ao plano nacional de resíduos aprovado em 2022.

O desenho programático estadual deve organizar um portfólio com quatro frentes articuladas: (i) encerramento de lixões com transição para aterros sanitários com sistema de captação e queima ou uso energético de biogás; (ii) desvio de orgânicos por meio de compostagem e digestão anaeróbia com produção de biogás e digestato; (iii) ampliação da coleta seletiva com fortalecimento de cooperativas e integração à logística reversa; e (iv) modernização da operação com medição e verificação de massa, composição e desempenho.

O encerramento de lixões e a regularização da disposição final são condições de legalidade e integridade; o desvio de orgânicos atua diretamente na fração mais emissora e na redução de chorume; a coleta seletiva alavanca inclusão social, renda e reciclagem; a modernização de pesagem, rastreabilidade e controle operacional sustenta a verificação de resultados e a auditoria de operações. O sistema de informações nacional e os diagnósticos oficiais sobre manejo de resíduos trazem parâmetros úteis de massa coletada, frota, indicadores per capita e distribuição regional que podem ser usados como linha de base em dossiês municipais e consorciados[39] .

A Tabela 3.4-A organiza subfrentes elegíveis típicas, parâmetros de projeto e indicadores de resultado, com referências regulatórias e de financiamento para instruir

[38] https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html

[39] https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2022/06/governo-federal-divulga-diagnostico-sobre-o-manejo-de-residuos-solidos-urbanos

dossiês de elegibilidade, planos de resultados e verificação e cronogramas físico-financeiros.

Tabela 3.4-A Subfrentes e indicadores para a prioridade de resíduos e redução de metano

SUBFRENTE	ATIVIDADES ELEGÍVEIS E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS	REFERÊNCIAS NORMATIVAS E DE FINANCIAMENTO
Encerramento de lixões e regularização da disposição final	Encerramento técnico de áreas irregulares; implantação ou ampliação de aterro sanitário com impermeabilização, drenagem de chorume, monitoramento geotécnico e ambiental; plano de recuperação de áreas degradadas	Percentual de massa destinada a disposição final ambientalmente adequada; número de lixões encerrados; parâmetros de qualidade ambiental pós-encerramento	Lei nº 12.305/2010 e Decreto nº 10.936/2022; planos nacionais associados; elegibilidade em linhas de saneamento e Fundo Nacional sobre Mudança do Clima.
Captação e queima ou uso energético de biogás em aterros	Poços, drenos, sopradores, *flare* e/ou motogeradores; estudos de potencial e melhor taxa de captação; contratos de O&M; medição contínua	Eficiência de captação; volume de metano captado; energia gerada; tCO2e evitadas com base no modelo e no fator de emissão; fator de disponibilidade	Diretrizes do painel para resíduos e fatores de correção; precedentes de financiamento do banco de desenvolvimento em projetos de biogás em aterros.
Desvio de orgânicos por compostagem e digestão anaeróbia	Centrais de triagem de orgânicos; plantas de compostagem; unidades de biodigestão com produção de biogás e digestato; logística de coleta dedicada	Percentual de orgânicos desviados; produção de composto e/ou biogás; substituição de fertilizantes; emissões evitadas pelo desvio de fração putrescível	Política nacional e regulamentos setoriais; integração com linhas do fundo e de saneamento; indicadores do sistema nacional de informações.
Ampliação da coleta seletiva e inclusão de cooperativas	Infraestrutura de triagem; equipamentos; contratos de prestação de serviços; remuneração por desempenho; integração à logística reversa	Toneladas triadas por cooperativa; taxa de rejeitos; renda média; aumento de material encaminhado à reciclagem	Decreto nº 10.936/2022 com diretrizes de logística reversa e coleta seletiva cidadã; arranjos com linhas de desenvolvimento urbano.
Modernização operacional e MRV	Balanças, controle de rotas, amostragem de composição, inventário e planilhas do modelo recomendado; plataforma de dados	Acurácia de pesagem; erro padrão de composição; reprodutibilidade do modelo; publicação periódica de indicadores	Diretrizes do painel, planilhas do volume de resíduos e cadernos de MRV; exigências de transparência do decreto federal.

Fonte: elaboração própria

A preparação de dossiês deve explicitar a linha de base de geração de resíduos, a fração degradável, o destino atual e a condição dos sítios de disposição. Em situações de lixões ou aterros controlados, a transição para sistemas gerenciados permite aplicar fatores de correção e taxas de captação superiores, conforme os valores padrão para condições anaeróbias gerenciadas. Essa passagem afeta diretamente o cálculo de emissões evitadas e a elegibilidade para pagamentos por resultados associados a marcos de desempenho. A demonstração de massa desviada, qualidade do composto e do digestato e substituição de fertilizantes em projetos de orgânicos amplia a argumentação de co-benefícios[40] .

Para biogás de aterro, recomenda-se especificar a taxa de captação como proporção da geração estimada pelo modelo e estabelecer limites de desempenho por célula, com instrumentação para monitoramento de vazão e teor de metano. Em uso energético, a escolha entre motogeradores, caldeiras ou sistemas de aprimoramento (purificação) para produção de biometano deve alinhar custo total de propriedade, disponibilidade de rede elétrica e de gasodutos e possibilidade de contratos de fornecimento para transporte público ou indústrias. Em casos de queima controlada, a justificativa deve explicitar porque o uso energético não é economicamente viável no horizonte do projeto, mantendo a integridade climática por meio da destruição de metano. A operação deve prever manutenção preventiva e redundâncias para evitar by-pass prolongado de gases.

A política de financiamento mostra que operações híbridas, que combinem recursos do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e linhas de saneamento, têm sido preferidas para empreendimentos de grande porte e podem ser replicadas em carteiras estaduais com arranjos consorciados municipais. Em Sergipe, a estratégia de embalar projetos por bacias de serviço e rotas de transporte reduz custos de transação, ganha escala para equipamentos e serviços e permite desenhar indicadores e marcos de desembolso padronizados.

A presença de agentes do Sistema Nacional de Fomento com capilaridade facilita operações automáticas para plantas de compostagem municipais e modernização operacional, enquanto empreendimentos estruturantes de captação e uso energético de biogás, inclusive com upgrading para biometano, podem ser objeto de operações diretas.

[40] https://www.mdpi.com/2813-0391/3/2/14

A verificação de resultados deve seguir um plano de medição e verificação que una pesagem certificada, campanhas de composição, parâmetros operacionais das instalações e aplicação do modelo recomendado. O anexo do volume de resíduos do painel inclui planilhas de apoio que podem ser adaptadas ao contexto estadual e integradas ao portal de transparência, com publicação periódica de massa recebida, orgânicos desviados, energia gerada e tCO2e evitadas. A escolha coerente do potencial de aquecimento global do metano, a documentação do fator de correção de metano por condição do sítio e a trilha de auditoria do sistema de captação e destruição aumentam a confiabilidade dos números para financiadores e para auditorias independentes[41] .

Por fim, a integração com metas e instrumentos internacionais cria argumentos de elegibilidade adicionais. O alinhamento à meta do Compromisso Global do Metano e ao programa nacional específico permite ancorar pagamentos por resultados em métricas reconhecidas e priorizadas, sobretudo em projetos com forte componente de redução de metano de curto prazo. A sinergia com a política de resíduos e os planos nacionais setoriais torna esta prioridade particularmente adequada a operações que combinem capital concessionário com crédito de longo prazo, mantendo salvaguardas sociais e ambientais e transparência em dados operacionais[42] .

4.5. SETOR PÚBLICO; PADRÕES DE EFICIÊNCIA, QUALIDADE DO AR E TRANSPARÊNCIA

A priorização do setor público combina três eixos complementares: eficiência energética em edificações e serviços públicos; gestão da qualidade do ar com padrões e planos escalonados; e um regime de transparência ativa com dados abertos e auditáveis. Essa combinação não é apenas programática. Ela determina a bancabilidade de carteiras estaduais e municipais porque traduz metas legais e regulatórias em requisitos verificáveis de elegibilidade, operação e resultados, alinhados ao financiamento climático federal e a investidores institucionais.

Em eficiência energética, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações instituiu, desde 2009, regulamentos técnicos para avaliação de desempenho energético em edifícios comerciais, de serviços e públicos, conhecidos como RTQ-C, e sua evolução normativa.

[41] https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html
[42] https://www.gov.br/mma/pt-br/governo-federal-adere-a-iniciativa-internacional-para-reduzir-emissoes-de-metano

Em 2021, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia aprovou a “Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas” (INI-C), que aperfeiçoa critérios e métodos de classificação, inclusive viabilizando certificação de edifícios de energia quase nula. Em 2022, a Portaria Inmetro nº 309 consolidou as INIs e os requisitos de avaliação da conformidade e, por ato de 2024, definiu a linha do tempo de transição: novas etiquetas de projeto devem seguir as INIs a partir de 1 de junho de 2024, mantendo-se uma janela até 31 de outubro de 2029 para edificações construídas com base nos RTQs previamente válidos. Esse arranjo fornece o léxico de elegibilidade para projetos de reabilitação energética de prédios públicos, iluminação e sistemas prediais de climatização e automação, com metodologia de medição e verificação compatível com exigências de financiadores.

A política de qualidade do ar passou, em 2024, por atualização estrutural. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 506, de 2024 substituiu a Resolução nº 491, de 2018, fixando os padrões nacionais para material particulado inalável fino e grosso, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio, chumbo e outros parâmetros, e, sobretudo, introduziu prazos de adoção escalonada: a etapa PI-2 entra em vigor em 1 de janeiro de 2025, a etapa PI-3 em 1 de janeiro de 2033 e a etapa PI-4 em 1 de janeiro de 2044, com padrão final a ser definido em resolução futura do Conselho.

A comunicação oficial do Ministério do Meio Ambiente enfatiza a convergência com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde e o reforço de instrumentos como planos de gestão, inventários e exigência de publicação de índices de qualidade do ar por órgãos estaduais e distrital. A agenda federal indica, ainda, a atualização do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar, a implantação de redes e o Sistema Nacional de Gestão da Qualidade do Ar, conhecido como “MonitorAr”, além da preparação de um Plano Nacional de Gestão da Qualidade do Ar. Esse escalonamento temporal cria marcos regulatórios para a elegibilidade de projetos de monitoramento, modelagem, controle de emissões e planos de gestão em áreas urbanas.

Em matéria de transparência e dados abertos, a base normativa federal é composta pela Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, que regula o acesso a informações públicas; pelo Decreto nº 7.724, de 16 de maio de 2012**,** que a regulamenta; e pelo Decreto nº 8.777, de 11 de maio de 2016, que institui a Política de Dados Abertos do Poder Executivo Federal.

A Controladoria-Geral da União atualizou, em 30 de setembro de 2024, as diretrizes para aplicação da Lei de Acesso à Informação por meio da Portaria Normativa nº 176, disciplinando prazos de restrição de acesso a informações pessoais e reforçando o princípio da publicidade como regra.

Em 2025, o Poder Executivo reforçou, por Decreto, a competência para coordenar a política de transparência e dados abertos e integrar bases setoriais ao Portal da Transparência e ao Portal Brasileiro de Dados Abertos. O próprio Portal da Transparência documenta a origem dos dados, periodicidades de atualização e disponibiliza interfaces de programação para acesso automatizado. Para estados, internalizar essa arquitetura significa construir portais com dados operacionais e financeiros de projetos climáticos, disponibilizados em formatos abertos e com APIs, reduzindo assimetrias de informação e custos de diligência em operações com bancos e investidores.

A integração desses três eixos em projetos estaduais pode ser organizada por pacotes de intervenção e de governança: (i) em edificações públicas, a adoção de INI-C como critério de projeto e a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia permitem ancorar contratos de desempenho e planejar desembolsos condicionados a economias verificadas; (ii) em qualidade do ar, a implantação de redes de monitoramento, inventários e planos de gestão por região metropolitana cumpre prazos regulatórios e oferece indicadores para priorização de investimentos em mobilidade, saneamento e controle industrial; e (iii) em transparência, a publicação de dados operacionais e de resultados em portais abertos, com metadados padronizados e documentação de APIs, sustenta auditoria externa e relatórios de impacto, conectando a carteira estadual ao arcabouço de títulos sustentáveis e a diretrizes de relato.

Tabela 3.5-A Pacotes de intervenção para o setor público, métricas de resultado e enquadramento regulatório

PACOTE DE INTERVENÇÃO	SELEÇÃO DE ATIVIDADES E PARÂMETROS DE PROJETO	MÉTRICAS DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS E AUDITORIA	MARCO REGULATÓRIO E DE DADOS RELEVANTE
Reabilitação energética de edificações públicas	Diagnóstico energético por uso final, retrofit de envoltória, iluminação e climatização, automação predial e comissionamento, etiquetagem INI-C	Redução do consumo específico por metro quadrado, fator de carga, disponibilidade de sistemas, nível de eficiência obtido pela etiqueta	INI-C e Portaria nº 309/2022; linha do tempo de transição para etiquetagem; materiais técnicos do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações e manuais de aplicação

PACOTE DE INTERVENÇÃO	SELEÇÃO DE ATIVIDADES E PARÂMETROS DE PROJETO	MÉTRICAS DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS E AUDITORIA	MARCO REGULATÓRIO E DE DADOS RELEVANTE
Iluminação pública eficiente	Substituição por luminárias de alto desempenho, telegestão e dimerização, contratos de desempenho	Redução de quilowatt-hora por ponto de luz, redução de demanda de ponta, taxa de disponibilidade do sistema	Elegibilidade em linhas do financiamento climático federal; integração com portais de dados abertos para reporte contínuo de consumo e disponibilidade
Redes e planos de qualidade do ar	Estações de monitoramento, inventários de emissões, modelagem, planos de gestão e de episódios críticos	Conformidade com prazos PI-2/PI-3/PI-4, número de estações operacionais, publicação de índices horários, cumprimento de metas de redução	Resolução nº 506/2024, cronograma de padrões, atualização do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar e implantação do MonitorAr
Portal de transparência climática estadual	*Data lake* com dados de execução física e financeira, APIs, metadados, trilha de auditoria	Frequência de atualização, completude de metadados, uso de API, consistência com relatórios financeiros	Lei nº 12.527/2011, Decreto nº 8.777/2016, Portaria CGU nº 176/2024, diretrizes e APIs do Portal da Transparência

Fonte: elaboração própria

Os dossiês de elegibilidade para esses pacotes devem explicitar linhas de base, metas e planos de medição e verificação: (i) em eficiência energética, convém adotar metodologias compatíveis com a etiquetagem, documentando fronteiras de medição, variáveis independentes (como ocupação e clima) e regressões de ajuste para isolar o efeito do retrofit; (ii) em qualidade do ar, a implantação de redes deve atender a critérios de precisão e representatividade geográfica e temporal, com protocolos de calibração e manutenção, e inventários de emissões devem seguir guias metodológicos que garantam comparabilidade anual; e (iii) em transparência, os portais devem publicar dicionários de dados, esquemas e exemplos de consultas, além de arquivos históricos e versões para permitir reprodutibilidade de cálculos e auditoria.

A sinergia com financiamento climático federal é direta. O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, operado pelo banco de desenvolvimento, contempla reabilitação energética e desenvolvimento urbano resiliente; a atualização dos padrões de qualidade do ar cria demanda financiável para redes, inventários e planos; e a política de dados abertos reduz o risco de execução por permitir controle social e auditorias contínuas, exigidas explicitamente em operações com títulos sustentáveis e relatórios de alocação e impacto. Em termos de governança, a adoção de checklists de conformidade

regulatória e de transparência como anexos obrigatórios aos dossiês acelera a análise e padroniza a diligência.

No contexto sergipano, a operacionalização recomenda uma sequência prática. Em um primeiro momento, há de se editar um decreto estadual que determine a etiquetagem pelo método INI-C para novas edificações e grandes reformas no Executivo, com metas plurianuais de redução de consumo específico por metro quadrado em secretarias e órgãos; ato contínuo, há de se instituir instituição, por portaria conjunta da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e da agência de fomento estadual, de um programa de redes de monitoramento da qualidade do ar nas regiões de maior densidade urbana e industrial, com cronograma compatível com a entrada em vigor dos padrões PI-2, PI-3 e PI-4 e com publicação de dados em tempo quase real. Como última etapa, criar-se-á um portal de transparência climática estadual com dados operacionais de projetos financiados, integrando execução física, desembolsos, indicadores de resultado e documentos de auditoria, em formatos abertos e com APIs. Essas três frentes aumentam a prontidão regulatória, a rastreabilidade e a confiabilidade necessárias à contratação de operações reembolsáveis e não reembolsáveis.

A análise de riscos deve antecipar gargalos comuns. Em eficiência, em prédios públicos, o risco de desempenho aquém do previsto é mitigável com comissionamento independente, contratos com garantias de desempenho e plano de manutenção. Em qualidade do ar, o risco de descontinuidade de medições é mitigado por redundância de estações, suprimento de insumos e contratos de manutenção; a incerteza regulatória é reduzida pela observância do cronograma de padrões e pela participação ativa em consultas do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar. Em transparência, o risco de inconsistência e desatualização se resolve com governança de dados, cronogramas de publicação e responsáveis identificados, seguindo práticas dos portais federais.

Finalmente, a coerência com a Taxonomia Sustentável Brasileira e com o arcabouço soberano de títulos sustentáveis reforça a bancabilidade. Projetos de eficiência em edificações e iluminação pública se enquadram em critérios setoriais de eletricidade, gás e construção; redes e planos de qualidade do ar cumprem salvaguardas e fortalecem a gestão ambiental urbana; e a transparência por dados abertos viabiliza relatórios de alocação e impacto. Com esse desenho, o setor público se torna o eixo de demonstração de integridade e desempenho que amarra a carteira estadual às expectativas regulatórias e de mercado, reduzindo custos de transação e acelerando desembolsos.

4.6. USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL URBANA; RESTAURAÇÃO FLORESTAL E PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA)

A prioridade de uso do solo reúne dois campos operacionais que se reforçam: a restauração de ecossistemas nativos em áreas rurais e a infraestrutura verde em áreas urbanas. Em ambos os casos, o desenho técnico-financeiro precisa traduzir benefícios climáticos e hídricos em indicadores verificáveis, de modo a habilitar instrumentos como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), o crédito reembolsável do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e chamadas de cooperação internacional.

O marco federal para restauração vem da Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa e do seu Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa 2025–2028 (Planaveg), que reafirma a meta de recuperar 12 milhões de hectares até 2030 e estrutura a agenda em estratégias para atrair investimentos, consolidar inteligência espacial e monitoramento e fortalecer a cadeia de insumos e serviços para restauração (sementes, viveiros, assistência técnica) (Planaveg e Proveg, Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima).

No financiamento de resultados, a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, instituída pela Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, define princípios, modalidades e a criação do Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais, com possibilidade de remuneração por conservação, recuperação e uso sustentável tanto em áreas rurais quanto em áreas urbanas e periurbanas.

A lei reconhece expressamente serviços como conservação de remanescentes vegetais urbanos, de recursos hídricos e de paisagens, reposição de cobertura nativa e manejo sustentável, constituindo base jurídica para arranjos estaduais e municipais de PSA (Lei nº 14.119, de 2021; consultas e materiais oficiais do governo federal).

No plano de execução, experiências recentes do governo federal com o Projeto Floresta+ Amazônia demonstram a operacionalidade do PSA em escala, com chamadas públicas que exigem Cadastro Ambiental Rural, critérios de elegibilidade e auditoria por imagens de satélite e verificação local. Em 2024–2025, foram abertos editais para assentamentos e agricultura familiar, com pagamentos em parcelas condicionadas a comprovação de conservação, e início de desembolsos a centenas de beneficiários no primeiro semestre de 2025. Esses editais são financiados com recursos do Fundo Verde para o Clima e executados em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, constituindo referência de desenho de chamadas, de critérios de mérito e de trilha de auditoria para programas estaduais (Projeto Floresta+ Amazônia,

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima e Secretaria de Comunicação Social).

A priorização territorial em Sergipe pode ser ancorada em diagnósticos recentes do bioma caatinga, que mantinha em 2024–2025 aproximadamente 59–60 por cento de cobertura nativa, após perda histórica da ordem de 14 por cento desde meados da década de 1980, com forte expansão de pastagens e agricultura nas últimas décadas. Esses números, que variam marginalmente conforme a coleção de dados, reforçam duas frentes de alto impacto: restauração de áreas degradadas e florestas estacionais em mosaicos de uso, e infraestrutura verde urbana com espécies nativas para atenuação de ilhas de calor e manejo de águas pluviais. A base de dados MapBiomas, com séries anuais de 1985 a 2023/2024, é apropriada para estabelecer linhas de base e metas, inclusive em recortes por município, bacia e unidade de conservação, compondo a inteligência espacial recomendada pelo Planaveg[43] .

Do ponto de vista de elegibilidade e mensuração, convém diferenciar quatro classes de intervenções: restauração ativa (plantio e condução) em Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal prioritárias; indução de regeneração natural assistida em áreas com estoque de propágulos e baixa pressão; soluções baseadas na natureza em áreas urbanas (parques lineares, arborização viária, jardins de chuva e bacias de retenção vegetadas) com métricas de conforto térmico e drenagem; e PSA estruturado por bacias, vinculando produtores a metas de cobertura, erosão e qualidade de água. Em cada classe, um conjunto pequeno de indicadores, fontes de dados e frequências de monitoramento deve ser fixado ex ante, em coerência com os cadernos de monitoramento do Planaveg e com os critérios de integridade que vêm sendo adotados em programas federais de PSA.

Tabela 3.6-A Classes de intervenção em uso do solo, indicadores e janelas de financiamento

CLASSE DE INTERVENÇÃO	LÓGICA DE ELEGIBILIDADE E DESENHO TÉCNICO	INDICADORES E FONTES DE VERIFICAÇÃO	JANELAS E REFERÊNCIAS
Restauração ativa em áreas prioritárias rurais	Diagnóstico espacial por passivos legais e áreas de alto retorno hidrológico e de biodiversidade; seleção de modelos de plantio e nucleação; cadeia de sementes e mudas	Hectares implantados e em manutenção; sobrevivência e crescimento por parcela; fração de cobertura por sensoriamento remoto; estabilidade	Planaveg 2025–2028 e Proveg; linhas reembolsáveis do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima para adaptação e recursos hídricos; chamadas de

[43] MapBiomas, https://brasil.mapbiomas.org/2025/09/18/caatinga-lidera-expansao-solar-no-brasil-mas-enfrenta-desafios-historicos-de-desmatamento/

CLASSE DE INTERVENÇÃO	LÓGICA DE ELEGIBILIDADE E DESENHO TÉCNICO	INDICADORES E FONTES DE VERIFICAÇÃO	JANELAS E REFERÊNCIAS
	nativas; assistência técnica contínua	do solo e turbidez a jusante; verificação anual independente	cooperação (Fundo Verde para o Clima) com pagamentos por resultados[44].
Regeneração natural assistida	Mapeamento de áreas com sinais de regeneração e baixa pressão antrópica; cercamento, controle de fogo e de invasoras; indução por poleiros artificiais e manejo adaptativo	Índice de cobertura e estrutura por séries anuais; taxa de fechamento do dossel; indicadores de diversidade funcional em parcelas	Planaveg e inteligência espacial; PSA estadual/municipal com metas de cobertura e conectividade; integração a projetos com apoio internacional.
Infraestrutura verde urbana com espécies nativas	Planos diretores de arborização e drenagem baseados em soluções de natureza; seleção de espécies nativas para sombreamento e infiltração; integração a parques lineares e jardins de chuva	Variação de temperatura superficial média; interceptação de escoamento; cobertura de copas em bairro; conforto térmico (índices simples); manutenção documentada	Lei de PSA (eixos urbanos e periurbanos); financiamento climático para desenvolvimento urbano resiliente; padrões de qualidade do ar e transparência já tratados no item 3.5.[45]
PSA por bacias e serviços hídricos	Estruturação de contratos PSA com provedores em montante; gatilhos por cobertura e por qualidade (turbidez, E. coli) em pontos de captação; auditoria por dados operacionais da prestadora de água e por sensoriamento	Área sob contrato; cumprimento de metas de cobertura; indicadores de qualidade e custo de tratamento; relatórios independentes de verificação	Lei nº 14.119/2021 e materiais da consulta de regulamentação; possibilidade de recursos a partir de programas federais e cooperação com Fundo Verde para o Clima.

Fonte: elaboração própria.

Para projetos rurais, a aderência ao Planaveg 2025–2028 oferece dois ganhos. Primeiro, orienta a priorização espacial com base em inteligência territorial e metas por bioma, o que evita dispersão de esforços e fortalece a narrativa de custo-efetividade. Segundo, cria uma ponte para chamadas federais e multilaterais, já que o plano explicita a necessidade de atrair investimentos públicos e privados e de estruturar um sistema de monitoramento e verificação capaz de sustentar pagamentos por resultados. A

[44] Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg), https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbio/dflo/plano-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa-planaveg?utm

[45] https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2021/lei-14119-13-janeiro-2021-790989-norma-pl.html

Resolução da Comissão Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa, de novembro de 2024, formalizou esse marco e o período 2025–2028, tornando-o referência de planejamento.

Para PSA, três cautelas técnicas são centrais. A primeira é a definição clara do serviço ambiental remunerado e da adicionalidade. Em contratos de conservação, a adicionalidade pode ser demonstrada por risco de conversão e por compromissos de não desmatamento verificados por séries de alertas e imagens; em contratos de restauração, por metas de implantação e manutenção e por indicadores de cobertura e sobrevivência. A segunda é a medição por fontes independentes e rastreáveis. As experiências do Projeto Floresta+ Amazônia mostram o uso combinado de monitoramento remoto e checagens locais, com exigência de regularidade cadastral e critérios objetivos de elegibilidade, e pagamentos em parcelas condicionadas ao desempenho. A terceira é a governança de dados e auditoria, com trilhas reprodutíveis e publicação periódica de resultados em portais de transparência.

A infraestrutura verde urbana merece agenda própria, pois viabiliza ganhos climáticos e de saúde pública com custos unitários relativamente baixos e benefícios distribuídos. A Lei nº 14.119, de 2021 contempla PSA para conservação de remanescentes vegetais em áreas urbanas e periurbanas, o que permite estruturar programas municipais que bonifiquem manutenção de copas, micro corredores ecológicos e jardins de chuva por quadras críticas de alagamento. Em termos de financiamento, projetos de infraestrutura verde podem ser combinados a linhas reembolsáveis de desenvolvimento urbano resiliente e a recursos não reembolsáveis para adaptação local, além de integrarem as políticas estaduais de qualidade do ar e transparência discutidas na subseção 3.5.

Para a caatinga sergipana, recomenda-se um pipeline com três ondas: a primeira, de rápida maturação, prioriza regeneração assistida em áreas com alta probabilidade de retorno ecológico, complementada por cercamento e controle de fogo, e arborização urbana com espécies nativas adaptadas à sazonalidade hídrica, localizada em corredores de mobilidade e entorno de equipamentos públicos; a segunda, de complexidade intermediária, combina restauração ativa em Áreas de Preservação Permanente críticas para abastecimento com PSA por bacia, ancorado por metas de cobertura e de turbidez, e contratos padronizados para pequenos produtores; e a terceira, estrutural, integra mosaicos de restauração com PSA a projetos de adaptação hídrica e recarga de aquíferos, além de cinturões verdes urbanos conectando parques lineares a áreas periurbanas de produção agroflorestal. Em todas as ondas, o uso de séries do

MapBiomas e de dados oficiais como linha de base e verificação acelera a análise de elegibilidade e a avaliação de resultado[46] .

Os dossiês de elegibilidade devem explicitar: diagnóstico espacial, modelo ecológico e silvicultural, cronograma de implantação e manutenção, plano de monitoramento (parcela e satélite), salvaguardas sociais (participação, inclusão produtiva e uso de sementes nativas de origem conhecida) e trilha de auditoria. Em PSA, as minutas contratuais precisam tipificar eventos de pagamento, gatilhos por indicador, sanções por descumprimento e procedimentos de resolução de disputas. A experiência recente do governo federal com chamadas de PSA e desembolsos piloto, apoiada por recursos do Fundo Verde para o Clima e execução em parceria com organismo das Nações Unidas, oferece modelos úteis de edital, governança e verificação que podem ser adaptados ao contexto estadual.

Por fim, a coerência com a Taxonomia Sustentável Brasileira e com o Planaveg aumenta a bancabilidade. Ao comprovar contribuição substancial para mitigação e adaptação com salvaguardas mínimas e plano de monitoramento, os projetos de restauração e de infraestrutura verde se tornam elegíveis a carteiras reembolsáveis e a pagamentos por resultados, e se comunicam com investidores que exigem métricas robustas. Em curto prazo, a recomendação é instituir, no âmbito estadual, um comitê técnico de restauração e PSA (cuja minuta de Lei já está em tramitação na Assembleia em Sergipe e irá substituir o Decreto que hoje regulamenta o Pagamentos por Serviços Ambientais - Decreto nº 11.525, de 2023) com competência para validar enquadramentos, padronizar indicadores e publicar um repositório de projetos e resultados, harmonizando desenho, financiamento e auditoria com os marcos nacionais.

4.7. SETOR ELÉTRICO DESCENTRALIZADO E EFICIÊNCIA EM EDIFICAÇÕES

A expansão de geração junto à carga, armazenamento e modernização de redes de baixa tensão, combinadas a reabilitação energética de edificações, compõe uma frente de alto impacto para redução estrutural de consumo final, perdas e emissões. O marco jurídico da micro e minigeração distribuída (Lei nº 14.300, de 2022) assegurou

[46] MapBiomas, https://brasil.mapbiomas.org/2025/09/18/caatinga-lidera-expansao-solar-no-brasil-mas-enfrenta-desafios-historicos-de-desmatamento/?utm

continuidade do regime de compensação e introduziu período de transição regulatória entre 2023 e 2029, com contribuição gradativa aos custos de rede, preservando integralmente, até 2045, os pedidos protocolados até 6 de janeiro de 2023. A regulamentação setorial confirmou essas condições e reforçou a segurança jurídica para investimentos em geração distribuída, autoconsumo remoto e empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, o que permite modelagens municipais e consorciais ancoradas em economia de fatura e gestão de demanda.

Os dados de 2024 e 2025 confirmam maturidade e escala do segmento. A Agência Nacional de Energia Elétrica reportou acréscimo de 8,85 gigawatts de potência de micro e minigeração distribuída em 2024; em janeiro de 2025 já se registravam 36,9 gigawatts e, ao fim do primeiro trimestre, 38,4 gigawatts, com mais de 3,4 milhões de sistemas conectados e quase 5 milhões de unidades consumidoras beneficiadas. Em junho de 2025, a potência acumulada superou 40 gigawatts, com 3,59 milhões de sistemas e 5,4 milhões de consumidores com créditos. Essa tração reduz risco tecnológico e comercial de carteiras estaduais e municipais, e sinaliza capacidade de execução por integradores, distribuidores e agentes financeiros em todas as regiões.

Em eficiência energética de edificações, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações evoluiu para um regime consolidado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, por meio da Portaria nº 309, de 2022, que aprovou instruções normativas e requisitos de avaliação da conformidade para edificações comerciais, de serviços, públicas e residenciais.

A transição regulatória, com adoção obrigatória das novas instruções normativas em cronograma escalonado até 31 de outubro de 2029, cria um roteiro técnico para reabilitação energética de prédios públicos, com métodos de avaliação de envoltória, sistemas e automação compatíveis com verificação de economias e auditoria de resultados. Em paralelo, as páginas programáticas do financiamento climático federal mantêm elegibilidade explícita para eficiência em edificações públicas e iluminação pública eficiente, com prazos de até 16 anos na modalidade automática e condições específicas para as regiões Norte e Nordeste, além do módulo de transição energética para geração distribuída, redes inteligentes e armazenamento, com prazos de até 16 anos (e até 24 anos para eólica) e valor máximo de financiamento por grupo econômico[47] .

[47] Portaria nº 309, de 06.09.2022, https://legislacao.contabil.business/1663080751 - DOU de 12.09.2022 -

A tradução dessa prioridade em carteira financiável em Sergipe recomenda integrar três planos técnicos: o primeiro plano é um programa estadual de geração distribuída renovável para serviços públicos essenciais, estruturado em lotes por município ou bacia de atendimento (saúde, educação, água e esgoto), com dimensionamento para autoconsumo remoto e metas de redução de perdas no ponto de conexão; o segundo, é um programa de reabilitação energética de edificações públicas, alinhado às instruções normativas de etiquetagem, com diagnósticos por uso final, envelopamento térmico, modernização de sistemas de climatização e automação, comissionamento e contratos de desempenho; e o terceiro é um programa de modernização de baixa tensão e gestão do lado da demanda, com medição inteligente, tarifação horária e pilotos de armazenamento distribuído em equipamentos públicos críticos, para reduzir demanda de ponta e melhorar fator de carga.

A matriz a seguir organiza subfrentes elegíveis, parâmetros de projeto e indicadores de resultado, no mesmo léxico usado por financiadores e reguladores.

Tabela 3.7-A Subfrentes e indicadores para setor elétrico descentralizado e eficiência em edificações

SUBFRENTE	ATIVIDADES E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS	REFERÊNCIAS DE POLÍTICA E FINANCIAMENTO
Geração distribuída renovável para serviços públicos essenciais	Sistemas fotovoltaicos em telhados e solo, autoconsumo remoto por consórcios públicos, adequação de proteção e medição, gestão de ativos	MWh gerados, participação renovável no consumo do serviço, redução de custo médio por kWh, redução de perdas técnicas na baixa tensão	Lei nº 14.300/2022 e regulamentação; dados setoriais de expansão 2024–2025; Fundo Clima Transição Energética (redes, GD, armazenamento)
Armazenamento distribuído e gestão da demanda	Sistemas de baterias em unidades críticas (hospitais, ETA/ETE), controle de carga, tarifação horária, EMS	Redução de demanda máxima, aumento do fator de carga, índice de continuidade do serviço, custo evitado na ponta	Fundo Clima Transição Energética (armazenamento, redes inteligentes)
Modernização de redes de baixa tensão (smart grid)	Medição inteligente, automação de religadores, redução de perdas não técnicas, qualidade de tensão	Perdas totais na baixa tensão, DEC/FEC locais, qualidade de tensão dentro de limites normativos	Fundo Clima Transição Energética; indicadores operacionais reconhecidos
Reabilitação energética de edificações públicas	Diagnóstico por uso final, retrofit de envoltória, iluminação e climatização,	Redução de kWh por m², nível de eficiência obtido, fator de carga, disponibilidade dos sistemas	Portaria Inmetro nº 309/2022 (instruções normativas consolidadas); Fundo Clima Desenvolvimento

SUBFRENTE	ATIVIDADES E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSOS	REFERÊNCIAS DE POLÍTICA E FINANCIAMENTO
	automação, comissionamento e etiquetagem		Urbano Resiliente e Sustentável
Iluminação pública eficiente	Substituição por luminárias de alto desempenho, dimerização e telegestão, contratos com garantias de desempenho	Redução de kWh por ponto de luz, redução de demanda na ponta, taxa de disponibilidade	Fundo Clima Desenvolvimento Urbano Resiliente e Sustentável; prazos e condições da modalidade automática

Fonte: elaboração própria.

A modelagem econômico-financeira desses pacotes deve combinar economia de fatura, custos evitados na ponta e redução de perdas com prazos de amortização compatíveis. Na modalidade automática do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, os prazos atuais alcançam 16 anos para eficiência e 16 anos para itens de transição energética (com janela de 24 anos para eólica), e há regra extraordinária até 30 de julho de 2025 que eleva o teto por cliente final para 150 milhões de reais quando a parcela acima de 50 milhões se destina a projetos nas regiões Norte ou Nordeste. Essa condição favorece operações em Sergipe e recomenda estruturar lotes estaduais ou consorciais com massa crítica suficiente para contratos de fornecimento e manutenção com garantias de desempenho[48] .

A verificação de resultados exige planos de medição adequados ao tipo de intervenção. Em geração distribuída, o registro de energia em tempo real por inversor e medidor bidirecional, reconciliado com faturas, sustenta a medição dos MWh gerados e da economia líquida. Em armazenamento e gestão da demanda, a comparação de curvas de carga pré e pós-projeto, controlando variáveis independentes (temperatura, ocupação, produção), permite estimar redução de demanda máxima e aumento de fator de carga. Em edificações, as instruções normativas de etiquetagem oferecem métodos de avaliação de eficiência e fronteiras de medição por uso final, o que facilita auditorias de economias. Em iluminação pública, a telegestão produz séries de consumo e disponibilidade por ponto de luz, úteis como gatilhos de desembolso. A publicação periódica desses dados em portal estadual, com APIs e metadados, alinha a carteira aos requisitos de transparência já discutidos para o setor público.

[48]https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima-automatico-projetos-de-investimento

A transição regulatória da micro e minigeração distribuída recomenda incorporar cenários conservadores de encargos e estrutura tarifária nos estudos de viabilidade, em linha com a regulamentação vigente, que estabelece contribuição gradativa aos custos de rede entre 2023 e 2029. Essa precaução evita superestimação de economias e reduz risco de inadimplência contratual, sobretudo em consórcios públicos. A escala recente do mercado, com potência instalada acima de 38–40 gigawatts em 2025, reforça a necessidade de requisitos técnicos de conexão e de estudos de qualidade de tensão e proteção em baixa tensão, além de planejamento coordenado com as distribuidoras para mitigar impactos locais[49].

No contexto sergipano, a priorização deve mirar serviços com alto consumo elétrico específico e criticidade social. Estações de tratamento e bombeamento de água e esgoto, hospitais e escolas compõem um primeiro bloco de alta atratividade, com geração distribuída, armazenamento para gestão de ponta e retrofits de climatização. Um segundo bloco pode mirar edifícios administrativos com alto potencial de redução por automação e envoltória. Municípios com baixa capacidade técnica podem ser atendidos por um programa estadual de assistência técnica padronizada, com especificações de engenharia, editais-modelo e contratos de desempenho. A contratação pode ocorrer por agentes do Sistema Nacional de Fomento, utilizando a modalidade automática para itens padronizáveis e operações diretas para projetos estruturantes de redes e armazenamento.

A convergência com a Taxonomia Sustentável Brasileira e com o arcabouço soberano de títulos sustentáveis é direta. Atividades de geração distribuída renovável, redes inteligentes, armazenamento e eficiência em edificações integram os cadernos setoriais de eletricidade, gás e construção e atendem a critérios de contribuição substancial em mitigação quando demonstram limites de intensidade de emissões, metas de eficiência e redução de perdas.

A adoção desses critérios como filtro de elegibilidade estadual e a organização de relatórios de alocação, e de impactos em formato compatível com padrões federais encurtam o ciclo de análise e aumentam a previsibilidade de desembolsos. As comunicações institucionais recentes sobre escala e governança do Fundo Clima, incluindo a plataforma de acompanhamento lançada em 2025 e a ampliação de aprovações, reforçam a disponibilidade de financiamento e a importância de dossiês tecnicamente consistentes.

[49] Marco legal da microgeração e minigeração distribuída, Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm

4.8. RECURSOS HÍDRICOS; GESTÃO COSTEIRA E MARINHA

A prioridade de recursos hídricos e gestão costeira e marinha combina programas de segurança hídrica no interior com instrumentos de ordenamento e proteção da zona costeira, articulando planejamento, infraestrutura, operação e governança da informação.

Em escala nacional, o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022–2040 define indicadores, macrodiretrizes e programas, com base técnica no Relatório de Conjuntura 2021 e no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, e orienta que estados e bacias internalizem cenários de demanda, balanços hídricos e metas com consequências regulatórias e orçamentárias (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). O plano enfatiza integração com políticas setoriais, prevenção de conflitos pelo uso da água, revitalização de bacias e adaptação a eventos extremos de secas e cheias, constituindo referência para enquadramento de projetos estaduais e consorciados em fontes nacionais e multilaterais[50] .

A zona costeira, declarada patrimônio nacional, é regida pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro instituído em 1988 e regulamentado pelo Decreto nº 5.300,de 2004, que fixa diretrizes para uso e ocupação, zoneamento ecológico-econômico costeiro e gestão da orla, com respaldo da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar e do Conselho Nacional do Meio Ambiente. O Decreto estrutura instrumentos de planejamento, licenciamento e monitoramento, e reconhece a necessidade de regras específicas para parcelamento, construção e funcionamento de empreendimentos na orla, devendo os estados consolidar planos e zoneamentos compatíveis para acessar financiamento e executar projetos com segurança jurídica.

A elegibilidade financeira para esta prioridade encontra rotas maduras no Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, tanto em Desenvolvimento Urbano Resiliente e Sustentável, quanto no eixo Florestas Nativas e Recursos Hídricos. Na modalidade reembolsável operada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, prazos de amortização chegam a 25 anos para recursos hídricos e desenvolvimento urbano resiliente, com carência de até oito e cinco anos, respectivamente.

[50] Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/planos-de-recursos-hidricos/plano-nacional-de-recursos-hidricos-pnrh

Até 30 de julho de 2025, o teto por cliente final pode alcançar 150 milhões de reais, quando a parcela acima de 50 milhões se destinar a projetos nas regiões Norte ou Nordeste, condição que favorece carteiras estruturadas em Sergipe. O Plano Anual de Aplicação de Recursos de 2025 aprovou 11,2 bilhões de reais para investimentos climáticos, incluindo linhas para recursos hídricos e gestão urbana resiliente, enquanto comunicações institucionais do banco confirmaram a ampliação dos eixos elegíveis e da escala do instrumento. (Fundo Clima Automático – Projetos de Investimento – BNDES)

Em saneamento e segurança hídrica, a base empírica de perdas e cobertura é indispensável para a modelagem de projetos e marcos de desembolso. A transição do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento para o novo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico trouxe dados de 2023, que apontam 28 bilhões de reais investidos em água e esgoto, com 83,1 por cento de atendimento de água; já diagnósticos temáticos com base no sistema anterior indicam perdas de água na distribuição em torno de 38 por cento em 2022, patamar que justifica economicamente programas de redução de perdas como medida de adaptação e eficiência energética. Esses números, ainda que referenciados a anos-base distintos, orientam dossiês de projetos com metas de perdas por volume produzido e por ligação, e com cálculo de emissões evitadas pela energia poupada[51] .

Estados podem ainda acionar incentivos de desempenho para a gestão das águas por meio do Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas, que realiza repasses atrelados ao cumprimento de metas de planejamento, monitoramento e segurança de barragens, fortalecendo sistemas estaduais e conselhos de recursos hídricos. Casos recentes documentam ciclos plurianuais com metas auditáveis e repasses anuais a secretarias estaduais com base em autoavaliações e verificação pelo órgão regulador federal, o que compõe uma segunda camada de financiamento condicionada a resultados institucionais e de governança[52] .

A preparação de carteiras para Sergipe recomenda a organização de quatro linhas operacionais: segurança hídrica no semiárido; perdas e eficiência energética em sistemas de água; revitalização de bacias com soluções baseadas na natureza; e gestão costeira integrada.

[51]https://www.aguaesaneamento.org.br/noticias/novo-sistema-de-informacoes-federal-registra-aumento-de-investimentos-em-agua-e-saneamento/
[52]https://goias.gov.br/meioambiente/no-terceiro-ciclo-de-parceria-com-ana-semad-recebera-r-14-milhao-por-ano-para-recursos-hidricos/

Em segurança hídrica, diagnósticos de balanço hídrico, riscos operacionais e redundância de fontes devem orientar intervenções de adução, reservação, interligações e soluções descentralizadas de abastecimento, com atenção a custos energéticos e à resiliência a secas prolongadas. Em perdas, a priorização de distritos de medição e controle, setorização, substituição de ramais, macromedição e telemetria reduz custos de produção e libera capacidade hidráulica, com efeitos colaterais positivos sobre emissões ao reduzir consumo de energia em estações de tratamento e bombeamento. Em revitalização de bacias, a integração com restauração de vegetação nativa e pagamento por serviços ambientais reduz assoreamento, melhora qualidade e regularidade de vazões e cria oportunidades de pagamentos por resultados alinhados ao Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa e ao Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Em gestão costeira, o zoneamento ecológico-econômico costeiro e planos de gestão da orla devem balizar obras de proteção, renaturalização de margens, recuperação de manguezais e requalificação de drenagem urbana, com forte governança de licenciamento e monitoramento.

Para tornar comparáveis os dossiês e ancorar desembolsos por marcos, a matriz a seguir sintetiza subfrentes elegíveis e indicadores de resultado.

Tabela 3.8-A Subfrentes e indicadores para recursos hídricos e gestão costeira e marinha

SUBFRENTE	ESCOPO TÉCNICO E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSO E AUDITORIA	REFERÊNCIAS E JANELAS DE FINANCIAMENTO
Segurança hídrica em sistemas produtores e adutoras	Estudos de balanço hídrico, redundância de captações, adutoras, reservação, automação e proteção contra cheias e secas; gestão de risco de barragens	Índice de segurança hídrica do sistema, horas de racionamento evitadas, disponibilidade de reservação, conformidade em segurança de barragens	PNRH 2022–2040 e Relatório de Conjuntura; Fundo Nacional sobre Mudança do Clima em Desenvolvimento Urbano Resiliente
Redução de perdas e eficiência energética em água e esgoto	Setorização, distritos de medição e controle, macromedição, substituição de ramais, detecção ativa de vazamentos, automação; retrofits eletromecânicos	Índice de perdas na distribuição (percentual e m³/km/dia), perdas por ligação, kWh por m³ produzido, emissões evitadas por energia poupada	Dados de SNIS/SINISA e estudos setoriais; Fundo Nacional sobre Mudança do Clima em Desenvolvimento Urbano Resiliente
Revitalização de bacias e soluções baseadas na natureza	Controle de erosão, recomposição de matas ciliares, bacias de detenção, leitos de cheias renaturalizados, PSA por bacias	Turbidez e sólidos suspensos na captação, redução de assoreamento, área restaurada, cumprimento de metas de PSA	PNRH 2022–2040 e programas federais; Fundo Nacional sobre Mudança do Clima em Florestas Nativas e Recursos Hídricos

SUBFRENTE	ESCOPO TÉCNICO E PARÂMETROS DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO PARA DESEMBOLSO E AUDITORIA	REFERÊNCIAS E JANELAS DE FINANCIAMENTO
Gestão costeira integrada e orla	Zoneamento costeiro e planos de gestão da orla; contenção e renaturalização de margens; recuperação de manguezais; drenagem urbana com soluções de natureza	Execução do zoneamento aprovado, quilômetros de margem renaturalizada, hectares de manguezal restaurado, redução de ocorrências de alagamento em marés de sizígia	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Decreto nº 5.300/2004); linhas de Desenvolvimento Urbano Resiliente

Fonte: elaboração própria

O desenho financeiro dessas subfrentes pode combinar operações automáticas, via rede de agentes do Sistema Nacional de Fomento para intervenções padronizáveis, e operações diretas para empreendimentos estruturantes. As condições hoje publicadas pelo banco de desenvolvimento permitem amortização de até 25 anos nos eixos de recursos hídricos e desenvolvimento urbano resiliente, adequadas ao ciclo de vida de adutoras, reservatórios e projetos de drenagem e renaturalização; a regra temporária de teto ampliado para operações no Nordeste favorece a consolidação de lotes estaduais com massa crítica para contratação eficiente de bens e serviços. No eixo de gestão e governança, metas de implantação de sistemas de informação, monitoramento hidrológico e segurança de barragens podem ser atreladas a desembolsos, à semelhança do arranjo já praticado no programa federal de incentivo à gestão das águas.

A verificação de resultados deve seguir planos de medição e verificação coerentes com as fontes de dados oficiais. Para segurança hídrica e perdas, a reconciliação de dados operacionais com as bases do sistema nacional de informações (SNIS/SINISA) permite aferir ganhos de eficiência e impactos energéticos; para revitalização de bacias, a combinação de monitoramento de qualidade da água em captações com sensoriamento remoto de uso e cobertura do solo sustenta auditorias; para gestão costeira, o acompanhamento do cumprimento do zoneamento e dos indicadores de drenagem e alagamento consolida a trilha de evidência. Em todos os casos, a publicação periódica em portal estadual com APIs e metadados facilita auditorias e relatórios de alocação e impacto, em linha com a governança de dados discutida neste capítulo.

No contexto sergipano, a priorização recomenda agrupar municípios em bacias de serviço para reduzir custos de transação e maximizar externalidades positivas. Sistemas produtores que atendem múltiplos municípios devem ser alvo inicial para

intervenções de segurança hídrica e perdas, onde a elasticidade energética é maior. Em áreas costeiras, a integração entre planos de drenagem, gestão da orla e restauração de manguezais reduz riscos de alagamento e de intrusão salina e melhora a qualidade ambiental urbana, fortalecendo a elegibilidade de operações em Desenvolvimento Urbano Resiliente e Sustentável.

5. FONTES E INSTRUMENTOS FINANCEIROS

A título de introdução, é importante registrar que este Capítulo não incluirá a análise dos recursos orçamentários previstos na Lei Orçamentária Anual (LOA), nem das compensações financeiras decorrentes de danos ambientais. Esses instrumentos, embora relevantes, não constituem fontes estruturantes de financiamento climático de longo prazo.

Em 2024, o orçamento ambiental direto do Estado de Sergipe representou aproximadamente 0,32% do orçamento total estadual[53] , segundo dados consolidados da Secretaria de Estado da Fazenda (SEFAZ-SE) e da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC). Essa proporção, inferior à média nacional de 0,5% observada em 2023, segundo o Ranking de Competitividade dos Estados elaborado pelo Centro de Liderança Pública (CLP)[54] , evidencia a limitação fiscal estrutural de um Estado que ainda enfrenta desafios severos nas áreas de educação, saúde e segurança pública. Também não serão abordados neste Capítulo os mecanismos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) nem a minuta do Projeto de Lei que institui o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PSACI), ambos já detalhadamente examinados nos Produtos 5.2 e 5.3 e no documento técnico Análise Aprofundada da Minuta de Lei de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral de Sergipe.

Sendo assim, será abordada uma carteira de financiamento climático disponível ao Estado de Sergipe, que combina instrumentos reembolsáveis de escala, operados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social no âmbito do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, com oportunidades não reembolsáveis e pagamentos por resultados sob coordenação do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

[53] Fonte: Secretaria de Estado da Fazenda de Sergipe (SEFAZ-SE). Lei Orçamentária Anual do Estado de Sergipe – Exercício 2024. Anexos II e III. Aracaju, 2024. Disponível em: https://www.sefaz.se.gov.br
[54] Fonte: Centro de Liderança Pública (CLP). Ranking de Competitividade dos Estados 2023 – Pilar Sustentabilidade Ambiental. São Paulo, 2025

Para 2025, o Plano Anual de Aplicação de Recursos aprovou 11,2 bilhões de reais, distribuídos em eixos que cobrem desenvolvimento urbano resiliente, florestas nativas e recursos hídricos, logística de transportes e mobilidade, indústria verde, transição energética e serviços e inovação, enquanto editais não reembolsáveis priorizam temas como periferias verdes resilientes. Esse envelope define o campo de ação prioritário para governos subnacionais e impõe ao proponente o dever de submeter dossiês tecnicamente consistentes e verificáveis em indicadores de mitigação e adaptação.

Também serão abordadas outras oportunidades de financiamento com organizações multilaterais, mas não se pretende aqui exaurir todas as oportunidades, apenas as que estão mais aptas e próximas do governo do Estado. Lembrando que há oportunidades a serem desenvolvidas com o setor privado que demandam estruturas de monitoramento e análise caso a caso que, em Sergipe, é conduzida pela Desenvolve - SE e deve ser acompanhada pelas orientações de políticas públicas desenhadas pela SEMAC.

5.1. FUNDO CLIMA: LINHAS REEMBOLSÁVEIS E APLICAÇÕES NÃO REEMBOLSÁVEIS; CRITÉRIOS E EXEMPLOS

A modalidade reembolsável do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima é, hoje, o principal vetor de escala para carteiras estaduais e municipais. Do ponto de vista programático, o Fundo Clima organiza o apoio em sete eixos: (i) desenvolvimento urbano resiliente e sustentável; (ii) indústria verde; (iii) logística de transporte e mobilidade verdes; (iv) transição energética; (v), florestas nativas e recursos hídricos; (vi) serviços e inovação verdes; e (vii) máquinas verdes.

Cada eixo possui condições financeiras e prazos específicos, com variação por modalidade direta e indireta automática, teto por cliente e participação do banco de desenvolvimento. O BNDES mantém, ainda, um painel público de acompanhamento que permite a qualquer interessado observar aprovações e desembolsos por finalidade, unidade da Federação e forma de apoio, favorecendo transparência e a preparação de propostas alinhadas às evidências de execução.

Na modalidade direta, voltada a projetos estruturantes e clientes com maior maturidade técnica e financeira, os eixos transição energética, indústria verde e desenvolvimento urbano resiliente e sustentável admitem valores entre 20 milhões e 500 milhões de reais por grupo econômico a cada doze meses. O custo financeiro de referência publicado para operações diretas é de 6,5 por cento ao ano para a maioria das

atividades e 9,5 por cento ao ano para geração solar, acrescido da remuneração do banco a partir de 1,2 a 1,3 por cento ao ano conforme o tomador, com prazos de amortização típicos de 192 meses e carência de até 60 a 72 meses, a depender do eixo. Para geração eólica na transição energética, o prazo pode alcançar 288 meses com carência de 72 meses, refletindo o ciclo de vida do ativo. Esses parâmetros são explicitados nas páginas programáticas do banco, que detalham por eixo as finalidades apoiáveis, os prazos e as participações financiáveis.

Na modalidade indireta automática, adequada a intervenções padronizáveis e à capilaridade via agentes do Sistema Nacional de Fomento, o valor máximo regular por cliente é de 50 milhões de reais a cada doze meses para a maioria dos empreendimentos e de 30 milhões de reais para florestas nativas e recursos hídricos. Até 30 de julho de 2025 vigora regra temporária que eleva o teto por cliente final para 150 milhões de reais quando a parcela acima de 50 milhões seja destinada a operações nas regiões Norte ou Nordeste, o que cria janela tática para empacotamento de lotes estaduais em Sergipe. Os prazos publicados chegam a 25 anos, com carências de cinco a oito anos em eixos de transporte e recursos hídricos, e a 16 anos na maior parte das demais linhas, com condições específicas para eólica. O custo financeiro de referência divulgado para a modalidade indireta varia por segmento, com exemplos de 6,50 por cento ao ano para a maioria dos empreendimentos, 9,50 por cento ao ano para geração solar e 1,00 por cento ao ano para florestas nativas e recursos hídricos, somados à taxa do BNDES de 0,9 ou 1,4 por cento ao ano conforme porte e à taxa do agente financeiro até 2,5 por cento ao ano. Essas regras, publicadas pelo banco e por comunicações oficiais do Executivo federal, são determinantes para a modelagem de cronogramas físico-financeiros e de indicadores de resultado.

A síntese comparativa abaixo organiza os parâmetros públicos mais relevantes para a preparação de carteiras estaduais.

Tabela 4.1-A Modalidades e parâmetros selecionados do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima

MODALIDADE E EIXO	VALOR MÍNIMO E MÁXIMO POR CLIENTE	PARTICIPAÇÃO FINANCIÁVEL	PRAZOS E CARÊNCIAS DIVULGADOS	CUSTO FINANCEIRO PUBLICADO E OBSERVAÇÕES
Direta – Transição energética	Mínimo 20 milhões; máximo 500 milhões por grupo econômico a cada doze	80 por cento dos itens financiáveis	Até 192 meses, carência até 72 meses; eólica até 288 meses, carência 72 meses	6,5 por cento ao ano para atividades gerais; 9,5 por cento ao ano para solar; remuneração do banco a partir de

MODALIDADE E EIXO	VALOR MÍNIMO E MÁXIMO POR CLIENTE	PARTICIPAÇÃO FINANCIÁVEL	PRAZOS E CARÊNCIAS DIVULGADOS	CUSTO FINANCEIRO PUBLICADO E OBSERVAÇÕES
	meses			1,3 por cento ao ano, conforme página do eixo.
Direta – Indústria verde	Mínimo 20 milhões; máximo 500 milhões por grupo econômico a cada doze meses	80 por cento dos itens financiáveis	Até 192 meses, carência até 60 meses	Custo financeiro 6,5 por cento ao ano; remuneração a partir de 1,2 a 1,3 por cento ao ano.
Direta – Desenvolvimento urbano resiliente e sustentável	Mínimo 20 milhões; máximo 500 milhões por grupo econômico a cada doze meses	Até 100 por cento dos itens financiáveis	Até 192 meses, carência até 60 meses	Custo financeiro 6,5 por cento ao ano; remuneração do banco a partir de 1,2 a 1,3 por cento ao ano.
Indireta automática – Projetos de investimento	Máximo regular 50 milhões por cliente a cada doze meses; florestas e recursos hídricos 30 milhões; regra temporária eleva teto a 150 milhões até 30/7/2025 para valores acima de 50 milhões destinados ao Norte e Nordeste	Até 100 por cento dos itens financiáveis	Transporte e recursos hídricos até 25 anos, carência 5 a 8 anos; demais eixos até 16 anos, carência até 6 anos; eólica até 24 anos, carência 6 anos	Custo financeiro de referência 6,50 por cento ao ano para a maioria; 9,50 por cento ao ano para solar; 1,00 por cento ao ano para florestas e recursos hídricos; taxa do banco de 0,9 ou 1,4 por cento ao ano; taxa do agente até 2,5 por cento ao ano.
Indireta automática – Máquinas e equipamentos	Máximo regular 50 milhões por cliente a cada doze meses; regra temporária do teto ampliado	Até 100 por cento do investimento	Prazos conforme eixo e regulamento do produto	Custo financeiro 6,50 por cento ao ano para máquinas e equipamentos e 9,50 por cento ao ano para solar, mais taxas do banco e do agente.

MODALIDADE E EIXO	VALOR MÍNIMO E MÁXIMO POR CLIENTE	PARTICIPAÇÃO FINANCIÁVEL	PRAZOS E CARÊNCIAS DIVULGADOS	CUSTO FINANCEIRO PUBLICADO E OBSERVAÇÕES
	para Norte e Nordeste até 30/7/2025			

Fonte: Fundo Clima BNDES, elaboração própria.

A governança de alocação e transparência é igualmente relevante. O Comitê Gestor do Fundo Clima, que aprovou o plano anual de 2025, vincula o uso dos recursos a finalidades específicas e orienta a priorização por eixos. A comunicação oficial do Governo Federal, em abril de 2025, explicitou o montante aprovado e o recorte entre modalidades; em março de 2025, o banco de desenvolvimento e a Agência Gov registraram que, em 2024, as aprovações alcançaram 10,2 bilhões de reais, com crescimento proporcional expressivo no Nordeste. Esses dados, aliados ao painel de acompanhamento do BNDES, fornecem base empírica para justificar a atração de operações ao estado e para dimensionar a capacidade de execução do sistema financeiro de desenvolvimento.

Para construir dossiês com alta probabilidade de aprovação, recomenda-se ancorar a elegibilidade em quatro pilares. O primeiro pilar é o enquadramento técnico no eixo correto com listas positivas de atividades, limites e salvaguardas. A página matriz do fundo apresenta os sete eixos e respectivas descrições, que devem ser reproduzidas e cruzadas com o objeto do projeto, evitando enquadramentos ambíguos. O segundo, é a consistência econômico-financeira em termos de custo total de propriedade, fluxo de caixa e cronograma, com prazos ajustados à depreciação e à vida útil dos ativos, em coerência com carências e amortizações publicadas. O terceiro, é a métrica de resultados auditável, que defina indicadores de mitigação e adaptação, fronteiras de medição, métodos de ajuste e periodicidades de reporte, compatíveis com relatórios de alocação e impacto e com a eventual emissão de títulos sustentáveis por entes subnacionais. O quarto, é a governança de dados e salvaguardas, com trilhas reprodutíveis e arranjos de transparência ativa, preferencialmente por meio de publicações em portais abertos com interfaces de programação, o que reduz o custo de diligência e acelera a tomada de decisão.

Do ponto de vista de estratégia para Sergipe, a regra temporária de teto ampliado na modalidade automática até 30 de julho de 2025 cria oportunidade de empacotamento de lotes por programa e por região, combinando municípios em arranjos de desenvolvimento urbano resiliente, perdas e eficiência em sistemas de água,

mobilidade urbana, iluminação pública eficiente e restauração de recursos hídricos. Em paralelo, operações diretas podem ser reservadas a projetos estruturantes de transição energética, redes e armazenamento, parques de mobilidade elétrica e polos de indústria verde com substituição de combustíveis e digitalização. O histórico recente de aprovações, com forte expansão no Nordeste e exemplos de financiamento a recursos hídricos e energias renováveis, reforça a viabilidade de uma carteira estadual bem instruída e aderente a critérios de impacto.

As aplicações não reembolsáveis, operadas pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, devem ser tratadas como catalisadores para preparação de projetos, assistência técnica e demonstrações de soluções de adaptação em territórios vulneráveis. Em 2025, foi aprovado o tema de um edital para periferias verdes resilientes, com até 25 milhões de reais para organizações da sociedade civil implementarem soluções baseadas na natureza em periferias urbanas, buscando co-benefícios de qualidade ambiental e bem-estar. Editais dessa natureza podem ser alinhados a carteiras reembolsáveis como linhas de base de intervenção e plataformas de medição e verificação, principalmente quando o objetivo é reduzir riscos de execução e criar evidência de impacto replicável.

Por fim, convém destacar que a priorização setorial estadual deve dialogar com a trajetória de aprovação e desembolso registrada no painel do Fundo Clima, utilizando séries históricas por finalidade e por unidade da Federação para calibrar metas físicas e financeiras. A transparência ativa e a padronização de dossiês por eixo reduzem custos de transação, antecipam exigências de auditoria e favorecem uma curva de aprendizado capaz de acelerar a execução física e financeira no Estado.

5.2. TÍTULOS SOBERANOS SUSTENTÁVEIS: ELEGIBILIDADE E IMPLICAÇÕES PARA PROGRAMAS ESTADUAIS (SERVIÇOS E INFORMAÇÕES DO BRASIL)

Os títulos soberanos sustentáveis do Brasil são emitidos pelo Tesouro Nacional com lastro em despesas elegíveis do Orçamento Geral da União e regidos pelo Arcabouço Brasileiro para Títulos Soberanos Sustentáveis, acompanhado de opinião de segunda parte e de relatórios periódicos de alocação e impacto.

O arcabouço estabelece que os recursos captados têm alocação virtual a categorias ambientais e sociais definidas ex ante, com compromissos de transparência, métricas e verificação externa, e com governança assegurada por um comitê interministerial específico. Esse desenho, publicado oficialmente em 5 de setembro de

2023, explicita obrigações do emissor e critérios de seleção e reporte, constituindo referência primária para qualquer alinhamento subnacional e para o diálogo com investidores institucionais que exigem rastreabilidade e comparabilidade de impactos[55] .

A transparência operacional do instrumento foi consolidada com a publicação do Relatório de Alocação e Impacto, que detalha, para as emissões realizadas, a distribuição por categorias elegíveis, exemplos de programas, indicadores e o escopo de verificação externa independente. O relatório de 8 de novembro de 2024 trouxe, além da narrativa metodológica, anexos com bases de dados e o parecer de verificação, estabelecendo um padrão de prestação de contas que facilita a interoperabilidade com relatórios de alocação e de impactos de entes subnacionais. Em 12 de agosto de 2025, o Tesouro divulgou novo Relatório Pré-Emissão com Alocação Indicativa de Recursos, antecipando, por categoria, a elegibilidade orçamentária a ser considerada na janela subsequente de emissões, prática que melhora a previsibilidade para formuladores de projetos em ministérios, estados e municípios[56] .

O canal institucional do Tesouro organiza, em página dedicada, todo o ciclo documental do programa soberano, incluindo o arcabouço, a opinião de segunda parte, as atas do Comitê de Finanças Sustentáveis Soberanas e as versões dos relatórios de alocação e impacto. O repositório deixa claro que “títulos sustentáveis são instrumentos de dívida pública lastreados em programações orçamentárias elegíveis”, o que obriga o emissor a demonstrar, com granularidade, a correspondência entre categorias elegíveis e as dotações do orçamento federal que comporão a alocação virtual. Essa governança e a prática de publicar atas do comitê elevam a credibilidade do programa e oferecem um roteiro para que estados adaptem processos de seleção, gestão e reporte[57] .

Do ponto de vista de mercado, o soberano tem usado as emissões sustentáveis como peça de gestão ativa da curva externa. Em 2025, o Brasil voltou a acessar os mercados internacionais em mais de uma ocasião, com emissões em dólares que ampliaram a liquidez de vértices de cinco, dez e trinta anos. O noticiário de junho reportou captação de 2,75 bilhões de dólares com forte demanda, enquanto a operação de setembro marcou o terceiro acesso externo do ano, algo inédito em mais de uma

[55] https://www.tesourotransparente.gov.br/publicacoes/arcabouco-brasileiro-para-titulos-soberanos-sustentaveis/2023/30

[56] Relatório de Alocação e Impacto, 2024, https://www.tesourotransparente.gov.br/publicacoes/relatorio-de-alocacao-e-impacto/2024/26

[57] Títulos Sustentáveis, Dívida Pública Federal, https://www.tesourotransparente.gov.br/temas/divida-publica-federal/titulos-sustentaveis

década[58] . Embora não sejam necessariamente rotuladas como sustentáveis todas as emissões externas, os comunicados da administração revelam que o programa de finanças sustentáveis está integrado à estratégia de *funding* do soberano, inclusive com diretrizes públicas que favorecem regularidade na emissão de ESG *bonds.* Esse pano de fundo de mercado reforça a utilidade do arcabouço soberano como guia para padronização subnacional.

Para estados, há três implicações centrais. A primeira implicação é metodológica: ao adotar, com as devidas adaptações, os elementos do arcabouço soberano — seleção de categorias elegíveis, critérios de contribuição substancial, salvaguardas mínimas, governança de comitê, relatórios de alocação e de impacto e verificação externa — um ente subnacional eleva a comparabilidade com o padrão federal e reduz o prêmio de risco associado a rotulagem. A segunda, é programática: categorias elegíveis do soberano sinalizam políticas prioritárias federais; quando programas estaduais dialogam com essas categorias, ampliam a probabilidade de cofinanciamento, de acesso a transferências vinculadas e de reconhecimento em relatórios federais de impacto. A terceira, é operacional: a prática de publicar relatórios pré-emissão e painéis para investidores facilita o sincronismo de cronogramas estaduais de captação e execução com janelas da União, inclusive quando o objetivo é alavancar linhas reembolsáveis federais com rotulagem estadual.

A seguir, um quadro de correspondência organiza categorias elegíveis típicas do arcabouço soberano e exemplos de programas estaduais compatíveis, com métricas sugeridas para relatórios de alocação e de impacto de um eventual título sustentável de Sergipe.

Tabela 4.2-A Correspondência entre categorias elegíveis do arcabouço soberano e programas estaduais possíveis

CATEGORIA ELEGÍVEL NO ARCABOUÇO SOBERANO	EXEMPLOS DE PROGRAMAS ESTADUAIS COMPATÍVEIS	INDICADORES E MÉTRICAS DE IMPACTO PARA RELATO	FONTES E REFERÊNCIAS
Mitigação climática em energia e cidades (eficiência, renováveis, mobilidade)	Reabilitação energética de prédios públicos; iluminação pública eficiente; geração distribuída para serviços essenciais; corredores de	Energia economizada por ano; MWh gerados por GD; redução de emissões por passageiro-km; redução de perdas	Arcabouço 2023; Relatório de Alocação e Impacto 2024; relatórios pré-emissão 2024 e 2025; página Títulos Sustentáveis.

[58]https://www.reuters.com/world/americas/brazil-sells-275-billion-second-dollar-bond-deal-2025-cds-hits-year-low-2025-06-04/

CATEGORIA ELEGÍVEL NO ARCABOUÇO SOBERANO	EXEMPLOS DE PROGRAMAS ESTADUAIS COMPATÍVEIS	INDICADORES E MÉTRICAS DE IMPACTO PARA RELATO	FONTES E REFERÊNCIAS
	transporte coletivo e eletrificação de frota		
Adaptação, recursos hídricos e soluções baseadas na natureza	Redução de perdas em água; segurança hídrica; drenagem sustentável e infraestrutura verde; restauração de matas ciliares com PSA	Índice de perdas na distribuição; horas de racionamento evitadas; área com infraestrutura verde implantada; hectares restaurados; turbidez na captação	Relatório de Alocação e Impacto; página Títulos Sustentáveis; documentos do comitê soberano.
Florestas nativas e uso do solo	Programas de regeneração assistida e restauração ativa; PSA por bacias; viveiros e cadeias de sementes nativas	Hectares sob manejo/restauração; sobrevivência de mudas; contratos PSA vigentes; tCO2e estimadas em estoque	Arcabouço 2023 e relatórios de elegibilidade; atas do comitê soberano.
Inclusão social e serviços públicos essenciais	Requalificação de escolas e hospitais; saneamento básico; qualidade do ar	Consumo específico por m²; leitos beneficiados; ligações de água/esgoto; conformidade com padrões de qualidade do ar	Relatório de Alocação e Impacto 2024; página Títulos Sustentáveis.

Fonte: Tesouro Nacional, BNDES, elaboração própria.

A adoção desses elementos por Sergipe exige um roteiro institucional. Em termos de governança, recomenda-se instituir um Comitê Estadual de Finanças Sustentáveis com competências espelhadas no Comitê de Finanças Sustentáveis Soberanas: definir categorias elegíveis estaduais alinhadas à Taxonomia Sustentável Brasileira; aprovar listas positivas de programas; supervisionar a preparação dos relatórios de alocação e de impactos; e validar a contratação de verificador externo.

Em termos de processo, é conveniente publicar, antes de cada emissão, um relatório pré-emissão estadual com alocação indicativa por categoria, metodologia de seleção, indicadores e fontes de dados. Em termos de dados, convém adotar um plano de monitoramento e verificação com trilhas reprodutíveis e, quando possível, “alocação virtual” que conecte a captação a dotações orçamentárias estaduais elegíveis, em analogia ao procedimento federal. O espelhamento dessas práticas facilita a leitura por investidores e por casas de opinião de segunda parte.

Do ponto de vista de mercado, a experiência federal recente sinaliza que previsibilidade e cadência são fatores críticos. A estratégia anunciada em 2024 privilegiou a regularidade do programa de ESG *bonds,* evitando multiplicação de rótulos e preferindo a consolidação de um arcabouço único com emissões anuais.

Estados que adotem calendário, governança e documentação compatíveis tendem a reduzir assimetria de informação e a depender menos de janelas táticas. Ao mesmo tempo, a coordenação com a União pode abrir espaço para operações combinadas: por exemplo, financiar, via título estadual rotulado, a contrapartida local de programas federais que já constam do Relatório de Alocação e Impacto soberano, aumentando a coerência entre camadas de governo e a atratividade para investidores com mandatos de impacto.

Para a formatação técnica do título estadual, três decisões devem ser explicitadas no documento de arcabouço de Sergipe. A primeira decisão é a taxonomia de elegibilidade, com categorias que reflitam as prioridades da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, do Plano de Recursos Hídricos e dos planos setoriais, sempre conectadas ao léxico federal e aos cadernos setoriais da Taxonomia Sustentável Brasileira. A segunda, é o regime de salvaguardas, incluindo padrões sociais e ambientais e critérios de transparência ativa com publicação de bases e metadados, em linha com a prática federal de anexar planilhas e relatórios de verificação. A terceira, é o desenho de indicadores de alocação e de impacto, com séries, metodologias e frequências compatíveis com o nível de escrutínio exigido por investidores institucionais, de modo a viabilizar auditoria independente anual. A consulta a materiais do Tesouro, como a apresentação para investidores e o painel de finanças sustentáveis, ajuda a calibrar expectativas de "*disclosure"* (divulgação e transparência)[59] .

Em síntese, os títulos soberanos sustentáveis brasileiros fornecem um manual de boas práticas para emissões estaduais: foco em categorias claras e mensuráveis, governança intersetorial com atas públicas, alocação virtual ancorada no orçamento, relatórios de alocação e de impacto com verificação externa e cadência comunicada ao mercado. Ao seguir esse padrão e ao articular suas categorias com as prioridades legais e setoriais já estabelecidas, Sergipe pode estruturar uma estratégia de *funding* rotulado que, além de reduzir custo de capital, reforça a integridade e a transparência da carteira climática estadual.

[59]Apresentação para Investidores, https://www.tesourotransparente.gov.br/publicacoes/apresentacao-para-investidores/2024/30

5.3. ECO INVEST BRASIL, PROTEÇÃO CAMBIAL, “BLENDED FINANCE” (FINANÇAS COMBINADAS) E CHAMADAS PARA RESTAURAÇÃO E AGROFLORESTAS

O Eco Invest Brasil, coordenado pelo Ministério da Fazenda em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, é hoje o principal arcabouço federal para mitigar risco cambial, alavancar capital privado e acelerar projetos da transição ecológica. O programa combina sublinhas de financiamento parcial com capital público catalítico, linha de liquidez para choques de câmbio, instrumentos de proteção cambial por derivativos e um eixo de estruturação de projetos, em estreita coordenação com o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e com o sistema nacional de fomento.

A institucionalização do programa começou em 2024 com a Resolução do Conselho Monetário Nacional sobre a Linha Eco Invest Brasil e foi aprimorada em 2025 com atualizações normativas que habilitaram aquisição de cotas de fundos de investimento, securitização e regras específicas para operações em participação societária, além de fixarem remunerações máximas para leilões voltados a “*equity*” (capital de participação) e prazos de comprovação de aporte. Essas deliberações do Conselho Monetário Nacional, divulgadas em abril e setembro de 2025, harmonizam a Linha Eco Invest Brasil com as disposições da Lei nº 14.995, de 10 de outubro de 2024, assegurando maior previsibilidade operacional e estabilidade regulatória aos leilões vinculados ao programa. [60] .

A estratégia de internacionalização do modelo brasileiro foi formalizada em julho de 2025 com o anúncio da plataforma FX EDGE, iniciativa do Banco Interamericano de Desenvolvimento com apoio do governo do Reino Unido, que incorpora a experiência doméstica para reduzir risco cambial de longo prazo em projetos sustentáveis na América Latina e no Caribe. A plataforma reúne um mecanismo de financiamento misto para escalar investimentos, um programa de preparação de projetos, uma linha de liquidez cambial para eventos de estresse e um programa de derivativos para canalizar hedge cambial de longo prazo via bancos centrais e instituições financeiras locais, com o Brasil atuando como coimplementador regional. O desenho confirma a centralidade do hedge de longo prazo como gargalo à mobilização de capital e reforça a utilidade do Eco Invest como referência técnica e institucional.

[60]https://www.gov.br/fazenda/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2024/abril/cmn-define-regras-para-impulsionar-investimentos-sustentaveis-no-ambito-do-eco-invest-brasil

No plano doméstico, as portarias do Ministério da Fazenda e da Secretaria do Tesouro Nacional estabeleceram as regras de competição entre agentes financeiros, critérios e condições específicas de seleção, elegibilidades setoriais e parâmetros de alavancagem mínima para a sublinha de financiamento parcial. A Portaria STN nº 1.135, de 11 de julho de 2024, tornou público o primeiro leilão do Eco Invest, definiu a lógica de priorização e explicitou o vínculo com a programação do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Essas normas se tornaram a referência para os leilões subsequentes e para a articulação entre "*blended finance*" (finanças combinadas) e operações reembolsáveis do fundo, permitindo ao proponente combinar instrumentos de forma consistente com a matriz federal[61] .

Do ponto de vista de engenharia financeira, a sublinha de financiamento parcial opera como capital catalítico que reduz o custo médio ponderado e melhora a razão risco retorno para investidores privados, seja em dívida, seja em participação societária. A sublinha de liquidez provê colchão em eventos de desvalorização forte do real que possam comprometer a liquidez dos projetos, preservando "*covenants*"(cláusulas restritivas contratuais) e continuidade operacional. A sublinha de proteção cambial, operacionalizada por derivativos ou outros ativos financeiros, viabiliza hedge de longo prazo, um dos principais entraves para investidores estrangeiros em infraestrutura verde. O eixo de estruturação de projetos financia estudos, modelagem e preparação para torná-los bancáveis. O Conselho Monetário Nacional registrou, em abril de 2025, a autorização para aquisição de cotas de fundos e inclusão de securitização, além de carência de até três anos em operações de crédito, ampliando canais de captação e diversificação de risco em operações com "*blended finance*" (finanças combinadas). Em setembro de 2025, a regulamentação específica de leilões para participação societária definiu remuneração máxima das instituições financeiras e da linha Eco Invest e prazos de comprovação de aportes, organizando a ponte entre recursos públicos e investidores de *private equity* e infraestrutura.

A articulação com restauração e agroflorestas avança por dois vetores. O primeiro vetor é a seleção de fundos e veículos temáticos por chamadas públicas do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, como a Chamada do Clima, lançada no âmbito do BNDES Florestas, com orçamento de até cinco bilhões de reais e previsão de um bilhão destinado a fundos voltados a reflorestamento, agroflorestas, manejo sustentável de nativas, silvicultura regenerativa e soluções baseadas na natureza. O segundo, é a expansão de programas não reembolsáveis e de pagamentos por

[61] https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/532031?

resultados em restauração, por meio de iniciativas como Floresta Viva e Arco da Restauração, com editais que mobilizam o Fundo Amazônia, o Fundo Socioambiental do BNDES e parcerias filantrópicas e privadas, com desembolsos escaláveis desde 2023 e 2024 e novos editais em 2025.

A página do BNDES Florestas e comunicações oficiais do governo federal documentam essa carteira, incluindo o saldo de investimentos não reembolsáveis que superou 650 milhões de reais em maio de 2025, além de editais temáticos como o Florestas Produtivas para assentamentos, de 150 milhões de reais, e novas rodadas do Floresta Viva. Esses instrumentos podem ser combinados a Eco Invest para reduzir risco de pipeline e permitir o encaixe de capital privado em veículos de investimento estruturados[62] .

Para orientar a preparação de dossiês de Sergipe, a Tabela 4.3-A resume a lógica de encaixe entre instrumentos do Eco Invest e projetos do eixo florestas, agroflorestas e soluções de natureza, com métricas sugeridas de resultado e trilhas de verificação compatíveis com auditorias.

Tabela 4.3-A Correspondência entre instrumentos do Eco Invest e projetos de restauração e agroflorestas

INSTRUMENTO ECO INVEST	FINALIDADE E QUANDO USAR	EXEMPLOS DE ESTRUTURAS APLICÁVEIS A SERGIPE	MÉTRICAS DE RESULTADO E FONTES DE VERIFICAÇÃO
Financiamento parcial com "*blended finance*" (finanças combinadas)	Reduzir custo e risco, atraindo investidores privados para veículos setoriais ou debêntures de projeto	Fundo de investimento em participações com tese de agroflorestas, PSA por bacias e restauração em caatinga, com parcela pública catalítica e metas de impacto	Hectares implantados e mantidos, sobrevivência de mudas, produção agroflorestal, tCO2e estimadas em estoque, verificação por parcelas e imagens; relatórios anuais auditáveis
Linha de liquidez cambial	Proteger operações com captação em moeda estrangeira de choques de desvalorização, preservando liquidez e *covenants*	Veículo de investimento com quotas em dólar captando junto a investidores internacionais para restauração e manejo de nativas, com passivos parcialmente protegidos	Índices de cobertura de serviço da dívida em cenários de estresse, manutenção de ratings internos de risco, conformidade com gatilhos contratuais
Proteção cambial por derivativos	Mitigar risco cambial de longo	Contratos de swap ou opções cambiais para	Custo efetivo do hedge, duration coberta,

[62] https://florestas.bndes.gov.br/iniciativas/chamada-do-clima/

INSTRUMENTO ECO INVEST	FINALIDADE E QUANDO USAR	EXEMPLOS DE ESTRUTURAS APLICÁVEIS A SERGIPE	MÉTRICAS DE RESULTADO E FONTES DE VERIFICAÇÃO
	prazo de investidores estrangeiros e de passivos em moeda forte	debêntures verdes de projeto de reflorestamento e sistemas agroflorestais com receitas indexadas em reais	*backtesting* de eficácia do hedge, aderência a políticas de risco
Estruturação de projetos	Financiar estudos e preparação de pipeline para torná-los bancáveis e aptos a fundos ou crédito	Planos de restauração por bacias, cadastros de beneficiários, modelagem de PSA, engenharia de viveiros e logística de sementes	Dossiês prontos, cadastros validados, contratos modelo de PSA, especificações técnicas e cronogramas físico financeiros

Fonte: elaboração própria

No encadeamento com o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, os recursos Eco Invest funcionam como camada adicional que melhora a atratividade de operações reembolsáveis, em especial quando a receita do projeto é em reais e parte do capital é captado em moeda estrangeira. A governança federal já indica essa complementaridade ao vincular a Linha Eco Invest à política do fundo e ao sistema de leilões que seleciona instituições financeiras e fundos, impondo contraprestações, alavancagem mínima e métricas verificáveis de impacto ambiental e social. A documentação de leilões e portarias evidencia critérios de elegibilidade setorial, prioridades e requisitos de prestação de contas, que devem ser replicados em dossiês estaduais para reduzir o tempo de análise e aumentar a previsibilidade de aprovação[63] .

Para a caatinga e zonas costeiras sergipanas, recomenda-se um pipeline em três camadas. A primeira, de preparação, usa a sublinha de estruturação para consolidar mapas de prioridade, contratos de pagamento por serviços ambientais, arranjos de assistência técnica e cadeia de sementes e mudas nativas, sincronizada com as chamadas do BNDES Florestas e do Fundo Amazônia para projetos não reembolsáveis de demonstração e base de monitoramento. A segunda, de capitalização, aciona a sublinha de financiamento parcial para ancorar fundos temáticos regionais de restauração e agroflorestas, com contrapartida privada e metas de impacto alinhadas a indicadores nacionais, e, quando couber, combina com operações reembolsáveis do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima para infraestrutura complementar como viveiros, centros de beneficiamento e logística. A terceira, de proteção de riscos, contrata proteção cambial para parcelas do passivo em moeda estrangeira e, quando aplicável, reserva a linha de

[63] https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/532031

liquidez para cenários de estresse, mantendo "*covenants*" (cláusulas contratuais de desempenho financeiro) e continuidade operacional. Esse desenho permite que a carteira estadual aproveite o momento regulatório, os prazos de leilões e as janelas de captação.

O uso de métricas e verificações consistentes com padrões nacionais é essencial. Em restauração e agroflorestas, os editais e páginas do BNDES Florestas definem resultados elegíveis por hectares implantados, sobrevivência, conectividade e indicadores produtivos e de serviços ecossistêmicos. O acompanhamento público de investimentos e chamadas pelo governo federal em 2025 demonstra que a governança de resultados vem sendo consolidada em relatórios e portais, o que facilita auditorias independentes e relatórios de impacto a investidores. Em paralelo, a internacionalização pela plataforma FX EDGE reforça a credibilidade do modelo e pode reduzir prêmios de risco percebidos por investidores internacionais ao sinalizar disponibilidade de hedge de longo prazo e de liquidez em eventos extremos[64] .

Finalmente, a coordenação operacional com o Estado de Sergipe deve observar calendário e condições dos leilões Eco Invest e das chamadas do BNDES Florestas, priorizando propostas com forte adicionalidade, verificação independente e salvaguardas sociais e ambientais robustas. Para viabilizar a execução no território, convém pactuar, na governança estadual, um comitê técnico de projetos naturais e bioeconomia que centralize a preparação de dossiês, padronize indicadores e reporte resultados em portal de dados abertos. Esse arranjo diminui custos de diligência, cria escala para leilões e amplia a probabilidade de mobilização de capital estrangeiro protegido, sobretudo em estruturas que combinem fundos de investimento, pagamentos por resultados e crédito de longo prazo.

5.4. BANCOS MULTILATERAIS E BILATERAIS: INSTRUMENTOS E OPORTUNIDADES DE COFINANCIAMENTO

Os bancos multilaterais de desenvolvimento e as agências bilaterais de crédito ao desenvolvimento são fontes críticas para estruturar carteiras climáticas estaduais com prazos longos, custos previsíveis e salvaguardas consolidadas. No Brasil, o Banco Mundial, o Banco Interamericano de Desenvolvimento, o Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe, o Banco Europeu de Investimento, o Banco Japonês para Cooperação Internacional e a Agência de Cooperação Internacional do Japão, entre

[64] https://florestas.bndes.gov.br/

outros, operam com uma combinação de empréstimos voltados a investimento, apoio baseado em políticas públicas e linhas intermediadas por bancos de fomento. A escolha do instrumento deve refletir a natureza do problema a financiar, a maturidade institucional do proponente e a lógica de resultados a serem auditados.

No Banco Mundial, três instrumentos estruturam a atuação soberana e subnacional: o financiamento de projetos de investimento; o apoio por resultados; e o financiamento de políticas de desenvolvimento. O financiamento de projetos de investimento apoia intervenções típicas de cinco a dez anos, com obras, bens, serviços e fortalecimento institucional, usualmente acompanhado de assistência técnica e padrões fiduciários e socioambientais do banco. O apoio por resultados vincula desembolsos ao cumprimento verificado de marcos e indicadores de um programa governamental, e tem sido utilizado para acelerar reformas sistêmicas e melhorar sistemas de execução.

O financiamento de políticas é um apoio orçamentário desembolsado contra um pacote de ações e reformas, com verificação de manutenção de arcabouço macroeconômico adequado e alinhamento ao Acordo de Paris. Essas definições constam nas páginas institucionais do banco e em documentos de método de alinhamento ao mencionado Acordo, que padronizam critérios para mitigação e adaptação e oferecem previsibilidade para estruturadores estaduais[65] .

A evidência recente no Brasil ilustra a aplicabilidade estadual desses instrumentos. Em março e abril de 2025, o Banco Mundial aprovou operações de apoio a políticas para o Governo Federal e para os estados de Alagoas e do Rio Grande do Sul, focadas em estabilidade fiscal, finanças sustentáveis e resiliência a eventos extremos, inclusive com componentes de recuperação de desastres e eficiência do gasto público. Em abril de 2025, aprovou ainda uma operação para estradas seguras e resilientes em Mato Grosso do Sul no âmbito de uma abordagem programática multiestágio para gestão de ativos rodoviários, combinando contratos de desempenho, adaptação climática e mobilização privada. Esses casos sinalizam que estados com programas setoriais claros e capacidades de execução podem acessar instrumentos de política e investimento com métricas climáticas explícitas.

No Banco Interamericano de Desenvolvimento, destacam-se os empréstimos baseados em políticas, os empréstimos por resultados e os empréstimos específicos de investimento, com opções de modalidade multitranches, programática e com opção de

[65]https://www.worldbank.org/en/what-we-do/products-and-services/financing-instruments/investment-project-financing

saque diferido. Os empréstimos baseados em políticas fornecem recursos fungíveis vinculados à adoção e verificação de reformas, com maturidades de até vinte anos e práticas de taxa referenciadas à taxa de financiamento overnight de referência, spreads e comissões padronizados. As fichas institucionais do banco detalham modalidades e condições, inclusive a possibilidade de híbridos que combinam componente de política com investimento. A produção recente também documenta a aprovação de empréstimos baseados em políticas para melhorar o ambiente de investimentos no Brasil e operações não soberanas voltadas a crédito verde em áreas rurais, demonstrando diversidade de canais e a utilidade de linhas programáticas para agendas climáticas e de competitividade[66] .

O Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe tem ampliado operações verdes no Brasil por meio de empréstimos diretos a estados e municípios, linhas com bancos de fomento e arranjos com mobilização privada.

Em dezembro de 2024, aprovou operação classificada integralmente como verde para resiliência climática em Porto Alegre, voltada a inundações e urbanismo sustentável após eventos extremos, e, em 2023, aprovou operações no país totalizando 650 milhões de dólares, incluindo linha de até 500 milhões de dólares para o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social focalizada em transição energética, desenvolvimento verde e integração produtiva. Em 2024, estruturou a primeira operação em modalidade A/B para um banco de desenvolvimento estadual brasileiro, no caso o BDMG, mobilizando bancos comerciais e fundos de impacto para eficiência energética e crescimento verde. Em maio de 2025, abriu escritório do setor privado em São Paulo para aprofundar parcerias e mobilização de capital. Essas peças demonstram a capacidade de combinar crédito soberano, intermediação com bancos de fomento e mobilização privada em carteiras climáticas subnacionais[67] .

O Banco Europeu de Investimento opera no Brasil com linhas intermediadas e operações corporativas e setoriais, com ênfase em clima, água e energia. Em julho de 2025, aprovou linha de 300 milhões de euros via banco de desenvolvimento brasileiro para projetos de água e esgoto, alinhada ao Plano Nacional de Saneamento Básico e ao novo marco legal do setor. Em 2025, aprovou ainda operação de 350 milhões de euros

[66] Policy Based Loans, https://www.iadb.org/en/how-we-can-work-together/public-sector/policy-based-loan

[67]https://www.caf.com/traducciones/traducciones_en/caf-approves-usd-80-million-to-improve-climate-resilience-in-porto-alegre/

com banco múltiplo brasileiro para portfólio de energia renovável, eficiência energética e apoio a pequenas e médias empresas, no contexto da estratégia Global Gateway.

O banco mantém página de país que destaca que o Brasil é o maior receptor de seu financiamento na região, com foco em mitigação, infraestrutura e setor privado local, e divulga exemplos anteriores em renováveis e investimentos em fundos temáticos climáticos no país. Esses elementos indicam janelas de cofinanciamento com linhas nacionais para saneamento, energia distribuída e eficiência[68] .

As instituições japonesas têm presença relevante. O Banco Japonês para Cooperação Internacional assinou, em março de 2025, a sexta linha de crédito com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social para transmissão de energia e biocombustíveis, totalizando até 190 milhões de dólares, com cofinanciamento e garantia parcial para as parcelas comerciais, e reforçando o histórico de cooperação de mais de sessenta anos com o banco de desenvolvimento brasileiro. A Agência de Cooperação Internacional do Japão, por sua vez, financiou sistemas de esgotamento sanitário em Santa Catarina, com inauguração de estação de tratamento em março de 2025 e expectativa de salto na cobertura de 7 para 64 por cento nas áreas atendidas, conforme comunicado oficial. Esses casos são úteis para estruturar propostas estaduais em saneamento e energia com tecnologia e prazos amplos[69] .

O ecossistema se complementa com cooperações de bancos de desenvolvimento asiáticos e europeus. Em junho de 2024, o governo federal divulgou acordos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social com bancos asiáticos que somam cerca de 9,1 bilhões de reais em linhas e intenções para renováveis, mobilidade, logística e clima, incluindo empréstimo de até 800 milhões de dólares do Banco de Desenvolvimento da China e carta de intenção com o Banco Asiático de Investimento em Infraestrutura. Esse pano de fundo amplia o leque de cofinanciadores potenciais para carteiras estaduais e facilita estruturas sindicais com prazos longos[70].

Para organizar escolhas de instrumento e desenho de cofinanciamento, a tabela a seguir sintetiza características, quando utilizar e possibilidades de encaixe com prioridades estaduais.

[68] https://www.eib.org/en/projects/all/20240104
[69] https://www.jbic.go.jp/en/information/press/press-2024/press_00173.html
[70] https://www.jbic.go.jp/en/information/press/press-2024/press_00173.html

Tabela 4.4-A Instrumentos multilaterais e bilaterais, usos típicos e encaixes para Sergipe

INSTITUIÇÃO E INSTRUMENTO	O QUE FINANCIA E COMO MEDE RESULTADOS	QUANDO USAR EM SERGIPE	EVIDÊNCIAS E REFERÊNCIAS
Banco Mundial – financiamento de projetos de investimento	Obras, bens, serviços e fortalecimento institucional, com salvaguardas e assistência técnica; horizonte de 5 a 10 anos; verificação por marcos físicos e indicadores setoriais	Projetos de água rural, drenagem urbana com soluções baseadas na natureza, eficiência energética em prédios públicos, logística e mobilidade resiliente	Páginas de instrumento e casos no Brasil em 2024–2025 em água, estradas, resiliência e apoio a estados[71].
Banco Mundial – apoio por resultados	Desembolsos atrelados a metas verificadas de programas governamentais, com fortalecimento de sistemas	Programas de perdas de água, manutenção viária por desempenho, gestão de resíduos com metas operacionais e climáticas	Descrição institucional e estatísticas de operações ativas[72].
Banco Mundial – apoio a políticas	Aporte orçamentário contra pacote de reformas; elegível a cláusulas de prontidão a catástrofes; alinhado ao Acordo de Paris	Reformas fiscais e climáticas, planos estaduais de adaptação e mitigação, qualidade do gasto, instrumentos de resposta a desastres	Descrição institucional e aprovações em 2025 para Brasil, Alagoas e Rio Grande do Sul[73].
Banco Interamericano de Desenvolvimento – empréstimos baseados em políticas	Recursos fungíveis vinculados a reformas; modalidades programática e multitranches; opção de saque diferido	Agenda regulatória de clima, ambiente de negócios verde, digitalização e eficiência do gasto; pode combinar com componente de investimento	Páginas institucionais de PBL, condições financeiras e casos recentes no Brasil[74].
Banco Interamericano de Desenvolvimento – empréstimos por resultados e específicos	Pagam contra metas auditadas ou financiam escopos definidos; podem ser não soberanos para crédito verde	Programas de crédito via agentes locais, energia distribuída, eficiência em MPEs, inclusão produtiva	Projeto não soberano para crédito limpo rural e TC para fortalecer bancos de fomento[75].

[71]https://www.worldbank.org/en/what-we-do/products-and-services/financing-instruments/investment-project-financing
[72] https://www.worldbank.org/en/programs/program-for-results-financing
[73]https://www.worldbank.org/en/what-we-do/products-and-services/financing-instruments/development-policy-financing
[74] https://www.iadb.org/en/how-we-can-work-together/public-sector/policy-based-loan
[75] https://www.iadb.org/en/project/BR-G1026

INSTITUIÇÃO E INSTRUMENTO	O QUE FINANCIA E COMO MEDE RESULTADOS	QUANDO USAR EM SERGIPE	EVIDÊNCIAS E REFERÊNCIAS
		verde	
Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe – empréstimos diretos e linhas com bancos de fomento	Operações verdes para resiliência urbana, infraestrutura e crédito setorial; mobilização privada via A/B loans	Resiliência costeira e urbana, linhas com bancos regionais, fundos temáticos de restauração e eficiência	Operações em Porto Alegre; linha para banco federal e A/B com banco estadual; escritório do setor privado em 2025[76].
Banco Europeu de Investimento – linhas intermediadas e corporate	Água e saneamento, renováveis e eficiência; Global Gateway; investimentos em fundos e MBIL	Programas de saneamento via intermediários, energia distribuída e eficiência em carteiras bancárias estaduais	Linha de 300 milhões de euros para água via banco de desenvolvimento; operações com banco múltiplo e casos em renováveis e fundos[77].
Banco Japonês para Cooperação Internacional – linhas GREEN e cofinanciamento	Linhas para transmissão e biocombustíveis, com garantia e cofinanciamento; cooperação com banco federal	Projetos de energia e logística elétrica com fornecedores e tecnologia japoneses; potencial de manufatura verde	Linha GREEN de 2025 com banco federal e histórico de cooperação setorial[78].
Agência de Cooperação Internacional do Japão – empréstimos ODA e projetos	Água e esgoto, risco de desastres, mobilidade; prazos longos e custos competitivos; transferência tecnológica	Saneamento integrado em regiões metropolitanas e cidades médias; adaptação costeira	Inauguração de ETE em 2025 em Santa Catarina com salto de cobertura[79].
Agência Francesa de Desenvolvimento – cofinanciamento e crédito programático	Linhas não soberanas e *grants* atrelados a agendas climáticas; cooperação com banco federal	Carteiras no Nordeste para transição energética, saneamento e mobilidade; possibilidade de blends com União Europeia	Operação de 2025 para Amazônia Legal e Nordeste com banco federal; histórico com banco estadual[80].

Além dos instrumentos bilaterais europeus e asiáticos, vale acompanhar iniciativas de mobilização de capital privado associadas à estratégia federal de finanças sustentáveis. Em 2024, o governo anunciou parceria com a Glasgow Financial Alliance

[76] https://www.caf.com/traducciones/traducciones_en/caf-approves-usd-80-million-to-improve-climate-resilience-in-porto-alegre
[77] https://www.eib.org/en/projects/all/20240104
[78] https://www.jbic.go.jp/en/information/press/press-2024/press_00173.html
[79] https://www.jica.go.jp/english/information/press/2025/20250403_11.html
[80] https://www.afd.fr/en/projects/financing-transition-low-carbon-economy-and-sustainable-investments-legal-amazon

for Net Zero para ampliar *funding* de energia limpa e restauração, e em 2025 avançou no desenho de plataformas para atrair investidores como TPG e Brookfield a veículos climáticos, com metas de alcançar múltiplos de capital privado sobre aportes âncora públicos. Essas direções estratégicas influenciam o apetite de cofinanciadores multilaterais por operações combinadas com bancos de fomento e fundos temáticos.

Para Sergipe, as rotas de cofinanciamento mais promissoras combinam instrumentos por objetivo. Em água e saneamento, uma operação de investimento do Banco Mundial ou do Banco Europeu de Investimento via intermediário pode ser combinada a linhas nacionais e a apoio por resultados focado em perdas e eficiência energética, com marcos verificáveis extraídos das bases nacionais de saneamento. Em adaptação costeira e drenagem, há janela para operações verdes com o Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe, articuladas a componentes de natureza e infraestrutura verde e a linhas de crédito intermediadas para municípios. Em transição energética distribuída e eficiência em edifícios públicos, o Banco Interamericano de Desenvolvimento e o Banco Europeu de Investimento operam com linhas intermediadas e resultados, podendo acoplar garantias e instrumentos de gestão de risco de taxa e de câmbio quando houver captação externa. Em bioeconomia e restauração, a presença de programas de mobilização privada e de fundos setoriais viabiliza operações não soberanas e híbridas, com capital catalítico e métricas de impacto ambiental e social alinhadas a padrões nacionais.

A preparação de um pipeline estadual deve considerar, por projeto, a combinação de: instrumento nuclear (investimento, resultados ou política), complementaridades com linhas nacionais e bilaterais, plano de monitoramento e verificação com indicadores auditáveis e arranjo de governança que antecipe diligências fiduciárias e ambientais. A experiência recente indica que a cadência de aprovações aumenta quando o proponente apresenta dossiês com métricas de mitigação e adaptação comparáveis às adotadas pelos emissores soberanos e quando estrutura desembolsos por marcos que dialogam com sistemas de informação oficiais.

5.5. FUNDOS CLIMÁTICOS INTERNACIONAIS E COOPERAÇÃO: PAPÉIS DE ENTIDADES ACREDITADAS

O acesso sistemático a fundos climáticos multilaterais e a iniciativas de cooperação exige compreender três camadas operacionais: as janelas e instrumentos de cada fundo; a governança de acesso no Brasil; e os arranjos de execução por meio de entidades acreditadas.

No caso brasileiro, destacam-se o Fundo Verde para o Clima, o Fundo Global para o Meio Ambiente e os Fundos de Investimento Climático, ao lado de mecanismos de compra de créditos jurisdicionais como a coalizão internacional para acelerar o financiamento florestal, articulada por entidade sem fins lucrativos que opera acordos de compra com governos. Cada uma dessas rotas impõe pré-condições de elegibilidade, padrões socioambientais e modelos de comprovação de resultados que precisam dialogar com a capacidade executiva estadual e com o sistema de monitoramento e verificação.

No Fundo Verde para o Clima, o ponto de acesso formal é a Autoridade Nacional Designada, sediada na Secretaria de Assuntos Internacionais do Ministério da Fazenda, responsável pelo procedimento de não objeção, alinhamento ao Programa País e articulação com entidades acreditadas.

O Brasil conta com três entidades de acesso direto acreditadas: o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, a Caixa Econômica Federal e o Fundo Brasileiro para a Biodiversidade, além de um conjunto amplo de agências internacionais elegíveis. Essa arquitetura permite combinar propostas submetidas por entidades nacionais com propostas de organismos internacionais, desde que respaldadas pela carta de não objeção da autoridade nacional. As páginas institucionais do Fundo Verde para o Clima confirmam a autoridade nacional e listam as entidades brasileiras de acesso direto, enquanto o próprio Ministério da Fazenda consolida o escopo fiduciário e de risco dessas entidades para orientar a seleção conforme porte, instrumento financeiro e categoria de risco.

A trajetória brasileira no Fundo Verde para o Clima oferece referência concreta de pagamento por resultados florestais e de desenho de benefício socioambiental. Em 2019, foi aprovado o projeto de pagamentos por resultados de redução de emissões do desmatamento na Amazônia relativos a 2014 e 2015, com valor total de 96,45 milhões de dólares, executado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

O desenho direcionou mais de oitenta por cento dos recursos a pagamentos por serviços ambientais sob o programa nacional, com saldo para fortalecimento da estratégia nacional de redução de emissões por desmatamento e gestão. As notas oficiais do Fundo e do Governo Federal detalham os componentes e a destinação, e a documentação do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento descreve o público-alvo, as modalidades e a integração com políticas de comando e controle. Esse

precedente demonstra marcos de comprovação, canais de pagamento e salvaguardas replicáveis para arranjos estaduais.

Além das propostas regulares, o Fundo Verde para o Clima dispõe de instrumentos de preparação e aceleração que são particularmente úteis a governos subnacionais. O Programa de Preparação e o mecanismo de preparação de projetos viabilizam notas-conceito, estudos de pré-viabilidade, planos de salvaguardas e arranjos de monitoramento, com tetos anuais por país e possibilidade de propostas plurianuais, e a modalidade de aprovação simplificada admite projetos de até vinte e cinco milhões de dólares com risco socioambiental mínimo, buscando encurtar prazos e documentação. Guias institucionais públicos explicam limites de financiamento de preparação, a lógica da preparação de projetos e a tramitação do procedimento de não objeção, pontos relevantes para organizar cronogramas e responsabilidades[81] .

O Fundo Global para o Meio Ambiente combina alocação nacional transparente com janelas competitivas regionais e globais, sob múltiplas áreas focais e operações por agências implementadoras. No Brasil, o ponto focal operacional também se encontra na Secretaria de Assuntos Internacionais do Ministério da Fazenda, responsável pelo endosso e alinhamento com prioridades nacionais. Na oitava reposição, o país registra portfólio em execução que abrange biodiversidade, paisagens sustentáveis e iniciativas setoriais, com financiamento aprovado próximo a oitocentos milhões de dólares distribuídos em mais de duas dezenas de projetos, inclusive com execução pelo Fundo Brasileiro para a Biodiversidade e pelo Banco Mundial. A documentação do governo federal e do Banco Mundial sobre o programa regional de paisagens sustentáveis da Amazônia fornece exemplos de coordenação entre projetos nacionais e assistência técnica regional, e permite derivar lições de desenho de indicadores, cofinanciamento e coordenação interinstitucional[82] .

Os Fundos de Investimento Climático constituem plataforma complementar voltada a transições setoriais em energia e natureza, com governança multilateral e janelas programáticas para países e para operações regionais. Em 2025, o Brasil teve aprovações relevantes no âmbito do Fundo de Tecnologia Limpa e do programa Natureza, Povos e Clima, incluindo cooperação com o Banco Interamericano de Desenvolvimento e o Banco Mundial, com intermediação por bancos de fomento

---

[81] https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/accessing-implementing-gcf-readiness-funds

[82] https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/fundos-internacionais-de-desenvolvimento/fundo-global-para-o-meio-ambiente-gef/projetos-e-programas

nacionais para escalonar investimentos em cadeias de energia e em descarbonização industrial.

As notas do Ministério da Fazenda detalham volumes aprovados, programas e parceiros executores, enquanto a página institucional elenca os programas ativos no país, como o Programa de Integração de Energia Renovável e o histórico em paisagens florestais. Esse conjunto amplia as possibilidades de desenho combinado com bancos multilaterais, sobretudo quando a carteira estadual alinha inovação tecnológica e mobilização privada.

A rota jurisdicional de créditos florestais de alta integridade consolidou-se nos últimos anos com a padronização do padrão de excelência para redução de emissões do desmatamento e degradação em escala jurisdicional, administrado por organização independente, e com a criação de uma coalizão de compradores que opera acordos de compra de reduções de emissões com governos. O padrão jurisdicional quantifica emissões reduzidas e remoções com linhas de crédito e salvaguardas alinhadas às decisões do regime climático multilateral, exige validação e verificação por terceira parte e serializa créditos em registro público.

Em 2024, o padrão recebeu aprovação do rótulo de princípios centrais de integridade para metodologias de redução de emissões em florestas em recorte específico, e em 2025 abriu consulta pública para certificação de benefícios além de carbono. Esse arcabouço responde a críticas de integridade e cria um caminho claro para que estados qualifiquem programas e ordenem direitos, salvaguardas e repartição de benefícios[83] .

No mecanismo de compra, a entidade coordenadora sem fins lucrativos firma acordos de compra de reduções de emissões com governos, condicionados à emissão de créditos pelo padrão jurisdicional e ao cumprimento de salvaguardas, inclusive consulta e repartição de benefícios com povos indígenas e comunidades locais. O processo inicia com manifestação de interesse, segue com avaliação técnica independente do potencial de atendimento aos requisitos do padrão e avança para a negociação do acordo de compra. Há possibilidade de adiantamentos, e a liquidação depende da emissão e transferência dos créditos jurisdicionais. A documentação pública explicita a separação institucional entre o padrão e a coalizão de compradores, os critérios de compradores privados e a necessidade de auditoria independente de reivindicações corporativas.

[83] https://www.art-redd.org/trees/?utm

Casos recentes no Brasil ilustram tanto o potencial de captação quanto a centralidade de consultas e mecanismos de repartição de benefícios[84] .

A cooperação bilateral para resultados florestais, notadamente por meio da iniciativa de pagadores precoces de reduções do desmatamento, oferece outra via para programas estaduais e federais. A parceria entre ministérios de cooperação de países doadores canalizou, desde 2012, centenas de milhões de euros a programas em jurisdições amazônicas brasileiras e em países andinos, com ampliação temática recente para cadeias agropecuárias, mercados de carbono e direitos de povos indígenas e comunidades locais.

Relatórios públicos da instituição financeira de desenvolvimento detalham a evolução da parceria, o enfoque em financiamento por resultados e a expansão temática; o histórico brasileiro inclui programas nos estados do Acre e de Mato Grosso, que podem orientar futuros contratos de resultado em estados nordestinos para biomas secos, com adaptações metodológicas[85].

Novas iniciativas multilaterais para florestas tropicais ampliam o cardápio de cooperação e cofinanciamento com governos e filantropias. Em 2024 e 2025 o governo brasileiro articulou plataformas para atrair gestores globais e compromissos soberanos para fundos florestais do tipo *endowment*, com metas de capitalização que procuram ancorar pagamentos recorrentes por conservação, e reportagens internacionais registram anúncios e negociações com investidores âncora. O acompanhamento dessas janelas é relevante para sincronizar propostas estaduais com calendários de captação e com critérios de adicionalidade e integridade exigidos por investidores institucionais[86].

A organização prática desse ecossistema, para fins de um pipeline estadual, recomenda um mapa de *gateways* que integre o papel federal, as entidades acreditadas e os instrumentos disponíveis. A síntese a seguir é útil para seleção rápida.

Tabela 4.5-A Fontes multilaterais e mecanismos de cooperação: gateway, instrumento e exemplo aplicável

FONTE OU MECANISMO	GATEWAY NO BRASIL	PRINCIPAIS INSTRUMENTOS	EXEMPLO E REFERÊNCIA DE OPERAÇÃO	NOTAS PARA DESENHO EM SERGIPE
Fundo Verde para o Clima	Autoridade Nacional	Projetos e programas	Projeto de pagamentos por	Priorizar notas-conceito

[84] https://www.leafcoalition.org/home
[85] https://www.kfw-entwicklungsbank.de/SDG-portal/SDG-15/REDD-REM/
[86] https://www.reuters.com/world/americas/brazil-seeks-support-tropical-forest-preservation-fund-2024-07-26/

FONTE OU MECANISMO	GATEWAY NO BRASIL	PRINCIPAIS INSTRUMENTOS	EXEMPLO E REFERÊNCIA DE OPERAÇÃO	NOTAS PARA DESENHO EM SERGIPE
	Designada no Ministério da Fazenda; entidades acreditadas nacionais e internacionais	regulares; aprovação simplificada até 25 milhões de dólares; preparação de projetos; preparação institucional; pagamentos por resultados	resultados Floresta+ Amazônia, 96 milhões de dólares, executado com Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento; elegibilidade de Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Caixa Econômica Federal e Fundo Brasileiro para a Biodiversidade como entidades de acesso direto	alinhadas ao Programa País, combinar preparação de projetos para saneamento resiliente, restauração na caatinga e eficiência em edificações públicas, e, quando aplicável, estruturar componente de pagamento por resultados com indicadores auditáveis.
Fundo Global para o Meio Ambiente	Ponto Focal Operacional no Ministério da Fazenda; submissão via agências implementadoras	Projetos por áreas focais; alocação nacional transparente e janelas competitivas; assistência técnica regional	Programa de Paisagens Sustentáveis da Amazônia com Banco Mundial e Fundo Brasileiro para a Biodiversidade, coordenação regional e nacional; portfólio GEF-8 no Brasil com dezenas de projetos e quase oitocentos milhões de dólares aprovados	Utilizar janela de cidades sustentáveis e biodiversidade para restauração urbana, corredores ecológicos e integração com planos de recursos hídricos; articular com assistência técnica regional para padronização de monitoramento.
Fundos de Investimento Climático	Ponto focal no Ministério da Fazenda; execução por Banco Interamericano de Desenvolvimento e Banco	Programas setoriais em energia e natureza; janelas para integração de renováveis e descarbonização industrial; “blended finance”	Aprovados em 2025 mais de 160 milhões de dólares em projetos adicionais, incluindo linha com Banco Nacional de	Combinar com reformas setoriais e instrumentos de gestão de risco para captação externa; alinhar indicadores a métricas

FONTE OU MECANISMO	GATEWAY NO BRASIL	PRINCIPAIS INSTRUMENTOS	EXEMPLO E REFERÊNCIA DE OPERAÇÃO	NOTAS PARA DESENHO EM SERGIPE
	Mundial, em parceria com bancos nacionais	(finanças combinadas)	Desenvolvimento Econômico e Social e Banco do Nordeste do Brasil, e programa regional de energia limpa	setoriais federais.
Padrão jurisdicional de créditos florestais e coalizão de compradores	Registro e verificação sob o padrão; negociação de acordos de compra com entidade coordenadora	Registro jurisdicional, validação e verificação independentes, emissão de créditos; acordos de compra com pagamentos por resultados	Aprovação de metodologias pelo conselho de integridade de mercado voluntário; consulta pública para certificação de benefícios não-carbono; acordos de compra com estados amazônicos e consultas ampliadas em 2024–2025	Para biomas secos, estruturar programas de restauração e controle de fogo com salvaguardas, direitos e repartição de benefícios; antecipar mapeamento de titularidade e cadastros para elegibilidade[87].
Cooperação bilateral por resultados florestais	Ministérios de cooperação de países doadores; bancos de desenvolvimento como agentes financeiros	Contratos de pagamento por resultados, assistência técnica e fortalecimento institucional	Programas no Acre e em Mato Grosso, com desembolsos superiores a duzentos e sessenta milhões de euros em países participantes e expansão temática recente	Adequar métricas a realidades de caatinga e semiaridez; enfatizar governança fundiária, manejo adaptativo e inclusão produtiva.

Fonte: elaboração própria

A partir desses *gateways*, a recomendação operacional é desenhar uma sequência de preparação e captação ancorada em três movimentos. O primeiro movimento consiste em estruturar, em doze meses, um pacote de preparação junto ao Fundo Verde para o Clima que financie notas-conceito em saneamento resiliente, restauração e prevenção de incêndios na caatinga, eficiência energética em edificações públicas e adaptação costeira, articuladas a um plano estadual de medição e verificação. O segundo, é alinhar propostas ao ciclo do Fundo Global para o Meio Ambiente com

[87] https://reddplusbusiness.com/en/icvcm-approves-three-redd-methodologies

foco em biodiversidade e cidades sustentáveis, explorando sinergias com assistência técnica regional de paisagens sustentáveis para consolidar indicadores e governança interinstitucional. O terceiro, é coordenar com o ponto focal dos Fundos de Investimento Climático a inserção em janelas ativas de energia e natureza, com papel de bancos de fomento como intermediários e mobilização de capital privado.

No eixo florestal, quando houver interesse estadual em acessar mercados jurisdicionais, a lição mais importante é ordenar, desde o diagnóstico, direitos de carbono, repartição de benefícios e salvaguardas, pois créditos sob o padrão jurisdicional exigem demonstração de titularidade das reduções ou do direito ao recebimento, validação e verificação por terceira parte, e proibição de conversão de ecossistemas naturais, além de transparência em emissões, remoções e mecanismos de prevenção a vazamentos e reversões. A governança de compra por meio da coalizão de compradores detalha etapas, critérios e a separação institucional entre o padrão de certificação e os acordos de compra, e a experiência recente de estados brasileiros explicita a centralidade de consultas e de acordos claros de repartição de benefícios para viabilizar a liquidação de operações[88] .

Por fim, convém registrar que a estratégia federal de transformação ecológica vem combinando instrumentos soberanos de dívida sustentável, plataformas de investimentos e articulações com fundos florestais globais. Notícias e comunicados oficiais indicam incremento de aprovações e negociações com investidores internacionais e bancos multilaterais que criam janela favorável à composição de carteiras estaduais ancoradas em métricas comparáveis, com possibilidade de efeitos multiplicadores quando há capital semente público e estruturas de garantias. Essa sincronização federativa ajuda a reduzir risco de preparo duplicado, facilita a obtenção do procedimento de não objeção e pode acelerar aprovações junto a conselhos e comitês dos fundos multilaterais.

6. MAPA ESTRATÉGICO DE FINANCIAMENTO POR PRIORIDADE SETORIAL

A consolidação das prioridades da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, em uma carteira financiável requer alinhar, para cada eixo setorial, fontes, instrumentos e condicionantes de elegibilidade, medição e governança. O objetivo deste Capítulo é oferecer um roteiro operativo que traduza a política em

[88] https://www.artredd.org/faqs/

projetos bancáveis, com papéis claros para o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima operado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, plataformas federais de proteção cambial e "*blended finance*" (finanças combinadas), fundos multilaterais e bilaterais e o arcabouço soberano de títulos sustentáveis.

A matriz apresentada a seguir usa o léxico regulatório e financeiro já documentado: eixos e parâmetros do Fundo Clima com prazos e custos de referência, inclusive a regra temporária de teto ampliado para Norte e Nordeste; governança e relatórios do programa soberano de títulos sustentáveis; desenho do Eco Invest Brasil e sua integração com derivativos e liquidez; e gateways multilaterais como Fundo Verde para o Clima, Fundo Global para o Meio Ambiente, Fundos de Investimento Climático, Banco Mundial, Banco Interamericano de Desenvolvimento, Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe e Banco Europeu de Investimento.

6.1. MATRIZ FONTE–INSTRUMENTO–CONDICIONANTES PARA CADA PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364, DE 2024

A Tabela 5.1-A cruza prioridades setoriais com as janelas de financiamento mais adequadas e os condicionantes mínimos de elegibilidade e execução. Os condicionantes sintetizam requisitos recorrentes: enquadramento no eixo correto do Fundo Clima; aderência a padrões técnicos e prazos regulatórios setoriais; trilhas de medição e verificação auditáveis; salvaguardas e transparência de dados em formato aberto; além de, quando relevante, cobertura de risco cambial e estruturação de "blended finance" (finanças combinadas) conforme o Eco Invest Brasil e a plataforma regional de *hedge* de longo prazo.

Tabela 5.1-A Mapa de fontes e instrumentos por prioridade setorial e condicionantes mínimos

PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364/2024	FONTES E INSTRUMENTOS PRINCIPAIS	CONDICIONANTES TÉCNICOS E REGULATÓRIOS PARA ELEGIBILIDADE E EXECUÇÃO	REFERÊNCIAS DE POLÍTICA E FINANCIAMENTO
Conservação e eficiência energética; descarbonização da geração e cogeração	Fundo Clima Transição Energética (direta e indireta), linhas multilaterais via Banco Interamericano de Desenvolvimento e Banco Europeu de Investimento para eficiência e redes, títulos sustentáveis	Etiquetagem de edificações pelo regime do Inmetro vigente, planos de medição e verificação por uso final, cenários conservadores de encargos da micro e minigeração, trilha de dados e APIs; prazos e tetos conforme	Páginas do Fundo Clima e condições publicadas; Portaria Inmetro nº 309/2022 e INIs; Lei nº 14.300/2022; arcabouço soberano de títulos sustentáveis; dados setoriais de expansão de geração

PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364/2024	FONTES E INSTRUMENTOS PRINCIPAIS	CONDICIONANTES TÉCNICOS E REGULATÓRIOS PARA ELEGIBILIDADE E EXECUÇÃO	REFERÊNCIAS DE POLÍTICA E FINANCIAMENTO
	estaduais para programas de reabilitação, Eco Invest para proteção cambial em captações externas	modalidade, com janela temporária de teto ampliado para Norte/Nordeste	distribuída 2024–2025.
Transporte e mobilidade de baixa emissão	Fundo Clima Logística e Mobilidade Verdes; Banco Mundial e Banco Interamericano de Desenvolvimento em investimento e resultados; títulos sustentáveis estaduais para corredores e eletrificação de frota; proteção cambial quando houver importação de equipamentos	Estudos de demanda e emissões por passageiro-km, rotas e recarga, contratos de desempenho e disponibilidade, indicadores de qualidade do ar integrados ao cronograma PI-2/PI-3/PI-4, dados abertos de operação	Fundo Clima 2025; Resolução Conama nº 506/2024; diretrizes de dados abertos federais; arcabouço soberano.
Indústria e mineração; processos e gases industriais	Fundo Clima Indústria Verde; linhas de inovação e digitalização; Banco Interamericano de Desenvolvimento e Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe para eficiência e PBLs; Eco Invest para estruturas híbridas; eventual hedge de longo prazo	Planos de eficiência e substituição de combustíveis, controle de hidrofluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre, métricas de intensidade energética e carbônica por unidade de produto, preparação para o Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia em 2026	Páginas do Fundo Clima; Emenda de Kigali e normativos do Ibama; documentação do mecanismo de ajuste europeu 2023–2026.
Setor doméstico e resíduos; redução de metano em aterros	Fundo Clima Desenvolvimento Urbano Resiliente; Banco Mundial e Banco Interamericano de Desenvolvimento em investimento e por resultados; operações com Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe; pagamentos	Encerramento de lixões, captação e destruição/uso de biogás, desvio de orgânicos com compostagem e digestão, modelo de primeira ordem de decomposição, escolha consistente do potencial de aquecimento global do metano, MRV e publicação de dados	Lei nº 12.305/2010 e Decreto nº 10.936/2022; diretrizes IPCC 2006 lixo; adoção de GWP-100 conforme Sexto Relatório de Avaliação; precedentes do Fundo Clima em biogás.

PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364/2024	FONTES E INSTRUMENTOS PRINCIPAIS	CONDICIONANTES TÉCNICOS E REGULATÓRIOS PARA ELEGIBILIDADE E EXECUÇÃO	REFERÊNCIAS DE POLÍTICA E FINANCIAMENTO
	por resultados de metano e energia de biogás quando aplicável		
Setor público; eficiência, qualidade do ar e transparência	Fundo Clima Desenvolvimento Urbano Resiliente; títulos sustentáveis estaduais; apoio por resultados para redes de monitoramento da qualidade do ar; linhas multilaterais para dados e governança	Etiquetagem INI-C, cronograma PI-2/PI-3/PI-4, portais com dados abertos e APIs, dicionários e metadados, com verificação externa em relatórios de alocação e impacto	Portaria Inmetro nº 309/2022; Resolução Conama nº 506/2024; Lei de Acesso à Informação e Decreto de Dados Abertos; arcabouço soberano.
Uso do solo e cobertura vegetal urbana; restauração florestal e PSA	Fundo Clima Florestas Nativas e Recursos Hídricos; BNDES Florestas (não reembolsável) e chamadas temáticas; Fundo Verde para o Clima e Fundo Global para o Meio Ambiente; Eco Invest para fundos temáticos de restauração e agroflorestas; títulos estaduais para infraestrutura verde urbana	Alinhamento ao Planaveg 2025–2028, contratos de pagamento por serviços ambientais com adicionalidade e verificação, séries MapBiomas para linha de base, indicadores de sobrevivência e cobertura, salvaguardas sociais e repartição de benefícios	Planaveg/Proveg 2024–2028; Lei nº 14.119/2021; chamadas BNDES Florestas; governança do Fundo Verde para o Clima e entidades de acesso direto
Setor elétrico descentralizado e eficiência em edificações	Fundo Clima Transição Energética e Desenvolvimento Urbano Resiliente; Banco Europeu de Investimento via intermediários; Banco Interamericano de Desenvolvimento e Banco Mundial; títulos estaduais para programas de geração distribuída e reabilitação	Estudos de viabilidade com cenários de encargos, fronteiras de medição por uso final, etiquetagem, telemetria e telegestão, curvas de carga para armazenamento, requisitos de conexão e qualidade de tensão	Lei nº 14.300/2022; Portaria Inmetro nº 309/2022; dados de expansão de geração distribuída 2024–2025; linhas do Banco Europeu de Investimento para água/energia
Recursos hídricos; gestão costeira e	Fundo Clima Desenvolvimento Urbano Resiliente e	Planos de bacia e balanços hídricos, índices de perdas,	Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022–2040; Decreto do

PRIORIDADE DA LEI Nº 9.364/2024	FONTES E INSTRUMENTOS PRINCIPAIS	CONDICIONANTES TÉCNICOS E REGULATÓRIOS PARA ELEGIBILIDADE E EXECUÇÃO	REFERÊNCIAS DE POLÍTICA E FINANCIAMENTO
marinha	Florestas/Recursos Hídricos; Banco Mundial, Banco Europeu de Investimento, Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe; GCF para adaptação; títulos estaduais para segurança hídrica e drenagem	indicadores de turbidez e disponibilidade, zoneamento costeiro e gestão da orla, integração a sistemas nacionais de informação, prazos e metas do Plano Nacional de Recursos Hídricos	Plano de Gerenciamento Costeiro; condições do Fundo Clima e dados SNIS/SINISA

Fonte: elaboração própria

Para viabilizar desembolsos por marcos, é necessário definir indicadores e fontes de verificação com precisão. O quadro seguinte organiza, por tipo de projeto recorrente, os gatilhos práticos de desembolso e as evidências aceitas por financiadores, alinhando critérios domésticos e multilaterais.

Tabela 5.1-B Indicadores de resultado e evidências para desembolsos por marcos

TIPO DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO OPERACIONAIS	EVIDÊNCIAS E FONTES DE VERIFICAÇÃO ACEITAS	OBSERVAÇÕES PARA CONTRATOS
Reabilitação energética em prédios públicos	Redução de kWh por m², fator de carga, nível de etiqueta obtido, disponibilidade de sistemas	Faturas reconciliadas com medição submeter; laudos de comissionamento; certificado INI-C	Regressões de ajuste para clima e ocupação; auditoria independente anual.
Geração distribuída e armazenamento	MWh gerados e autoconsumidos; redução de demanda máxima; perdas técnicas evitadas	Dados telemétricos de inversores e medidores; curvas de carga; relatórios da distribuidora	Cenários conservadores de encargos da Lei nº 14.300; requisitos de conexão.
Captura e uso de biogás em aterros	Eficiência de captação; m³ de metano destruído; MWh gerados; tCO2e evitadas	Inventário por modelo recomendado; medição contínua de vazão e CH4; registros de operação de *flare*/motogeradores	Uso de GWP-100 consistente com Sexto Relatório; auditoria de massa recebida e composição.
Restauração e PSA	Hectares implantados e mantidos; taxa de sobrevivência; cobertura por sensoriamento; indicadores hídricos; contratos PSA ativos	Parcelas permanentes; imagens e séries anuais; cadastros e relatórios de verificação; recibos de pagamento	Salvaguardas e repartição de benefícios; alinhamento ao Planaveg.
Perdas de água e segurança	Índice de perdas na distribuição; kWh por m³;	SNIS/SINISA reconciliado com	Marcos por distritos de medição e controle e

TIPO DE PROJETO	INDICADORES DE RESULTADO OPERACIONAIS	EVIDÊNCIAS E FONTES DE VERIFICAÇÃO ACEITAS	OBSERVAÇÕES PARA CONTRATOS
hídrica	horas de racionamento evitadas; conformidade de barragens	SCADA; ensaios de macromedição; relatórios de segurança de barragens	por redução de kWh/m³.
Indústria e processos	Intensidade energética por tonelada; intensidade carbônica por unidade de produto; taxa de vazamento de gases industriais	Medição certificada; balanços de massa; relatórios de manutenção; inventários corporativos	Preparação para o mecanismo de ajuste europeu; planos de substituição de refrigerantes.
Mobilidade de baixa emissão	Passageiro-km descarbonizado; disponibilidade de frota; consumo específico; emissões evitadas	Telemática de frota; bilhetagem; modelagem de emissões; medições de qualidade do ar	Integração a planos PI-2/PI-3/PI-4 e portais de dados abertos.

Fonte: elaboração própria.

A priorização tática para Sergipe deve explorar simultaneamente a escala do Fundo Clima e as camadas catalíticas. No horizonte até julho de 2025, o teto ampliado na modalidade automática permite empacotar lotes maiores em Norte e Nordeste, reduzindo custo de transação e acelerando contratação para eixos padronizáveis como eficiência, iluminação, perdas de água, compostagem e biodigestão, geração distribuída e redes.

Para projetos estruturantes de redes, segurança hídrica e mobilidade em corredores, a modalidade direta e operações multilaterais fornecem prazos e tickets compatíveis. Em carteiras de natureza e bioeconomia, a combinação de chamadas não reembolsáveis do BNDES Florestas com Eco Invest e Fundos de Investimento Climático viabiliza veículos regionais com proteção cambial e metas de impacto auditáveis; em adaptação costeira, a sinergia entre Fundo Clima, Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe e Banco Europeu de Investimento amplia o espectro de cofinanciamento.

O fio condutor para bancabilidade é a padronização de dossiês e a transparência ativa. A adoção, por Sergipe, de um arcabouço estadual espelhado no soberano, com categorias elegíveis, relatórios pré-emissão, relatórios anuais de alocação e impacto com verificação externa e um portal de dados abertos com APIs, reduz o prêmio de risco e facilita a leitura por financiadores. Ao cruzar essa governança com métricas técnicas reconhecidas e calendários regulatórios setoriais, o estado estabelece uma linguagem comum que acelera a análise de crédito e a aprovação de projetos.

6.2. GATILHOS DE DESEMBOLSO POR RESULTADO, INDICADORES E MRV ESTADUAL

A adoção de desembolsos condicionados a resultados requer uma arquitetura que traduza a política pública em indicadores verificáveis, com fontes de dados auditáveis e prazos compatíveis com o ciclo orçamentário. A literatura e a prática recente de instituições financeiras internacionais convergem para um desenho em que o pagamento ocorre após a comprovação de marcos e metas por uma verificação independente, usando preferencialmente sistemas nacionais e evitando estruturas paralelas.

No instrumento de apoio por resultados do Banco Mundial, o desembolso é atrelado a indicadores de desempenho previamente pactuados, com avaliação fiduciária e socioambiental dos sistemas do tomador e verificação externa dos resultados; a política operacional explicita a função dos chamados indicadores vinculados ao desembolso e a necessidade de um plano de verificação por fonte de dado e periodicidade. Essa lógica é replicável em programas estaduais quando há bases de dados oficiais, trilha de auditoria e governança de dados aberta[89] .

Em agendas florestais e de clima, pagamentos por resultados exigem salvaguardas e medição independente do indicador ambiental. No Fundo Verde para o Clima, a modalidade de pagamentos por resultados em redução de emissões florestais no Brasil, de 2014 e 2015, estabeleceu precedentes de comprovação de resultados, repartição de benefícios por meio de pagamentos por serviços ambientais e execução via agência implementadora multilateral, com valor aprovado de 96,45 milhões de dólares; os documentos públicos descrevem a governança de verificação, a elegibilidade e o uso prioritário dos recursos. Esses exemplos informam a definição de indicadores, fontes e verificadores para programas estaduais, inclusive quando não se trate de florestas tropicais úmidas, desde que o desenho assegure adicionalidade, mensuração e salvaguardas.

No saneamento, o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico substituiu o antigo sistema em 2024 e tornou-se a base oficial para indicadores de abastecimento, esgotamento, resíduos e drenagem. A normativa federal atribui, ao Ministério das Cidades, a organização, a implementação e a gestão do sistema, bem como os critérios e a periodicidade de reporte, e vincula o fornecimento de informações

[89] https://www.worldbank.org/en/programs/program-for-results-financing

ao acesso a recursos da União. Isso cria uma oportunidade para que programas estaduais de perdas de água, eficiência energética e tratamento de esgoto definam metas por meio de indicadores oficiais, com verificação em painéis e relatórios anuais. A coleta de dados é anual e abrange módulos por componente, com prazos e manuais públicos, o que confere previsibilidade à verificação.

Em qualidade do ar, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente n.º 506, de 2024, fixou o cronograma de adoção dos padrões intermediários PI-2 a partir de 1º de janeiro de 2025; PI-3 a partir de 1º de janeiro de 2033; e PI-4 a partir de 1º de janeiro de 2044, antes da adoção do padrão final. Para programas de mobilidade e controle de emissões locais, esse cronograma permite estruturar metas de redução de concentrações e de exposição com verificação por redes estaduais e municipais, incluindo a publicação de dados brutos e indicadores em portais de dados abertos.

Em eficiência energética de edificações públicas, a Portaria do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia n.º 309, de 2022, aprovou requisitos e instruções normativas para etiquetagem de edificações comerciais, de serviços, públicas e residenciais no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem. Esse marco permite vincular desembolsos a metas objetivas, como obtenção de determinada classe de eficiência em edifícios alvo, queda mensurável do consumo específico e disponibilidade de sistemas de medição e verificação. A comprovação documental inclui laudos de organismos de inspeção acreditados e dados de consumo verificáveis.

A seguir, um esquema recomendado de indicadores e gatilhos de desembolso, com as respectivas fontes de verificação e periodicidades. O conjunto foi selecionado para cobrir as principais prioridades setoriais da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, privilegiando indicadores que possam ser aferidos com bases públicas ou com documentos auditáveis por terceira parte.

Tabela 5.2-A Indicadores recomendados, gatilhos de desembolso e verificação

EIXO SETORIAL	INDICADOR VINCULADO AO DESEMBOLSO	GATILHO DE DESEMBOLSO	FONTE DE VERIFICAÇÃO E PERIODICIDADE
Perdas de água em distribuição	Redução do índice de perdas na distribuição, em pontos percentuais, por distrito de medição e controle implementado	Pagamento por cada ponto percentual de redução acima do basal em distritos certificados, até a meta anual	Relatórios anuais do sistema nacional de informações em saneamento básico, planilhas operacionais da companhia com auditoria independente e registros de macro e micromedição; verificação anual.
Tratamento de	Aumento da razão	Pagamento por	Registros do sistema

EIXO SETORIAL	INDICADOR VINCULADO AO DESEMBOLSO	GATILHO DE DESEMBOLSO	FONTE DE VERIFICAÇÃO E PERIODICIDADE
esgoto	esgoto tratado/esgoto gerado; novas estações com desempenho acima do parâmetro de demanda bioquímica de oxigênio	entrada em operação e por ganho incremental de cobertura e desempenho	nacional, licenças ambientais e laudos de desempenho; verificação anual.
Resíduos sólidos urbanos	Toneladas de resíduos orgânicos desviadas de aterro por compostagem ou digestão anaeróbia e metros cúbicos de metano captados e destruídos	Pagamento por tonelada desviada e por tonelada de dióxido de carbono equivalente evitada por destruição ou uso energético do metano	Inventário municipal com método recomendado, dados operacionais de captação e destruição do metano, medição de vazão e teor; verificação semestral.
Mobilidade urbana	Passageiro-quilômetro descarbonizado e disponibilidade de frota elétrica ou de baixa emissão; indicadores de qualidade do ar em corredores	Pagamento por patamar de passageiro-quilômetro e por manutenção de disponibilidade; bônus por evolução do padrão de qualidade do ar conforme cronograma	Dados de bilhetagem e telemetria, relatórios de manutenção e rede de monitoramento de qualidade do ar; verificação semestral.
Eficiência em edificações públicas	Redução de consumo específico de energia (kWh/m²·ano) e etiqueta de eficiência obtida	Pagamento por etiqueta alcançada e por verificação de redução sustentada no consumo específico	Laudos de inspeção acreditada e faturas conciliadas com submedição; verificação anual.
Geração distribuída e armazenamento	MWh gerados e autoconsumidos e redução da demanda máxima em horários de ponta	Pagamento por marco de entrada em operação e por degraus de produção/gestão de carga atingidos	Dados telemétricos de inversores e medidores, pareceres de acesso e registros tarifários conforme o marco legal da micro e minigeração distribuída; verificação trimestral até estabilização e anual posteriormente.
Restauração e PSA	Hectares implantados e mantidos com taxa de sobrevivência mínima; incremento de cobertura detectado por sensoriamento	Pagamento por implantação verificada e por manutenção anual com taxa de sobrevivência e incremento de cobertura	Parcelas permanentes, imagens e séries temporais reconhecidas, contratos e recibos de pagamento por serviços ambientais; verificação anual.

Fonte: elaboração própria.

Em todos os casos, recomenda-se uma matriz de verificação com quatro elementos: definição estatística do indicador e unidade física; linha de base e método de

cálculo; sistema de dados primários e secundários com registro de metadados; e trilha de auditoria que detalhe papéis de coleta, consolidação e validação. Essa matriz é o núcleo do plano de verificação e deve ser anexada aos contratos e aos acordos de financiamento, em consonância com a prática de instrumentos por resultados de bancos multilaterais. O uso preferencial de sistemas governamentais reduz custos e fortalece capacidades; quando a confiabilidade for insuficiente, pode-se combinar o sistema oficial com auditorias independentes e amostragens externas, como preconizado nas notas técnicas de resultados baseados em desempenho[90] .

A governança de dados e a transparência ativa são determinantes para a credibilidade dos desembolsos por resultados. O país dispõe de APIs e portais de dados abertos que podem hospedar séries e microdados necessários à verificação, com políticas de acesso e formatos padronizados em JavaScript Object Notation e REST. O Portal da Transparência do Governo Federal documenta o serviço de API, limites de requisições e orientações para uso, e a Controladoria-Geral da União mantém a API do Portal Brasileiro de Dados Abertos, fundamentada na Lei de Acesso à Informação e no Decreto de política de dados abertos. Essa infraestrutura permite publicar, com versionamento, os indicadores ligados ao desembolso, incluir metadados descritivos e assegurar reprodutibilidades[91] .

Para evitar incentivos perversos, cada indicador deve vir acompanhado de salvaguardas específicas. Em resíduos, por exemplo, a adoção consistente do potencial de aquecimento global do metano em horizonte de cem anos deve ser explícita e uniforme no programa; em mobilidade, a redução de emissões por passageiro-quilômetro não pode ser resultado de queda da demanda por deterioração da qualidade do serviço, o que pede indicadores complementares de frequência, regularidade e satisfação. Em eficiência de edifícios, ganhos efêmeros de consumo não podem disparar desembolsos permanentes; por isso convém utilizar médias móveis e períodos de estabilização antes de aferir a meta anual. Em água, perdas aparentes e reais devem ser tratadas de maneira separada; marcos de implementação de distritos de medição e controle são úteis como indicadores intermediários quando a meta de perdas exige tempo maior para se materializar.

Quando a fonte de financiamento for um instrumento baseado em políticas, como empréstimos baseados em políticas de bancos regionais, os gatilhos de desembolso são ações e reformas verificáveis, e não necessariamente indicadores

[90] https://www.worldbank.org/en/programs/financial-management
[91] https://www.worldbank.org/en/programs/financial-management

físicos. Nesses casos, a matriz de políticas pode incluir aprovação e implementação de normas de qualidade do ar, portarias estaduais de dados abertos climáticos, regulamentos de etiquetagem de edificações públicas, criação de unidades gestoras de projetos e publicação de planos plurianuais de investimento verde. As páginas institucionais dos bancos detalham modalidades programáticas, multitranches e opção de saque diferido, com condições financeiras e prazos máximos de vinte anos, o que orienta o mapeamento de marcos regulatórios e institucionais por fase[92] .

A integração com o sistema estadual de monitoramento, relato e verificação é o eixo de ligação entre indicadores setoriais e desembolsos. Recomenda-se criar um catálogo estadual de indicadores climáticos e de execução, com dicionário de dados, códigos e chaves de junção, aderente às práticas de dados abertos, e publicar pacotes de dados e APIs por programa. O catálogo deve apontar, para cada indicador do contrato, a tabela mestre, o campo de data, o nível territorial, a periodicidade e o procedimento de revisão e retificação. A Controladoria-Geral da União e estados que já operam portais de dados com APIs fornecem modelos institucionais e técnicos para esse desenho, incluindo manuais e inventários de dados. A publicação deve respeitar a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, mas privilegiar granularidade e séries completas para auditoria.

Para reduzir fricção na execução, é útil diferenciar três camadas de indicadores: indicadores de implementação que habilitam desembolsos iniciais, como instalação de distritos de medição e controle, assinatura de contratos de desempenho e implantação de redes de monitoramento; indicadores intermediários que capturam mudanças operacionais, como queda de perdas, aumento de disponibilidade de frota, subida de classe de etiqueta e crescimento de MWh autoconsumidos; e indicadores finais de impacto, como melhoria de qualidade do ar conforme os padrões intermediários, queda de kWh por metro cúbico no saneamento, redução de emissões por unidade de serviço e aumento do percentual de tratamento com eficiência comprovada. Essa lógica de cadeia de resultados é padrão em operações por resultados e aumenta a previsibilidade para gestores e verificadores[93] .

Por fim, recomenda-se prever cláusulas de reequilíbrio e de revisão anual de metas, à luz de choques externos, mudanças regulatórias e revisões metodológicas nacionais. Em geração distribuída, por exemplo, alterações regulatórias do marco legal

[92]https://www.iadb.org/en/how-we-can-work-together/public-sector/financing-offerings/policy-based-loans
[93] https://www.worldbank.org/en/programs/reach

podem afetar preços relativos e encargos; convém precificar a meta por faixas e incluir parâmetros de ajuste transparente. Em qualidade do ar, eventos extremos e regimes sazonais exigem métodos de normalização e outliers controlados. Em saneamento, a transição do antigo sistema de informações para o sistema atual requer sincronia com cronogramas federais e preservação de séries históricas, como indicam as notas oficiais sobre a nova plataforma. Esses dispositivos aumentam a resiliência do arranjo de desembolsos por resultados e protegem a integridade da política pública.

6.3. SALVAGUARDAS SOCIAIS E AMBIENTAIS; MECANISMOS DE TRANSPARÊNCIA E AUDITORIA

A credibilidade de um programa estadual de financiamento climático depende de três camadas integradas: (i) salvaguardas socioambientais alinhadas a padrões internacionais; (ii), transparência ativa e passiva amparada por normas de acesso à informação e proteção de dados, e (iii) auditoria independente com escopo, critérios e competências claramente definidos. A convergência dessas camadas permite que financiadores públicos e privados confiem nos resultados reportados, reduz riscos de execução e cria base comum para desembolsos por resultados.

As salvaguardas devem espelhar requisitos de organismos multilaterais, pois esses referenciais balizam "*due diligence"* (diligência prévia) de investidores e de bancos de desenvolvimento. O Quadro Ambiental e Social do Banco Mundial, em vigor para operações aprovadas a partir de outubro de 2018, estabelece dez padrões que vão de avaliação e gestão de riscos e impactos a condições de trabalho, eficiência no uso de recursos e prevenção da poluição, saúde e segurança comunitária, biodiversidade, povos indígenas, reassentamento e engajamento de partes interessadas. Esses padrões definem responsabilidades do mutuário para cada etapa do ciclo de projeto e explicitam a necessidade de mecanismos de reclamação acessíveis e funcionais, inclusive no nível do projeto, com escalonamento ao mecanismo corporativo quando cabível. A documentação pública do quadro detalha o propósito de cada padrão e sua aplicabilidade a investimentos públicos e intermediados[94] .

No sistema interamericano, o Banco Interamericano de Desenvolvimento adotou, em 2020, um novo Marco de Política Ambiental e Social que entrou em vigor em 31 de outubro de 2021. O marco incorpora compromissos em direitos humanos, igualdade de gênero, não discriminação e proteção de grupos vulneráveis; integra gestão

[94] https://documents.worldbank.org/en/projects-operations/environmental-and-social-framework

de riscos de pandemia e ênfase em resiliência climática; proíbe compensações em habitats críticos e exige mecanismos de reclamação efetivos no nível do projeto, com possibilidade de elevação ao Mecanismo Independente de Consulta e Investigação. As páginas institucionais e publicações do banco descrevem o escopo dos dez padrões de desempenho, a governança de consulta e o papel do mecanismo de responsabilização[95] .

Para pagamentos por resultados e projetos com interface florestal, o Fundo Verde para o Clima fixa políticas transversais, incluindo política de povos indígenas que formaliza princípios de consulta prévia, livre e informada, procedimentos e papéis institucionais para implementação e monitoramento. Essa política, adotada por decisão de conselho em 2018, requer identificação de povos indígenas afetados, medidas de mitigação e planos específicos acordados com as comunidades, com documentação verificável. No Brasil, a Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho sobre povos indígenas e tribais foi internalizada e a exigência de consulta prévia, livre e informada encontra suporte jurídico, ainda que a operacionalização dependa de protocolos e arranjos institucionais claros. A promulgação da Convenção pelo Decreto Federal nº 5.051, de 19 de abril de 2004 dá lastro normativo a procedimentos de consulta e consentimento[96] .

No financiamento de infraestrutura verde e operações com intermediários, padrões europeus também oferecem guias práticos de organização de salvaguardas. O Banco Europeu de Investimento sistematiza onze padrões ambientais e sociais, inclusive um padrão específico para financiamentos intermediados, que descreve requisitos mínimos de avaliação de risco e de transparência na cadeia de subprojetos, com obrigações de divulgação e reporte. A síntese desses padrões e a política de sustentabilidade do grupo explicitam, para cada etapa do ciclo, o que o promotor e o financiador devem documentar[97] .

A transparência precisa ser regulada e exequível. A Lei Federal nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, que regula o acesso a informações públicas, vigente desde 2012, institui deveres de transparência ativa e passiva: publicação proativa de um rol mínimo de informações em sítios oficiais e atendimento a pedidos de informação com prazos definidos, respectivamente. A Controladoria-Geral da União opera orientações e ferramentas de acompanhamento da transparência ativa e reforça a política de dados

[95] https://www.iadb.org/en/who-we-are/topics/environmental-and-social-solutions/environmental-and-social-policy-framework
[96] https://www.greenclimate.fund/document/indigenous-peoples-policy
[97] https://www.eib.org/en/publications/eib-environmental-and-social-standards

abertos instituída pelo Decreto 8.777, de 2016, que favorece a publicação de bases em formatos abertos e com metadados. A adesão a esse regime, ajustada às peculiaridades estaduais, dá previsibilidade para auditores e partes interessadas acompanharem desembolsos, indicadores e salvaguardas.

A proteção de dados pessoais é outra dimensão obrigatória. A Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, Lei nº 13.709, de 2018, define papéis de controlador, operador e encarregado e estabelece princípios e bases legais para tratamento, inclusive por órgãos públicos. Programas de financiamento climático que coletam dados operacionais, socioeconômicos e eventualmente sensíveis precisam de políticas de privacidade, avaliações de impacto de proteção de dados quando adequado e rotinas de anonimização nos conjuntos divulgados. Guias oficiais e páginas institucionais detalham obrigações, inclusive quanto à interação com a Autoridade Nacional de Proteção de Dados.

A auditoria independente deve conjugar asseguração de informações financeiras, testes de controles e verificação de indicadores ambientais e sociais. Os padrões internacionais de asseguração, em particular o ISAE 3000 na forma revisada, fornecem o arcabouço para engajamentos de asseguração razoável ou limitada sobre relatórios que não são demonstrações financeiras, incluindo relatórios de sustentabilidade e painéis de resultados. O material do conselho internacional de auditoria e asseguração apresenta requisitos, escopo, materialidade e independência, além de orientações não vinculantes para aplicação em relatórios de sustentabilidade e outras formas de divulgação ampliada. Em projetos climáticos, quando houver inventários ou declarações de emissões, o ISAE 3410 pode ser acionado de forma complementar[98] .

A experiência recente do mercado voluntário de carbono reforça a necessidade de padrões de integridade. Os Princípios Básicos de Carbono do Conselho de Integridade para o Mercado Voluntário de Carbono definem critérios de governança, rastreabilidade, adicionalidade, robustez metodológica e permanência, entre outros. Em 2024, programas dominantes como o Verra e o padrão jurisdicional ART avançaram em processos de elegibilidade, enquanto categorias de metodologias foram reavaliadas com foco em adicionalidade, com repercussões sobre elegibilidade de créditos. Esses movimentos sinalizam que qualquer operação que pretenda lastrear desembolsos em

[98] International Standard on Assurance Engagements (ISAE) 3000 Revised, Assurance Engagements, https://www.iaasb.org/publications/international-standard-assurance-engagements-isae-3000-revised-assurance-engagements-other-audits-or

créditos deve aderir a critérios de alto padrão e preparar documentação comparável aos requisitos do conselho[99] .

Como referência operacional, uma matriz estadual deve articular, para cada programa elegível ao financiamento climático, o conjunto mínimo de salvaguardas, fontes de dados, protocolos de transparência e trilha de auditoria. Essa matriz é aplicável a saneamento, mobilidade, eficiência energética, resíduos, restauração e outros e consolida o que diferentes financiadores exigem em comum.

Tabela 5.3-A Síntese de salvaguardas, transparência e auditoria por tipo de programa

TIPO DE PROGRAMA	SALVAGUARDAS MÍNIMAS	TRANSPARÊNCIA E DADOS	AUDITORIA E VERIFICAÇÃO
Eficiência energética em edifícios públicos	Avaliação ambiental e social proporcional ao risco; condições de trabalho e segurança; engajamento de partes interessadas conforme padrões internacionais	Publicação de inventário de prédios, metas, indicadores de consumo específico e laudos de etiquetagem; dados abertos com metadados e dicionários	Asseguração segundo ISAE 3000 sobre redução de kWh/m²·ano; verificação documental de laudos e faturas por organismo acreditado; amostragem estatística de medições.
Mobilidade de baixa emissão	Gestão de riscos à saúde e segurança comunitária; participação social com mecanismos de reclamação acessíveis; avaliação de impactos locais	Publicação de dados de bilhetagem e telemetria em séries temporais, com anonimização; indicadores de qualidade do ar e de serviço em transparência ativa	Asseguração limitada sobre indicadores de passageiro-quilômetro e disponibilidade; validação de séries de poluentes conforme cronogramas nacionais de qualidade do ar.
Resíduos e metano	Gestão de riscos ocupacionais; controle de emissões e odores; inclusão de catadores quando aplicável; mecanismos de reclamação	Dados operacionais de captação e destruição de metano, vazões e teores; inventários anuais publicados em formato aberto	Asseguração sobre toneladas de dióxido de carbono equivalente evitadas; revisão metodológica com base em guias de mensuração e verificação reconhecidos[100].
Restauração e PSA	Salvaguardas para comunidades tradicionais e povos indígenas, com consulta	Publicação de contratos de pagamento por serviços ambientais, mapas e parcelas de	Verificação de implantação e manutenção por auditor independente,

[99] https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/carbon-credit-standards-approval-extended-98-market-2024-05-02/

[100] https://ghgprotocol.org/policy-and-action-standard

TIPO DE PROGRAMA	SALVAGUARDAS MÍNIMAS	TRANSPARÊNCIA E DADOS	AUDITORIA E VERIFICAÇÃO
	prévia; proteção de biodiversidade e limites para habitats críticos	monitoramento; metadados de sensoriamento remoto	quando houver créditos, aderência a princípios de integridade e trilha de registro.

Fonte: elaboração própria a partir de mecanismos de padronização internacionais

A governança de mecanismos de reclamação exige desenho de dupla porta. Projetos e programas devem manter um mecanismo de queixas ao nível do executor, com acesso multicanal, prazos e registro público de recebimento e solução, incluindo salvaguardas contra retaliação. Em paralelo, convém referenciar mecanismos corporativos dos financiadores, como o Serviço de Reparação de Queixas do Banco Mundial e o Mecanismo Independente de Consulta e Investigação do Banco Interamericano de Desenvolvimento, que recebem e processam reclamações de partes afetadas quando o nível do projeto falha ou quando há temor de retaliação. A documentação pública desses mecanismos detalha elegibilidade, confidencialidade e fases de consulta e revisão de conformidade.

No eixo de transparência fiscal e financeira, o Brasil adotou arcabouço para títulos soberanos sustentáveis com verificação externa e relatórios de alocação e impacto alinhados aos princípios da Associação Internacional do Mercado de Capitais. O Ministério da Fazenda e o Tesouro Nacional publicam relatórios pré-emissão com a alocação indicativa e relatórios pós-emissão com alocação efetiva e indicadores de impacto em prazos definidos. Esses documentos, elaborados por comitê interministerial, constituem boas práticas replicáveis por estados ao estruturarem títulos temáticos ou programas rotulados, inclusive no tocante a governança e prestação de contas.

Para harmonizar expectativas de diferentes financiadores e reduzir custos de conformidade, recomenda-se que o Estado publique um manual estadual de salvaguardas e integridade, consolidando: (i) referência a padrões internacionais aplicáveis; (ii) procedimentos de avaliação socioambiental por tipo e porte de intervenção; (iii) requisitos de consulta e consentimento quando houver povos indígenas e comunidades tradicionais potencialmente afetados; (iv) protocolos de dados abertos e proteção de dados pessoais; (v) desenho de mecanismos de reclamação; e (vi) requisitos de asseguração e auditoria por tipo de indicador. A publicação no portal de dados abertos, com APIs, dicionários e versões, permite que verificadores reproduzam cálculos e validem séries, inclusive para metas de desembolso por resultados.

Por fim, é prudente reconhecer o caráter evolutivo das salvaguardas climáticas. À medida que órgãos reguladores, conselhos de integridade e padrões de asseguração atualizam critérios, programas estaduais devem prever revisões anuais do manual de integridade, com consulta pública, e alinhar seus contratos a cláusulas de atualização não retroativa que evitem "travamento" regulatório, mas permitam melhoria contínua. O histórico recente no mercado voluntário de carbono, com reclassificação de metodologias e ajustes de elegibilidade, ilustra por que previsibilidade contratual e portas de atualização calibradas são elementos essenciais para integridade e bancabilidade.

7. ROTAS OPERACIONAIS PARA CAPTAÇÃO E EXECUÇÃO

Este Capítulo traduz, em uma sequência operacional, as exigências técnicas, fiduciárias e regulatórias que condicionam a transformação de prioridades públicas em projetos financiáveis. O foco é organizar um pipeline que combine preparação robusta, governança de dados e aderência a marcos nacionais de contratação e transparência, de modo a reduzir riscos na análise de crédito por bancos públicos e multilaterais, dar previsibilidade a desembolsos por resultados e facilitar a sindicância com capital privado quando pertinente.

7.1. PIPELINE, PRÉ-VIABILIDADE E PREPARAÇÃO DE PROJETOS

A constituição de um pipeline estadual deve começar por um funil único de oportunidades, alimentado pelas prioridades setoriais e por chamadas temáticas, e evoluir por estágios padronizados: triagem, pré-viabilidade, preparação aprofundada e estruturação contratual. Em triagem, cada ideia de projeto é testada contra critérios mínimos: aderência a planos e metas, elegibilidade nas linhas do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima operadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, possibilidade de indicadores verificáveis para desembolsos baseados em resultados, existência de fontes oficiais de dados no setor e riscos regulatórios.

A aprovação anual do Plano de Aplicação do Fundo Clima e a publicização de eixos e janelas criam um balizamento objetivo para essa verificação, inclusive quanto às modalidades reembolsáveis via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e às aplicações não reembolsáveis sob o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, com portfólio 2025 superior a onze bilhões de reais distribuído em transição energética, logística e mobilidade, desenvolvimento urbano resiliente,

florestas nativas e recursos hídricos, indústria verde e inovação. As notas oficiais detalham governança e papéis do comitê gestor, reforçando a necessidade de aderência explícita dos projetos às diretrizes do plano anual.

Superada a triagem, a pré-viabilidade organiza, em quatro a oito semanas, um dossiê técnico-econômico sintético por projeto. Esse dossiê cobre: i) problema público e meta mensurável; ii) alternativas tecnológicas e estimativa de custo unitário; iii) fontes oficiais para linha de base e verificação; iv) estimativa preliminar de benefícios e de emissões evitadas; v) riscos e condicionantes socioambientais; vi) hipótese de contratação e cronograma.

Em saneamento, por exemplo, a migração do antigo sistema nacional de informações ao Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico em 2024 tornou o novo sistema a referência oficial para metas e verificação anual de indicadores de abastecimento, esgotamento, resíduos e drenagem, com módulos de regulação e de auditoria de dados. A documentação institucional explicita o mandato legal do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico, a responsabilidade do Ministério das Cidades por critérios, métodos e periodicidade, e o uso do método de auditoria e certificação das informações como instrumento de qualidade. Projetos estaduais devem, portanto, ancorar metas, linhas de base e verificação nos painéis e rotinas do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico, reduzindo custos de monitoramento e aumentando a confiança dos financiadores.

Em eficiência energética em edificações públicas, a pré-viabilidade deve consolidar inventário de prédios, consumos históricos e potencial de economia por intervenção, bem como o enquadramento na etiquetagem do Programa Brasileiro de Etiquetagem regida pela Portaria do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia n.º 309, de 2022. Esse marco viabiliza metas de etiqueta e de redução de consumo específico com comprovação por laudos de organismos de inspeção acreditados, articuláveis a desembolsos por marcos de desempenho.

Na sequência, a preparação aprofundada organiza os entregáveis que um banco de fomento ou multilateral exigirá para análise e aprovação: estudos de engenharia na classe adequada; análise de alternativas e de custos do ciclo de vida; modelagem de demanda e de emissões; plano de aquisições conforme a Lei n.º 14.133, de 2021; matriz de riscos e salvaguardas; plano de monitoramento, relato e verificação com fontes, periodicidade e trilha de auditoria; e plano orçamentário-financeiro com fontes de contrapartida e cronograma de saques.

A Lei n.º 14.133, de 2021 unifica as regras gerais de licitações e contratos e determina a publicação centralizada de atos e documentos no Portal Nacional de Contratações Públicas, o que impõe a estados e municípios a elaboração do Plano de Contratações Anual e a transparência integral de avisos, editais, contratos e aditivos. O Portal Nacional de Contratações Públicas oferece, ainda, dados abertos e interfaces de programação de aplicações, úteis para auditorias e acompanhamento por financiadores. Ancorar a preparação contratual nesses marcos dá previsibilidade e facilita a due diligence.

Para operações com desembolsos condicionados a resultados, recomenda-se desde a preparação um quadro de indicadores e fontes alinhado às práticas de bancos multilaterais. No "*Program-for-Results*" (Programa por Resultados) ou "PforR" segundo a nomenclatura do Banco Mundial, por exemplo, os desembolsos se vinculam a indicadores ligados ao desembolso com verificação independente e avaliação fiduciária dos sistemas do tomador. A documentação institucional descreve o escopo do diagnóstico fiduciário, a construção dos indicadores e a lógica de auditoria, que podem ser espelhados em programas estaduais para reduzir retrabalho na fase de negociação[101].

Em salvaguardas socioambientais, a preparação deve seguir padrões internacionalmente reconhecidos, pois o alinhamento facilita cofinanciamento e sindicância. O Quadro Ambiental e Social do Banco Mundial, aplicável a operações de investimento desde outubro de 2018, define dez normas que cobrem gestão de riscos e impactos, trabalho e condições de trabalho, eficiência de recursos e prevenção à poluição, saúde e segurança comunitária, aquisição de terras e reassentamento, biodiversidade, povos indígenas, patrimônio cultural, engajamento de partes interessadas e intermediários financeiros.

A elaboração do plano de engajamento, dos instrumentos de avaliação ambiental e social proporcionais ao risco e de mecanismos de reclamação deve constar do pacote de preparação. No âmbito do Banco Interamericano de Desenvolvimento, o Marco de Política Ambiental e Social, aprovado em 2020, organiza dez padrões de desempenho com ênfase em gênero, diversidade e resiliência climática. Projetos que pretendam acessar linhas multilaterais ganham celeridade quando apresentam, já na preparação, produtos compatíveis com esses referenciais[102] .

[101] https://www.worldbank.org/en/programs/financial-management
[102] https://www.worldbank.org/en/projects-operations/environmental-and-social-framework

Para acelerar a preparação e reduzir custos, convém separar artefatos transversais dos específicos por projeto. Artefatos transversais incluem: (i) modelos padrão de termos de referência para estudos de engenharia, inventários e avaliações; (ii) manuais de MRV com dicionário de indicadores, fórmulas, fontes oficiais, periodicidades e procedimentos de revisão; (iii) guias de aquisições e minutas contratuais compatíveis com a nova lei de licitações, contemplando modalidades como concorrência, pregão e diálogo competitivo para soluções complexas; (iv) guia de transparência com fluxos de publicação no Portal Nacional de Contratações Públicas e integração de dados abertos. Isso cria consistência entre projetos e facilita a verificação externa.

No campo financeiro, a preparação deve testar, para cada projeto, combinações de fontes e instrumentos. A experiência recente indica espaço para compor Fundos de Investimento Climático e outras janelas multilaterais com crédito do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e estruturas catalíticas nacionais. As estatísticas de aprovações do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, em 2024–2025, mostram magnitude crescente de crédito climático, com ênfase regional no Nordeste e carteira multissetorial, o que sinaliza apetite e padrão de documentação. Em paralelo, a criação de plataformas e chamadas para fundos de investimento verdes amplia a gama de veículos para alavancagem privada em projetos de natureza e transição energética. Inserir essas possibilidades desde a preparação ajuda a escolher estruturas de garantias, governança e métricas de impacto mais adequadas.

Um ponto crítico na preparação é a governança de dados. A documentação de cada projeto deve explicitar tabelas mestres, chaves e metadados para todos os indicadores-chave de desempenho, com preferência por sistemas oficiais. Para saneamento, a fonte é o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico com cronogramas e manuais próprios; para contratações, o Portal Nacional de Contratações Públicas é a base de divulgação e dados abertos; para eficiência em edificações, a documentação de etiquetagem sob a Portaria do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia n.º 309 serve como fonte certificada. Repositórios de dados e scripts armazenados com históricos de alteração e com registros de auditoria, devem ser incorporados ao pacote de preparação e disponibilizados a verificadores e financiadores.

A preparação também deve antecipar a estratégia de contratações. A Lei n.º 14.133, de 2021, introduz, entre outras mudanças, a obrigatoriedade de planejamento com Plano de Contratações Anual, a centralização da publicidade no Portal Nacional de Contratações Públicas, novas modalidades como o diálogo competitivo para projetos complexos e uma disciplina de gestão e matriz de riscos contratual.

Estados precisam, portanto, atualizar regulamentos e rotinas, integrar seus sistemas ao Portal Nacional de Contratações Públicas e treinar equipes para reduzir riscos de impugnações e atrasos. O Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos publicou diretrizes para transição definitiva à nova lei e consolidou materiais de apoio, enquanto o Portal de Compras e os sites institucionais oferecem painéis e bases de dados. Incluir, no pacote de preparação, um plano de aquisições aderente a esses marcos acelera as aprovações e melhora a execução.

Para projetos com componente social significativo, a preparação deve prever estudos de base e canais de participação. O quadro internacional de salvaguardas enfatiza engajamento significativo e mecanismos de queixas acessíveis ao nível do projeto; em paralelo, a Lei de Acesso à Informação e as políticas de dados abertos exigem transparência ativa de planos, cronogramas, indicadores e relatórios. A aderência a esses marcos desde a preparação reduz assimetria de informação, facilita a fiscalização social e encurta o ciclo de verificação por financiadores[103].

Em síntese, a rota operacional recomendada para a preparação é: (i) funil único e triagem por elegibilidade e dados; (ii) dossiê de pré-viabilidade com custos, benefícios e fontes de verificação; (iii) preparação aprofundada com engenharia, MRV, salvaguardas, aquisições e plano financeiro; (iv) integração nativa a sistemas oficiais de informação e ao Portal Nacional de Contratações Públicas; (v) documentação padronizada e artefatos transversais para ganho de escala. Essa padronização diminui incerteza, reduz custos de transação e acelera a conversão de prioridades em contratos financiáveis.

7.2. ESTRUTURAS DE GARANTIAS, CONTAS VINCULADAS E GESTÃO DE RISCO CAMBIAL

A estruturação de garantias e de contas vinculadas é o eixo que transforma promessas de fluxo de caixa em colateral verificável e transferível, reduz a assimetria de informação entre credores e executores e habilita a adoção de cláusulas de "*step-in*" (direito de intervenção ou assunção temporária de controle pelo financiador) e de prioridades na distribuição de receitas. Em paralelo, a gestão do risco cambial deve ser tratada ex ante, com instrumentos padronizados de hedge e, quando cabível, com o uso de instrumentos públicos que reduzam prêmios de risco e ampliem prazos. A seguir delineiam-se arranjos recomendados para programas estaduais nas prioridades de

[103] https://www.worldbank.org/en/projects-operations/environmental-and-social-framework

saneamento, mobilidade, resíduos, eficiência energética e restauração, com ênfase na replicabilidade e na aderência a marcos nacionais e multilaterais.

Nas operações estilo "*project finance*", os financiamentos se ancoram no fluxo de caixa do projeto, com garantias sobre os ativos e recebíveis da sociedade de propósito específico e com "*covenants*" (cláusulas restritivas contratuais) que disciplinam alavancagem, índices mínimos de cobertura do serviço da dívida e restrições a pagamentos a acionistas.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social explicita que, no BNDES Project Finance, as receitas futuras devem ser vinculadas ou cedidas em favor dos financiadores, que o índice de cobertura do serviço da dívida projetado na fase operacional deve ser no mínimo 1,30, e que as garantias pré-operacionais podem combinar compromissos de aporte de capital, contratos "turn-key" ("chave na mão")[104] com empreiteiros e seguro-garantia em benefício dos financiadores.

No período operacional, a exigência de garantias fidejussórias pode ser substituída por penhor ou alienação fiduciária das ações de controle, penhor dos direitos emergentes do contrato de concessão, e concessão de direito de assunção do controle pelos financiadores quando admitido em lei, o que viabiliza o exercício efetivo de "*step-in*" (direito de intervenção ou assunção temporária de controle pelo financiador) em caso de default. Essa doutrina de colaterais e de clausulados é referência para operações sindicais e para a compatibilização com garantias reais e pessoais típicas do banco.

A arquitetura de contas vinculadas organiza o "*waterfall*" de receitas (estrutura em cascata de destinação de receitas)[105], separando arrecadação, serviço da dívida, reservas e livre movimentação. A prática consolidada em concessões adota conta centralizadora que recebe a receita bruta e, por regras contratuais, distribui percentuais para contas de ajuste, de reserva e de livre movimentação, inclusive quando há coletores dedicados como contas de "*free flow*"(contas de livre movimentação)[106]. A literatura setorial registra, por exemplo, contas de ajuste, temporárias e de retenção, utilizadas para equalizar resultados e cumprir obrigações regulatórias e contratuais. Esse modelo eleva a rastreabilidade de caixa e facilita a execução de garantias por cessão fiduciária

[104] Contrato de empreitada global com entrega final pronta para operação

[105] Em finanças estruturadas, "waterfall" indica a ordem de prioridade na alocação de recursos recebidos, determinando quem é pago primeiro (ex.: custos operacionais, serviço da dívida, fundos de reserva, dividendos).

[106] "*free flow*" indica contas sem bloqueio ou controle direto por agente fiduciário, usadas para fluxos não vinculados à garantia do projeto. É o oposto de "contas vinculadas" (*escrow accounts*).

de recebíveis e por acordos de controle de contas com o agente fiduciário do sindicato de credores.

A modalidade seguro-garantia ganhou regulação atualizada em 2022, com a Circular Superintendência de Seguros Privados nº 662, que se tornou obrigatória a partir de 2023 e passou a alinhar o produto à Lei Federal nº 14.133, de 1º de abril de 2021, que institui a nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos. O marco regulatório aprimorou definições técnicas, reforçou a vinculação entre a apólice e o objeto principal e admitiu, como regra, vigência igual à da obrigação garantida, além de prever atuação da seguradora na mitigação do risco de sinistro.

A própria Superintendência de Seguros Privados divulga manual técnico detalhando o ciclo do seguro-garantia e os documentos exigíveis para regulação de sinistros, inclusive em contratos com o setor público. Para obras, serviços de operação e performance, essa forma de garantia tem custo competitivo em relação a fiança bancária e, quando emitida com cláusulas de execução específica, aproxima-se do "*completion bond*" (garantia de conclusão) exigido em "*project finance*" (financiamento estruturado de projetos)[107] .

Em parcerias público-privadas regidas pela Lei Federal nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, recomenda-se considerar o uso de fundos garantidores quando a rubrica orçamentária do poder concedente não basta para ancorar risco de contraparte pública. A Lei autoriza a participação da União em Fundo Garantidor de Parcerias Público-Privadas para cobrir obrigações pecuniárias assumidas, permitindo a contratação de instrumentos disponíveis no mercado para complementação das modalidades de garantia. No âmbito estadual, é possível estruturar fundos análogos ou aderir a arranjos federais quando elegível, em combinação com contas vinculadas e cessões fiduciárias. Em qualquer desenho, a regra de acionamento da garantia, prazos de cura e documentação comprobatória precisam ser explícitos para reduzir litigiosidade e tempo de execução.

No mercado de capitais, as Debêntures de Infraestrutura, instituídas pela Lei nº 14.801, de 9 de janeiro de 2024**,** complementam o regime das debêntures incentivadas previsto na Lei nº 12.431, de 24 de junho de 2011, ampliando a base de investidores. A

[107] Project finance é um modelo de financiamento em que o crédito é concedido com base na viabilidade e nos fluxos de caixa futuros do próprio projeto, e não na garantia do patrimônio dos patrocinadores. Ele envolve sociedades de propósito específico (SPEs), contas vinculadas, cláusulas de "*step-in*" (direito de intervenção ou assunção temporária de controle pelo financiador), estrutura de garantias complexas e análise detalhada de riscos técnicos, contratuais e regulatórios.

legislação e seus atos infralegais indicam elegibilidade a sociedades de propósito específico, concessionárias, permissionárias, autorizatárias e arrendatárias, com destinação a projetos prioritários e possibilidade de participação de investidores não residentes.

O Decreto nº 11.964, de 26 de março de 2024, regulamentou a emissão de debêntures de infraestrutura e preservou o arcabouço fiscal, ao mesmo tempo em que alinhou o instrumento ao Plano de Transformação Ecológica. Portarias setoriais passaram a disciplinar o enquadramento de projetos e procedimentos de acompanhamento, o que facilita o emprego desses títulos como parte do financiamento, desde que a estrutura de garantias e de contas vinculadas seja compatível com a cessão fiduciária de recebíveis e com a hierarquia de pagamentos.

Para mitigar risco cambial, há duas frentes complementares. A primeira frente é o hedge convencional em bolsa, com contratos futuros de dólar e de cupom cambial da B3, inclusive estruturas combinadas que permitem ajustar o perfil de proteção entre taxa de câmbio e diferenciais de juros. A B3 disponibiliza produtos padronizados, com lotes e ajustes diários, que viabilizam proteção de receitas ou passivos expostos à moeda estrangeira ao longo dos ciclos de investimento e operação. A segunda, é o uso do Programa Eco Invest Brasil, instituído por legislação específica e regulamentado pelo Conselho Monetário Nacional, que definiu quatro sublinhas: financiamento parcial via "*blended finance*" (finanças combinadas), liquidez para eventos de volatilidade cambial, proteção cambial e estruturação de projetos.

Em 2025, o Conselho Monetário Nacional aperfeiçoou a norma para permitir aquisição de cotas de fundos, incluir operações de securitização, detalhar remuneração máxima para leilões e concluir a regulamentação de sublinhas de liquidez e proteção cambial, com vistas a desenvolver hedge de longo prazo em moeda estrangeira no país. A página oficial do Tesouro Nacional consolida a legislação e atos normativos do programa, incluindo portarias e editais de leilões. Para projetos com receitas em reais e insumos indexados ao dólar, combinar derivativos padronizados e cobertura via Eco Invest reduz o descasamento de prazos que usualmente encarece o "*hedge"* (mecanismo de proteção cambial) privado.

Para orientar a escolha dos instrumentos, a tabela a seguir resume funções, lastros e critérios de acionamento de arranjos típicos, com indicações de uso por tipo de projeto.

Tabela 6.2-A Síntese de instrumentos de garantias, contas e hedge

INSTRUMENTO	FUNÇÃO PRINCIPAL	LASTRO E EXECUÇÃO	QUANDO USAR	FONTES DE REFERÊNCIA
Cessão fiduciária de recebíveis em conta centralizadora com acordo de controle de conta	Assegurar prioridade de pagamento a credores e permitir "*step-in*" (direito de intervenção ou assunção temporária de controle pelo financiador)	Receitas operacionais depositadas em conta centralizadora com regras de rateio e reservas contratuais	Concessões e PPPs com arrecadação tarifária e contratos de longo prazo	Comentários setoriais sobre contas vinculadas em concessões; práticas de *waterfalls* em contratos de concessão.
Seguro-garantia de performance e de adimplemento	Cobrir inadimplemento contratual ou completar obra/serviço	Apólice com vigência atrelada à obrigação; execução específica ou indenização pecuniária conforme apólice	Obras e contratos de performance, inclusive pré-operação em project finance	Páginas oficiais e circulares da Superintendência de Seguros Privados; manual técnico.
Penhor/alienação fiduciária de ações e de direitos de concessão	Viabilizar "*step-in*" (direito de intervenção ou assunção temporária de controle pelo financiador) e manutenção do projeto como *going concern*	Ações da sociedade de propósito específico e direitos emergentes do contrato de concessão	Fase operacional com risco de substituição de operador ou reestruturação	Diretrizes BNDES para project finance.
Conta reserva do serviço da dívida e contas de retenção	Amortecer volatilidade de caixa e garantir serviço da dívida	Depósitos mínimos contratuais em múltiplos de serviço da dívida; liberação por gatilhos	Projetos com receita cíclica ou exposição a riscos operacionais	Práticas de waterfalls setoriais e instrumentos de securitização que detalham contas vinculadas.
Debêntures de Infraestrutura e Incentivadas	Alongar passivos e ampliar base de investidores	Emissão com covenants e garantias compatíveis; possível participação de não residentes	Projetos prioritários com perfil de receita previsível	Lei nº 14.801/2024, decreto e portarias de enquadramento.
Hedge via B3 e via Eco Invest	Mitigar risco cambial de CAPEX e OPEX indexados	Futuros de dólar e cupom cambial padronizados; linhas públicas de proteção cambial e	Projetos com exposição relevante a moeda estrangeira e necessidade de prazos longos	B3, resoluções do Conselho Monetário Nacional e página de legislação do Eco Invest.

INSTRUMENTO	FUNÇÃO PRINCIPAL	LASTRO E EXECUÇÃO	QUANDO USAR	FONTES DE REFERÊNCIA
		liquidez		

Fonte: elaboração própria.

Alguns cuidados de desenho merecem destaque. Em primeira instância, a compatibilidade entre *waterfall*, cessão fiduciária e regras de desembolso público. Em contratos que combinam recursos orçamentários e financiamento, convém segregar contas para cada fonte, preservando rastreabilidade e facilitando auditoria. Em segunda, a calibragem das reservas. Contas de serviço da dívida dimensionadas em múltiplos entre três e seis meses do serviço da dívida mitigam risco de curto prazo, mas têm custo de carregamento; a decisão deve considerar volatilidade do fluxo e cláusulas de liberação. Em terceira, por fim, a operacionalização do "*step-in*" (direito de intervenção ou assunção temporária de controle pelo financiador). A outorga aos financiadores do direito de assumir o controle deve ser compatível com o contrato de concessão, com o marco regulatório setorial e com a Lei nº 14.133, de 2021, para evitar nulidades e permitir continuidade do serviço. As diretrizes públicas do BNDES são didáticas ao listar as condições em que a exigência de garantia fidejussória pode ser dispensada mediante colaterais de controle e de direitos de concessão, o que serve de guia para bancos sindicais e investidores institucionais[108] .

No saneamento e em resíduos, a previsibilidade regulatória e a governança de dados oficiais ajudam a reduzir risco de crédito e de performance, permitindo cláusulas de desembolso baseadas em indicadores com verificação no Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. A segregação de receitas por tipo de serviço e a vinculação contratual de indicadores a contas de retenção reforçam o caráter baseado em performance do financiamento.

Em projetos com forte conteúdo importado ou serviços dolarizados, como aquisição de ônibus elétricos, equipamentos de tratamento de resíduos ou sistemas de automação, a combinação de hedge privado padronizado e proteção via Eco Invest é particularmente útil. As resoluções do Conselho Monetário Nacional, desde 2024, definem sublinhas de proteção cambial e liquidez e vêm sendo aperfeiçoadas para permitir participação via fundos, securitizações e regras de remuneração máxima em leilões. Isso melhora o alongamento e a liquidez da proteção e reduz o custo total do hedge, especialmente relevante quando a análise de sensibilidade de câmbio é determinante para o índice de cobertura do serviço da dívida.

[108] https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-project-finance

Por fim, a coordenação entre financiadores reduz a sobre-colateralização e os custos. O BNDES já anunciou, em operações anteriores, acordos com bancos para compartilhamento de garantias em projetos de infraestrutura, prática que tende a ganhar espaço à medida que carteiras climáticas crescem e instrumentos como debêntures de infraestrutura e linhas Eco Invest se disseminam. Para o estado, significa estruturar pacotes contratuais com agente fiduciário claro, acordos de "*inter-creditor"* (acordos de coordenação entre credores) e regras objetivas de rateio em eventos de default e de execução de garantias[109].

7.3. MODELOS DE GOVERNANÇA FINANCEIRA; COMITÊS E TRILHA DE AUDITORIA

A governança financeira de uma carteira climática estadual precisa organizar papéis, decisões e evidências de forma que o ciclo completo de cada projeto — da concepção à medição de resultados — seja rastreável, auditável e compatível com exigências nacionais e multilaterais. Três pilares dão estrutura a esse arcabouço: comitês decisórios com mandatos claros; um sistema de trilha de auditoria que una execução orçamentária, contratações e resultados físicos; e políticas de transparência e dados abertos integradas a padrões federais.

O primeiro pilar são os comitês. A boa prática de governança pública consolidada pelo Tribunal de Contas da União recomenda instâncias formais com agenda, atas e indicadores, amparadas por diretrizes atualizadas de governança organizacional (3ª edição, 2020) e por políticas de gestão de riscos alinhadas a modelos como o COSO *Internal Control – Integrated Framework* (2013). Essas referências, públicas e de uso corrente no setor público federal, servem de base para estados estruturarem conselhos e comitês com competências, fluxos decisórios e responsabilidades pela gestão de riscos, controles internos e integridade na contratação e na execução financeira[110] .

O segundo pilar é a trilha de auditoria. A Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos impõe publicação centralizada no Portal Nacional de Contratações Públicas, que já fornece APIs, dados abertos e painéis, e, desde maio de 2025, passou a exibir a origem dos recursos orçamentários, inclusive de organismos internacionais.

---

[109]https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-anuncia-acordo-com-bancos-para-compartilhar-garantias-em-projetos-de-infraestrutura

[110]Referencial Básico de Governança Operacional", 2020, https://portal.tcu.gov.br/data/files/FB/B6/FB/85/1CD4671023455957E18818A8/Referencial_basico_governanca_organizacional_3_edicao.pdf

Essa funcionalidade, somada à exigência de informar fonte de recursos ao registrar contratações, permite uma trilha automática do dinheiro público por contrato e por fonte, reforçando a transparência e o controle por auditores e sociedade.

A documentação oficial do Portal Nacional de Contratações Públicas e do Ministério da Gestão destaca a padronização das divulgações e a disponibilidade por interface de programação de aplicações, o que viabiliza integrações com painéis estaduais de gestão e com sistemas de monitoramento, relato e verificação.

O terceiro pilar é a política de transparência e dados abertos. A Lei de Acesso à Informação distingue transparência ativa — publicação proativa de um rol mínimo de informações — e transparência passiva — atendimento a pedidos com prazos definidos. O Decreto n.º 8.777, de 2016, instituiu a Política de Dados Abertos do Poder Executivo federal, e a Controladoria-Geral da União mantém guias e páginas temáticas que explicitam objetivos, governança e planos de dados abertos. Esse marco fornece linguagem e padrões para que o estado publique bases de execução e resultados com metadados, dicionários e APIs, reduzindo custo de verificação externa e facilitando desembolsos por resultados.

A seguir, uma proposta de arquitetura de comitês para a carteira climática, com foco na segregação de funções e na conexão entre decisão, execução e verificação.

Tabela 6.3-A Comitês propostos, escopo e produtos de governança

COMITÊ	MANDATO E DECISÕES	PRINCIPAIS PRODUTOS E CADÊNCIA	INTERFACES E FONTES DE VERIFICAÇÃO
Comitê Estratégico de Financiamento Climático	Deliberar sobre a carteira, prioridades anuais e alocações por fonte; aprovar política de riscos, salvaguardas e dados	Plano anual da carteira; matriz de riscos e salvaguardas; calendário de captação; atas trimestrais	Relatórios de governança do Tribunal de Contas da União; relatórios do Tesouro e do planejamento; Portal Nacional de Contratações Públicas para contratos e fontes de recursos.
Comitê de Elegibilidade e Preparação	Autorizar entrada de propostas no pipeline; aprovar pré-viabilidade e termos de referência; validar desenho de indicadores	Dossiês de pré-viabilidade; termos de referência padronizados; calendário de licitações	Guia da Lei de Acesso à Informação (itens sobre licitações e transparência ativa); PNCP para publicação de editais e contratos.
Comitê de Contratações e Integridade	Garantir conformidade à Lei n.º 14.133, de 2021; supervisionar riscos de fraude; aprovar	Plano de Contratações Anual; matriz de risco; pareceres de integridade; registros no PNCP	PNCP e suas APIs; materiais oficiais do portal e painéis estatísticos.

COMITÊ	MANDATO E DECISÕES	PRINCIPAIS PRODUTOS E CADÊNCIA	INTERFACES E FONTES DE VERIFICAÇÃO
	planos de contratação e matrizes de risco contratual		
Comitê de MRV e Desembolsos por Resultados	Pactuar indicadores, fontes e verificadores; liberar marcos para pagamento mediante evidências; supervisionar auditorias externas	Matriz de indicadores e dicionário de dados; pareceres de verificação; relatórios de resultados	APIs de dados abertos; relatórios oficiais de transparência; políticas de dados abertos CGU.
Comitê de Auditoria e Riscos	Monitorar riscos financeiros, operacionais e reputacionais; supervisionar controles internos; recomendar adequações	Plano anual de auditoria; relatórios de acompanhamento de recomendações; linguagem aderente a COSO	Política de gestão de riscos do TCU e referências COSO; registros contábeis e administrativos do Tesouro estadual e PNCP.

Fonte: elaboração própria

No plano operacional, a trilha de auditoria deve encadear quatro camadas de evidência: dotação e empenho, contratação, execução física e desembolso por meta. A camada orçamentária e financeira é registrada no sistema contábil-financeiro do Estado, com publicação de dados em transparência ativa conforme a Lei de Acesso à Informação; a camada de contratações é publicada no Portal Nacional de Contratações Públicas, com editais, atas, contratos, termos aditivos e notas fiscais eletrônicas; a execução física é evidenciada por bases setoriais e por laudos técnicos; e os desembolsos por meta são instruídos com pareceres de verificação e com dados reproduzíveis via API.

O anúncio oficial de 2025 de que o Portal Nacional de Contratações Públicas passou a exibir a origem dos recursos inclusive de organismos internacionais permite, adicionalmente, sinalizar para financiadores multilaterais a aderência da carteira às suas exigências de rastreabilidade, reforçando a integração entre lei nacional e regras dos bancos.

A política de transparência ativa deve incluir um Plano Estadual de Dados Abertos para a carteira climática, com catálogo de conjuntos, periodicidades, metadados e responsáveis por cada base. As páginas da Controladoria-Geral da União e dos ministérios reforçam que dados abertos são, por definição, de acesso livre, em formatos processáveis por máquina e acompanhados de metadados e licenças, condição essencial

para reprodutibilidade de cálculos e para auditoria por terceiros. Para o Estado, isso implica publicar, por exemplo, séries de consumo energético e etiquetas em prédios públicos, bilhetagem e telemetria de mobilidade, indicadores operacionais de saneamento e contratos e notas fiscais do Portal Nacional de Contratações Públicas, sempre com dicionário de dados e chaves de junção entre conjuntos.

A gestão de riscos e controles internos deve seguir um referencial reconhecido, com papéis definidos para primeira, segunda e terceira linhas. A política de gestão de riscos do Tribunal de Contas da União, que adota modelos como COSO, é útil para padronizar o processo: definição de objetivos, identificação, avaliação, resposta e monitoramento. No contexto da carteira climática, riscos típicos incluem variações de câmbio e juros, atrasos em licenças e aquisições, falhas de medição e verificação e riscos socioambientais. Cada risco precisa de dono, indicador de apetite e plano de resposta, com reporte periódico ao Comitê de Auditoria e Riscos e ao Comitê Estratégico.

Para garantir consistência documental, recomenda-se um Manual Estadual de Governança Financeira e Integridade da Carteira Climática, composto por: organograma de comitês, calendário de reuniões e quóruns; modelos de atas e relatórios; matriz de indicadores e dicionário de dados; guia de publicação no Portal Nacional de Contratações Públicas e nos portais de dados abertos; procedimentos de verificação, incluindo amostragem, independência e escopo; e protocolo de resposta a achados de auditoria. Esse manual deve referenciar explicitamente as normas de transparência e dados abertos e os repositórios oficiais, como o próprio Portal Nacional de Contratações Públicas, cujas seções de Dados Abertos e Integração orientam a publicação e a interoperabilidade.

Do ponto de vista de prestação de contas, convém alinhar os relatórios da carteira ao padrão de asseguração não financeira aceito pelo mercado e pelo controle externo, permitindo contratações de asseguração limitada ou razoável conforme o International Standard on Assurance Engagements 3000. Embora a contratação e o escopo de asseguração sejam definidos caso a caso, a adoção de trilha de auditoria baseada em dados abertos e APIs reduz significativamente custos e tempo de verificação, porque o auditor consegue reproduzir cálculos diretamente das fontes oficiais publicadas. A articulação entre comitês e auditores deve constar de plano anual específico, com cronograma de testes de controles e de conferência de indicadores.

A integração da governança financeira com o sistema estadual de monitoramento, relato e verificação fecha o ciclo. O Comitê de MRV e Desembolsos

por Resultados coordena a publicação, em transparência ativa, de bases e painéis com scripts de cálculo, além de gerir o repositório versionado de dados e algoritmos. O Comitê de Contratações e Integridade zela pela publicação tempestiva de avisos, editais, contratos e notas fiscais no Portal Nacional de Contratações Públicas, obedecendo à Lei n.º 14.133, de 2021. O Comitê de Auditoria e Riscos acompanha, pelo lado financeiro e operacional, a execução do orçamento e do cronograma físico, reportando desvios e propondo correções. O Comitê Estratégico garante aderência aos objetivos climáticos, realoca recursos quando necessário e mantém a coerência da carteira com prioridades estaduais e com condicionantes de financiadores.

Em síntese, a combinação de comitês com mandatos definidos, trilha de auditoria digital ancorada no Portal Nacional de Contratações Públicas e política de dados abertos alinhada à Lei de Acesso à Informação e ao Decreto de Política de Dados Abertos cria o ambiente institucional necessário para bancabilidade e integridade. Além de responder a exigências multilaterais, esse arranjo reduz custo de transação, acelera análises de crédito e fortalece o controle social.

8. ESTUDOS DE CASO E BENCHMARKS RECENTES NO BRASIL

Este Capítulo apresenta exemplos recentes de operações financiadas em transição energética e mobilidade de baixa emissão que ajudam a traduzir, em parâmetros concretos, o que foi discutido nos capítulos anteriores sobre fontes, instrumentos e condicionantes. A ênfase recai sobre evidências de escala, custos financeiros, prazos, arranjos de garantias e requisitos de mensuração e verificação, com foco especial no Nordeste, região que experimentou forte expansão de aprovações no Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e que oferece paralelos úteis para programas estaduais. Os casos selecionados foram extraídos de comunicados oficiais e bases públicas, com indicação de volumes, instrumentos e marcos regulatórios a fim de orientar o desenho de projetos análogos.

8.1. EXPANSÃO DE RENOVÁVEIS E MOBILIDADE COM CRÉDITO DO FUNDO CLIMA NO NORDESTE

A trajetória recente do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima mostra uma recomposição de escala e de foco setorial que interessa diretamente a carteiras estaduais. Em 2024 o Fundo fechou o exercício com 10,2 bilhões de reais em

aprovações e evidenciou aceleração no Nordeste, onde o volume aprovado atingiu 1,8 bilhão de reais, trinta e seis vezes acima de 2022.

Entre os projetos destacados na região estiveram expansões de fontes eólica e solar que, somadas, adicionaram aproximadamente 450 megawatts ao Sistema Interligado Nacional, além de investimentos em recursos hídricos no Ceará. A cobertura oficial dessas aprovações registra a retomada de escala, a capilaridade regional e a combinação de agendas de mitigação com adaptação, com a região Nordeste respondendo pelo maior crescimento proporcional no período[111] .

A reabertura e o redesenho das linhas do Fundo trouxeram parâmetros que balizam decisões de estruturação. O canal automático admite, até 30 de julho de 2025, limite ampliado por cliente quando a parcela adicional se destina a Norte ou Nordeste, e divulga prazos de até vinte e cinco anos em logística de transporte, mobilidade e recursos hídricos, até vinte e quatro anos para geração eólica e até dezesseis anos para outras linhas de transição energética e desenvolvimento urbano resiliente. Esse alongamento, combinado ao teto temporariamente mais alto para Norte e Nordeste, cria condições financeiras favoráveis a lotes de projetos padronizáveis, como iluminação pública eficiente, retrofit de edifícios públicos, geração distribuída com armazenamento, corredores de ônibus elétrico e redução de perdas de água, reduzindo o custo de transação e acelerando a execução.

Em termos de custos e itens financiáveis, as diretrizes federais do primeiro semestre de 2024 detalharam que a modalidade indireta passou a admitir financiamento de até cem por cento de itens como luminárias de LED, ônibus elétricos, caminhões a biocombustíveis, sistemas fotovoltaicos e eólicos, refrigeração eficiente, armazenamento por baterias e hidrogênio, entre outros, com estrutura de juros e prazos definidos por modalidade. Esse movimento ampliou o leque de bens financiáveis e tornou economicamente viável o empacotamento de soluções completas, como a conversão elétrica de corredores de transporte com infraestrutura de recarga e telemetria, ou a combinação de geração distribuída com retrofit de sistemas de ar condicionado em edifícios públicos.

O uso do Fundo em mobilidade elétrica urbana já apresenta casos que ajudam a calibrar cronogramas e governança. Em dezembro de 2024, por exemplo, foi aprovado financiamento de 380 milhões de reais para Curitiba adquirir cinquenta e quatro ônibus

111 https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202503/nordeste-e-regiao-que-mais-avanca-na-aprovacao-de-projetos-de-transicao-energetica

elétricos a bateria e implantar dois eletropostos, operação com recursos do Fundo Clima inserida no eixo de cidades sustentáveis do programa federal de investimentos. Em paralelo, a capital paulista obteve, no mesmo mês, aprovação para aquisição de oitenta e sete ônibus elétricos por intermédio de empresa operadora, combinando 49,8 milhões de reais do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço e 45 milhões de reais do Fundo Clima, ilustrando arranjos de cofinanciamento e de partilha de risco entre fontes. Tais operações sugerem que estados e municípios podem desenhar projetos com diferentes papéis de tomador e de executor, usando concessões e contratos de operação para alavancar a difusão tecnológica de frotas com financiamento de longo prazo.

Do lado da indústria e da cadeia de suprimentos, a regulação do Programa Mobilidade Verde e Inovação, promulgada em abril de 2025, alinhou a política industrial ao esforço de descarbonização, definindo parâmetros de eficiência energética, reciclabilidade e segurança que incidem sobre produtos e processos. Embora se trate de política industrial federal, a compatibilidade entre critérios de eficiência e linhas de financiamento climático facilita a construção de compras públicas sustentáveis e de exigências técnicas em editais de mobilidade e logística estaduais, reduzindo risco tecnológico e ampliando a oferta de fornecedores conformes.

A perspectiva de financiamento também evoluiu para instrumentos catalíticos que dialogam com risco cambial e atração de capital privado. O Programa Eco Invest Brasil consolidou um desenho em quatro sublinhas, com leilões públicos para alocação de capital catalítico e proteção cambial. O primeiro leilão de restauração e reflorestamento, realizado em 2024 pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), em parceria com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e com apoio técnico da Plataforma Mercados da Sociobiodiversidade e Restauração, que integra o programa Floresta+**,** dentro da Agenda de Economia Verde do governo federal. teve um volume financeiro menor, mas foi considerado um marco na estruturação do mercado. Ele movimentou R$ 410 milhões em demanda contratada e mobilizou cerca de R$ 1,7 bilhão em compromissos potenciais de investimento, com a meta de restaurar 230 mil hectares de vegetação nativa.

Esse primeiro leilão da sublinha de financiamento parcial foi homologado com manual operacional e regras definidas por portarias do Tesouro Nacional para padronizar os procedimentos; em 2025, o segundo leilão já registrou demanda bem superior de 17,3 bilhões de reais em capital catalítico com potencial de destravar 31,4 bilhões de reais em investimentos totais em recuperação de áreas degradadas, além de ampliar o engajamento do setor bancário e a participação de novas instituições. Para projetos de energia e mobilidade com conteúdo importado, a possibilidade de combinar

hedge de longo prazo via Eco Invest com linhas do Fundo Clima e, quando aplicável, com debêntures de infraestrutura, reduz o descasamento de prazos de proteção e melhora o índice de cobertura do serviço da dívida.

A operação recente do Fundo reflete um padrão de portfólio multissetorial que reforça a viabilidade de carteiras estaduais integradas. Entre abril e outubro de 2024, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social aprovou 7,3 bilhões de reais em operações do Fundo Clima, abrangendo energia eólica, solar e biogás, mobilidade urbana, eletrificação de frota, veículos leves sobre trilhos, indústria verde e florestas nativas. Ao mesmo tempo, o plano anual de 2025 elevou a previsão de investimentos para 11,2 bilhões de reais, cobrindo, entre outras, logística de transporte e mobilidade verdes, transição energética, desenvolvimento urbano resiliente, florestas nativas e recursos hídricos e serviços e inovação verdes. Essa composição indica que combinações de mitigação setorial com adaptação e resiliência encontram canal de crédito disponível, desde que as propostas estejam tecnicamente maduras e alinhadas aos eixos do plano anual.

Para apoiar decisões de desenho e priorização, a tabela a seguir sintetiza parâmetros observados em operações e normativos recentes que são diretamente aplicáveis a projetos estaduais.

Tabela 7.1-A Parâmetros observados em operações e normativos pertinentes a energia e mobilidade

DIMENSÃO	EVIDÊNCIA RECENTE	IMPLICAÇÃO PARA DESENHO DE PROJETO
Escala regional de aprovações	Nordeste com 1,8 bilhão de reais aprovados em 2024 e crescimento proporcional mais alto; adição aproximada de 450 megawatts em eólica e solar	Priorizar carteiras setoriais em lotes para aproveitar limite ampliado e prazos longos, com pacotes de geração distribuída, mobilidade elétrica e recursos hídricos.
Prazos e limites	Prazos até 25 anos em mobilidade e recursos hídricos e até 24 anos para eólica; limite temporariamente mais alto por cliente em Norte e Nordeste no canal automático	Estruturar operações com amortização longa e período de carência compatível; empacotar múltiplos subprojetos sob um mesmo contrato para ganhar escala.
Itens financiáveis e custo	Financiamento de até 100% para itens elegíveis como ônibus elétricos, LED, sistemas fotovoltaicos e armazenamento, com estrutura de juros por modalidade	Compor escopos completos de intervenção (frota, recarga, telemetria, retrofit) e modelar retorno energético e operacional com base em custos totais financiáveis.
Arranjos de cofinanciamento	Operações combinando Fundo Clima com Fundo de Garantia do Tempo de Serviço e com programas setoriais de investimentos federais	Mapear complementação de fontes e organizar governança financeira com contas vinculadas e cessão fiduciária de recebíveis por contrato.

DIMENSÃO	EVIDÊNCIA RECENTE	IMPLICAÇÃO PARA DESENHO DE PROJETO
Catalisadores de capital e hedge	Leilões Eco Invest com regras padronizadas e forte demanda; potencial de alavancar investimentos e reduzir prêmio de risco cambial	Incluir proteção cambial ex ante em projetos com conteúdo importado e combinar capital catalítico com crédito de longo prazo para reduzir custo médio ponderado de capital.

Fonte: elaboração própria.

Para além de parâmetros financeiros, há componentes institucionais e regulatórios que condicionam o sucesso. A política industrial para mobilidade verde, regulamentada em 2025, gera previsibilidade tecnológica para fornecedores e sinaliza critérios de eficiência e reciclabilidade a serem incorporados em especificações de compras públicas.

Do lado do sistema elétrico, ainda que a previsão de crescimento de carga para 2025 tenha sido revisada para 1,9% por fatores conjunturais, a expansão da oferta renovável no Nordeste permanece estratégica, tanto pelo fator de capacidade das fontes eólica e solar quanto pela complementaridade com soluções de armazenamento e redes inteligentes, que são itens financiáveis no escopo do Fundo. O dado de carga não invalida a necessidade de modernização de redes e de gestão de demanda, mas recomenda que estudos de viabilidade considerem cenários conservadores para expansão de consumo no curto prazo.

Do ponto de vista de mensuração e verificação, os estudos de caso sugerem três práticas úteis para replicação. Primeiro, em mobilidade elétrica, é recomendável fixar indicadores vinculados ao desembolso que combinem passageiro-quilômetro descarbonizado, disponibilidade de frota e métricas de qualidade do ar em corredores, com verificação por telemetria e rede de monitoramento ambiental, em linha com o cronograma nacional de padrões intermediários. Segundo, em energia, a estruturação de projetos deve incluir fronteiras de medição claras por uso final, curvas de carga diligenciadas e integração com dados de distribuição para avaliar perdas evitadas e qualidade de tensão, aproveitando o financiamento de modernização de redes e armazenamento. Terceiro, em água e recursos hídricos, quando for o caso, recomenda-se alinhar indicadores e fontes ao sistema nacional de informações, que se tornou referência desde 2024 para fins de verificação anual de resultados, evitando estruturas paralelas e elevando a credibilidade dos dados.

Por fim, a experiência recente mostra que a combinação de linhas reembolsáveis do Fundo, instrumentos catalíticos e política industrial cria um triângulo favorável à execução acelerada de programas estaduais. O estado que estrutura um

pipeline com projetos maduros, parâmetros financeiros aderentes, proteção cambial quando necessário e trilha de auditoria em dados abertos tende a reduzir tempo de análise de crédito e custo de transação, além de melhorar a aceitação por verificadores externos e conselhos de financiadores. Em termos práticos, carteiras integradas de mobilidade elétrica metropolitana, geração distribuída com armazenamento em prédios públicos, modernização de iluminação e redução de perdas de água são as candidatas naturais a aproveitar a janela de prazos longos, limites ampliados e cofinanciamento, enquanto operações de recursos hídricos e resiliência costeira podem ancorar componentes de adaptação em prazos compatíveis e métricas auditáveis.

8.2. REFLORESTAMENTO COM ESTRUTURAÇÃO FINANCEIRA HÍBRIDA E CONTRATOS DE COMPRA FUTURA

A experiência recente no Brasil indica três vias de financiamento para projetos de restauração florestal com geração de créditos de carbono: (i) operações reembolsáveis lastreadas em programas públicos de crédito climático com prazos longos, (ii) estruturas híbridas que combinam dívida concessionária, garantias privadas e receitas futuras de créditos, e (iii) contratos de compra futura de créditos (em inglês, *Emission Reductions Purchase Agreements*, ERPA) que ancoram a receita e reduzem risco de mercado. Em conjunto, essas vias têm permitido acelerar plantios e manejo de regeneração natural assistida, diversificar fontes e tornar bancáveis ativos cuja maturação operacional é plurianual.

No eixo reembolsável, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, operado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, vem participando de operações de restauração em múltiplos biomas, algumas delas inovando em rotulagem de biodiversidade e na combinação com garantias privadas. Em maio de 2025, a re.green, empresa brasileira de restauração florestal e soluções baseadas na natureza, fundada em 2021, que atua na recuperação de ecossistemas nativos em larga escala e na geração de créditos de carbono de alta integridade. anunciou o recebimento de 80 milhões de reais do Fundo Clima para atividades em Mata Atlântica e Amazônia, em operação estruturada com garantia do Bradesco e selo de biodiversidade classificado como "*Dark Green*" pela S&P Global Ratings, o que evidencia a convergência entre due diligence ambiental e crédito climático de longo prazo. O anúncio público descreve a primeira aplicação de rotulagem de biodiversidade em projeto de restauração no país e a integração com o programa Arco da Restauração do banco de fomento.

A lógica de estruturas híbridas se fortaleceu com iniciativas que combinam capital catalítico, crédito e *offtakes*. Em abril de 2025, a Mombak, empresa brasileira de

remoção de carbono e reflorestamento em larga escala, com foco na restauração da Amazônia por meio de projetos de reflorestamento nativo e geração de créditos de carbono de alta qualidade, informou ter fechado 100 milhões de reais com Santander Brasil e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, tornando-se o primeiro projeto de reflorestamento apoiado pelo "novo" Fundo Clima; a empresa reporta carteira de contratos de compra com corporates globais e meta de oito milhões de árvores plantadas até junho de 2025, sinalizando uso de contratos de longo prazo como âncoras para o financiamento. A cobertura da Reuters registra ainda a expectativa de multiplicar por três ou quatro os 150 milhões de dólares já contratados em carbono, o que reforça o papel do ERPA na redução de risco de demanda.

Um terceiro vetor é a criação de plataformas setoriais que alinham demanda privada por créditos de restauração, financiamento de capital e instrumentos públicos. Em março de 2025, a Petrobras e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social anunciaram o programa ProFloresta+, que prevê chamadas para compra de créditos de restauração e oferta de crédito de longo prazo aos vencedores, com um piloto de 450 milhões de reais para reflorestar cerca de 15 mil hectares e a intenção de firmar contratos de longo prazo com até 15 empresas. A Reuters detalha o modelo de leilão com benchmark de preço e o papel da estatal como compradora âncora, além do crédito do banco de fomento, compondo um arranjo de "*blended finance*" (finanças combinadas) orientado a escala.

No plano jurisdicional, os contratos de compra futura têm sido utilizados em acordos com governos estaduais, sob padrões de certificação em escala de jurisdição. Em setembro de 2024, o estado do Pará anunciou acordo estimado em 180 milhões de dólares com a iniciativa internacional que agrega compradores corporativos para conservação florestal em larga escala, na primeira operação deste tipo na Amazônia[112]; reportagens e comunicados oficiais descrevem o uso do padrão jurisdicional e a negociação de compra condicionada à emissão e transferência de créditos elegíveis. Embora haja desdobramentos institucionais relevantes, como a necessidade de consultas prévias e de revisões por órgãos de controle, o caso fornece parâmetros de governança e de preço de referência para programas estaduais.

Para orientar a estruturação estadual, a tabela a seguir sintetiza elementos de desenho observados em operações recentes, com implicações práticas para bancabilidade e execução.

---

112 https://www.cnbc.com/2024/09/24/firms-including-amazon-to-buy-180-million-in-carbon-credits-from-namesake-rainforest.html

Tabela 7.2-A Estruturas de financiamento em restauração: características e lições de desenho

ESTRUTURA	ELEMENTOS FINANCEIROS E CONTRATUAIS	MÉTRICAS E SALVAGUARDAS OBSERVADAS	EVIDÊNCIAS E IMPLICAÇÕES
Crédito reembolsável do Fundo Clima com garantia privada e rotulagem temática	Empréstimo de longo prazo com garantia de banco comercial; rotulagem de biodiversidade por agência de rating; integração a programa setorial do banco de fomento	Metas de hectares, sobrevivência e cronogramas de plantio; salvaguardas socioambientais e trilha de auditoria; eventual geração de créditos "*upside*" (créditos de valorização futura)	Caso re.green: 80 milhões de reais; primeiro selo "*Dark Green*" em restauração; combinação de due diligence ambiental e crédito climático. Sinaliza caminho para operações similares em biomas secos e cidades.
Híbrida com dívida concessionária, banco comercial e ERPA corporativo	Dívida de longo prazo com banco público e comercial; ERPA com compradores globais como âncora de receita; garantias reforçadas	Indicadores de plantio e restauração; contratos de compra com *milestones* e critérios de integridade; verificação independente	Caso Mombak: 100 milhões de reais; carteira de contratos com empresas multinacionais; Reuters registra intenção de triplicar ou quadruplicar contratos de carbono em 2025. Mostra o papel do ERPA no de-risking.
Plataforma setorial com comprador âncora e crédito público	Chamadas públicas para créditos de restauração; benchmark de preço; concessão de financiamento aos vencedores; contratos de longo prazo	Critérios de elegibilidade técnica, adicionalidade e verificação; marcos de entrega de créditos; governança público-privada	ProFloresta+ Petrobras–Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social: 450 milhões de reais no piloto para ~15 mil ha; intenção de até 15 contratos. Indica escala e padronização de *offtake*.
ERPA jurisdicional com governo estadual	Acordo de compra condicionado à emissão sob padrão jurisdicional; pagamentos por resultados; cláusulas de repartição de benefícios	Requisitos de salvaguardas, consulta prévia e transparência; validação e verificação por terceira parte; registro público	Pará–LEAF: acordo de 180 milhões de dólares; primeiro na Amazônia; levou a aprofundamento de consultas e revisões por órgãos de controle. Relevante para estados que buscam receitas jurisdicionais.

Fonte: elaboração própria

Esses exemplos oferecem lições úteis para contextos fora da Amazônia, inclusive em biomas secos. Em restauração de caatinga e em corredores ecológicos

urbanos, a combinação de dívida do Fundo Clima, garantias privadas e ERPA com compradores corporativos interessados em créditos de alta integridade pode viabilizar plantios nativos e manejo de regeneração com cronogramas compatíveis às janelas de desembolso. Quando houver intenção de acessar rotas jurisdicionais no futuro, convém ordenar previamente direitos, repartição de benefícios e salvaguardas, uma vez que acordos de compra em escala de jurisdição exigem demonstração de titularidade e processos de consulta robustos, como evidenciado pelos desdobramentos do caso paraense[113] .

A formatação financeira precisa refletir a curva de caixa de projetos de restauração. Desembolsos de capital se concentram nos primeiros dois a três anos com plantio e infraestrutura; receitas de créditos tendem a iniciar a partir do segundo ou terceiro ano e escalam conforme a verificação de crescimento e sobrevivência. Em estruturas híbridas, o ERPA pode ser usado para travar um preço mínimo, reduzir volatilidade e oferecer colateral indireto ao financiador. Em plataformas setoriais, o leilão para compra de créditos e o crédito associado funcionam como sinal de preço e como redução de risco de execução.

O aprendizado do ProFloresta+ é particularmente útil: a presença do comprador âncora com edital público e regras de elegibilidade, associada ao crédito do banco de fomento, permite ao proponente precificar custos, ajustar espécies e técnicas de plantio e planejar verificação com antecedência.

Para a integridade climática e a aceitação de créditos por compradores institucionais, dois requisitos são centrais: metodologias aceitas e verificação independente. Operações corporativas e jurisdicionais recentemente anunciadas no Brasil têm utilizado padrões reconhecidos internacionalmente e aderido a critérios de integridade em evolução, o que facilita a distribuição dos créditos a compradores com políticas de sustentabilidade rigorosas.

Ao desenhar projetos estaduais, é prudente enquadrar desde o início os indicadores de adicionalidade, permanência e risco de reversão, prever buffers e processos de monitoramento com sensoriamento remoto e parcelas permanentes, bem como critérios de repartição de benefícios com comunidades. A experiência paraense indica que o calendário de consultas e a documentação de engajamento social são críticos para a robustez do arranjo jurídico e para a resiliência a contestações.

[113]https://www.qcintel.com/carbon/article/brazil-prosecutors-to-review-para-redd-deal-suspend-april-ruling-41705.html

Por fim, vale observar a crescente coordenação entre plataformas de investimento em natureza e fundos multilaterais. Em novembro de 2024 foi lançada, com apoio de atores públicos e privados, a *Brazil Restoration & Bioeconomy Finance Coalition*, com meta agregada de mobilizar pelo menos 10 bilhões de dólares até 2030, visando conservar e restaurar cinco milhões de hectares e investir 500 milhões de dólares em iniciativas para povos indígenas e comunidades locais.

Em setembro de 2025, o Governo Federal anunciou aporte de 1 bilhão de dólares a um novo fundo multilateral de florestas tropicais, concebido como endowment para pagamentos anuais por conservação. Essa conjuntura amplia o cardápio de cofinanciamento e cria sinergias entre ERPA, crédito de longo prazo e capital filantrópico, favorecendo arranjos de "*blended finance*" (finanças combinadas) para restauração também fora da Amazônia.

Com essas peças, o roteiro operacional para estados que desejem estruturar projetos de restauração bancáveis envolve: seleção de áreas com titularidade clara e baixo risco fundiário; desenho técnico com metas de sobrevivência, mix de espécies e plano de monitoramento auditável; definição da estratégia de receita, seja por ERPA corporativo, plataforma setorial ou, quando couber, rota jurisdicional; montagem do pacote financeiro combinando Fundo Clima, garantias, eventuais debêntures de infraestrutura e instrumentos de *hedge* quando houver insumos dolarizados; e governança de dados e salvaguardas em linha com padrões multilaterais.

9. PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO E CRONOGRAMA

Este Capítulo organiza a execução em marcos temporais e entregas verificáveis, conectando a carteira priorizada às janelas de financiamento, às exigências de medição e verificação e aos marcos de contratação pública. A proposta adota horizonte de vinte e quatro meses contados do mês subsequente à aprovação deste relatório, com revisões semestrais e instrumentos de transparência que permitam auditoria contínua do progresso.

O encadeamento de metas considera três condicionantes externos já consolidados: o Plano Anual de Aplicação do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima aprovado para 2025, que definiu eixos e volumes reembolsáveis com 11,2 bilhões de reais, bem como aplicações não reembolsáveis sob o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; os prazos e limites divulgados nas linhas automáticas do Fundo Clima operadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, inclusive a janela temporária de limite ampliado por cliente em operações com

destinação à Região Nordeste; e a disponibilidade de dados e trilhas de auditoria via Portal Nacional de Contratações Públicas e políticas federais de dados abertos, que viabilizam o acompanhamento independente por meio de interfaces de programação de aplicações.

9.1. METAS SEMESTRAIS DE CAPTAÇÃO E EXECUÇÃO

A cadência semestral articula decisões de preparação de projetos, submissão e enquadramento junto às fontes financeiras, contratualização e início de implantação, assim como verificação de resultados para disparo de desembolsos por marcos.

O princípio orientador é que cada semestre encerre com entregas auditáveis em três camadas: documentação publicada, contratos firmados e indicadores operacionais em linha de base ou em evolução. A publicação deve ocorrer em canais oficiais com dados abertos e metadados, assegurando reprodutibilidade e integridade. A política federal de dados abertos, instituída pelo Decreto n.º 8.777, de 2016 e operacionalizada por órgãos como a Controladoria-Geral da União e o Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos, oferece o padrão a ser espelhado, enquanto o Portal Nacional de Contratações Públicas, além de centralizar editais, contratos e aditivos, passou a recepcionar e exibir a origem dos recursos orçamentários, inclusive de organismos internacionais, com acesso também por interface de programação. Essa infraestrutura deve ser usada como parte do plano, não como etapa paralela, pois reduz custo de compliance e tempo de verificação externa.

O cronograma abaixo considera início em janeiro do próximo exercício (S1) e metas até dezembro do segundo ano (S4). Caso a implementação se inicie em mês distinto, a Tabela 8.1-A deve ser rigidamente “rolada”, mantendo a sequência de dependências técnicas e fiduciárias. Os volumes de submissão ao Fundo Clima nos semestres S1 e S2 exploram a janela de prazos e limites hoje vigente nas linhas automáticas, inclusive o limite ampliado por cliente em operações destinadas a Norte e Nordeste, enquanto os marcos de publicação e contratação seguem o ciclo do Portal Nacional de Contratações Públicas e as rotinas de dados abertos.

Tabela 8.1-A Metas semestrais de captação e execução da carteira climática estadual (horizonte de 24 meses)

SEMESTRE	CAPTAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO FINANCEIRA	PREPARAÇÃO TÉCNICA E REGULATÓRIA	CONTRATAÇÕES, EXECUÇÃO E VERIFICAÇÃO	EVIDÊNCIAS E TRANSPARÊNCIA
S1 (Jan–Jun, Ano 1)	Submissão de cartas-consulta e propostas nas linhas do Fundo Clima em	Conclusão de pré-viabilidade para todos os subprojetos do	Publicação de termos de referência e editais “enxutos e auditáveis” no Portal	Publicação, em dados abertos, do catálogo estadual de indicadores

SEMESTRE	CAPTAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO FINANCEIRA	PREPARAÇÃO TÉCNICA E REGULATÓRIA	CONTRATAÇÕES, EXECUÇÃO E VERIFICAÇÃO	EVIDÊNCIAS E TRANSPARÊNCIA
	transição energética, mobilidade, desenvolvimento urbano resiliente e florestas e recursos hídricos; sondagem de operações com proteção cambial e estruturação de projetos no âmbito do Programa Eco Invest Brasil; avaliação de elegibilidade para eventuais debêntures de infraestrutura em projetos com receita tarifária estável	pipeline; consolidação de indicadores e fontes para desembolsos por resultados nos eixos de saneamento, resíduos e mobilidade; consolidação de requisitos de etiquetagem em edificações públicas conforme Portaria do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia n.º 309/2022	Nacional de Contratações Públicas para estudos, projetos executivos e comissionamento; início de licitações para geração distribuída e retrofit energético em prédios públicos	climáticos e operacionais; painéis públicos com linha de base; dossiês de submissão ao Fundo Clima e atas de comitês de governança financeira disponibilizadas para reprodução por interfaces de programação
S2 (Jul–Dez, Ano 1)	Aprovação de operações automáticas e diretas no Fundo Clima com prazos de até 25 anos para mobilidade e recursos hídricos, até 24 anos para eólica e até 16 anos para demais itens de transição energética; estruturação de chamada ou pipeline para capital catalítico e proteção cambial via Eco Invest	Conclusão de projetos executivos de iluminação pública e perdas de água; obtenção de pareceres de acesso e estudos de conexão para geração distribuída; aprovação de planos de salvaguardas e mecanismos de reclamação por programa	Assinatura de contratos de fornecimento e serviços; mobilização de obras prioritárias; instalação de telemetria em mobilidade e saneamento; contratos de verificação independente em vigor	Publicação de contratos, aditivos e cronogramas no Portal Nacional de Contratações Públicas com indicação da origem dos recursos; liberação do repositório versionado de dados e scripts para indicadores vinculados a desembolso
S3 (Jan–Jun, Ano 2)	Primeira rodada de saque com base em marcos de implementação; negociação de eventual complementação com debêntures de infraestrutura; eventual chamada de não reembolsáveis para restauração e recursos hídricos	Conclusão de comissionamento em edifícios públicos e primeiros parques fotovoltaicos; implantação de distritos de medição e controle em perdas de água; implantação de corredores de ônibus elétrico com infraestrutura de recarga	Verificação de indicadores de implementação e operacionais; medição de kWh por metro quadrado, passageiro-quilômetro e perdas por distrito; auditoria independente com asseguração limitada sobre as séries de dados	Painéis de resultados semestrais com microdados via interface de programação, dicionário de dados e trilha de auditoria; notas técnicas de verificação e pareceres publicados em transparência ativa
S4 (Jul–Dez,	Segunda rodada de	Consolidação de	Operação contínua	Relatório anual de

SEMESTRE	CAPTAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO FINANCEIRA	PREPARAÇÃO TÉCNICA E REGULATÓRIA	CONTRATAÇÕES, EXECUÇÃO E VERIFICAÇÃO	EVIDÊNCIAS E TRANSPARÊNCIA
Ano 2)	saque por resultados; avaliação de alongamento e reprecificação quando cabível; eventual acesso a fundos multilaterais para adaptação costeira e segurança hídrica em cofinanciamento	metas finais do ciclo de vinte e quatro meses; revisão de indicadores e de planos de manutenção; preparação de ciclo seguinte com expansão setorial	com metas intermediárias cumpridas; fechamento do ciclo de auditoria; plano de escala aprovado para o próximo biênio	execução e impacto com asseguração independente segundo práticas internacionais; documentação completa no Portal Nacional de Contratações Públicas e portais de dados abertos, com versionamento e chaves de junção

Fonte: elaboração própria

A articulação entre captação e execução depende de premissas temporais que devem permanecer visíveis para os decisores. A primeira premissa é a compatibilidade entre os prazos de financiamento do Fundo Clima e o cronograma de implantação, já que linhas hoje divulgadas oferecem até vinte e cinco anos para mobilidade e recursos hídricos, até vinte e quatro anos para eólica e até dezesseis anos para outros itens de transição energética. A segunda, é a janela temporária de limite ampliado por cliente nas operações automáticas com destinação à Região Nordeste, válida para pedidos protocolados até 30 de julho de 2025, que deve ser integralmente explorada pelos proponentes estaduais com projetos padronizáveis em lote. A terceira, é a integração nativa com o Portal Nacional de Contratações Públicas como repositório oficial de editais, contratos e aditivos, agora com informação da origem dos recursos e acesso automatizado por interface de programação, o que reduz atrito na verificação por financiadores e órgãos de controle.

A estratégia de desembolso por resultados requer um escalonamento consciente dos indicadores. No semestre S2 concluem-se marcos de implementação que habilitam o primeiro saque no S3, usando indicadores de implementação como instalação de distritos de medição e controle, comissionamento de sistemas de medição e verificação e implantação de telemetria de frota. No S3 e no S4, a liberação passa a depender de indicadores operacionais de desempenho e de impacto, como redução de perdas, queda do consumo específico de energia em edifícios e passageiro-quilômetro descarbonizado, com verificações independentes conforme os planos setoriais já delineados no capítulo anterior. Essa lógica encurta o tempo entre a assinatura e a primeira liberação e evita concentrar riscos no fim do ciclo.

Projetos com conteúdo importado, como ônibus elétricos, sistemas de armazenamento e equipamentos de automação e controle, devem trazer desde o S1 a

abordagem de proteção cambial. A regulamentação mais recente do Programa Eco Invest Brasil concluiu a definição de sublinhas, inclusive para participação societária, liquidez e proteção cambial, ampliando a gama de instrumentos elegíveis e o potencial de atrair coinvestidores. A coordenação entre essa plataforma e os derivativos padronizados em bolsa reduz o custo total de proteção e mitiga descasamentos entre o perfil de amortização da dívida e o horizonte de proteção efetiva, condicionando positivamente o índice de cobertura do serviço da dívida projetado.

A governança de dados e transparência é parte integrante do caminho crítico, não um acessório. Como o Portal Nacional de Contratações Públicas já disponibiliza APIs e passou a exigir e exibir a origem dos recursos, e como a política federal de dados abertos define requisitos para publicação de séries com metadados, a agenda estadual deve fixar, no S1, um Plano Estadual de Dados Abertos para a carteira climática. Esse plano deve especificar, por conjunto de dados, a periodicidade, o nível territorial, as chaves de junção e o procedimento de retificação, criando condições para que verificadores externos repliquem os cálculos de indicadores e marcos de desembolso diretamente das fontes oficiais.

O caminho crítico do ciclo de vinte e quatro meses inclui cinco “travessias” que não podem ser comprimidas sem perda de qualidade: a aprovação de estudos e projetos executivos padronizados; a consolidação de indicadores com fronteiras de medição e séries históricas confiáveis; a maturidade de comissionamento e telemetria; a publicação tempestiva de contratos e de microdados em formatos abertos; e a execução de asseguração independente com escopos definidos segundo práticas legais e profissionais. As metas semestrais propostas foram calibradas para acomodar essas travessias e, ao mesmo tempo, tirar proveito das janelas de prazo e limite hoje vigentes no Fundo Clima.

9.2. GESTÃO DE RISCOS E MONITORAMENTO

A governança de riscos da carteira climática precisa integrar, em um mesmo ciclo, identificação estruturada, avaliação probabilística, respostas proporcionais e rotinas de monitoramento baseadas em dados administrativos e operacionais. O objetivo é reduzir a variância de prazos, custos e resultados e, sobretudo, assegurar que os gatilhos de desembolso por resultados permaneçam factíveis mesmo diante de choques regulatórios, de mercado ou operacionais. O arranjo recomendado combina um registro de riscos vivo, indicadores de alerta precoce, planos de resposta padronizados por categoria e um calendário de auditoria interna e asseguração independente que teste, periodicamente, se controles e dados funcionam como previsto.

A identificação inicia com um dicionário de riscos por macrocategoria: riscos estratégicos e de política pública; riscos regulatórios e legais; riscos técnicos e de engenharia; riscos de contratação e integridade; riscos socioambientais; riscos de dados e mensuração; riscos financeiros, cambiais e de taxa de juros; e riscos operacionais de campo. Para cada macrocategoria, as equipes definem subriscos específicos e suas causas raiz. Em projeto de perdas de água, por exemplo, a subcategoria técnica pode incluir falhas de macromedição e de calibração de medidores, enquanto, em mobilidade elétrica, inclui indisponibilidade de peças e atraso em obras de rede de distribuição para recarga.

A avaliação usa uma matriz probabilidade–impacto em escala ordinal de cinco pontos, complementada, quando possível, por quantificação em valores monetários ou em atrasos de cronograma. A exposição ao risco de um item é a combinação P × I, com P e I normalizados entre 0 e 1. Para riscos financeiros, valem métricas específicas: exposição cambial líquida e uma análise de sensibilidade de custo total por faixas de câmbio e juros; para cronograma, buffers de tempo estruturados por caminho crítico, com análise de Monte Carlo quando houver dados suficientes de duração de atividades; para riscos de medição, um componente explícito de incerteza associada às séries e à verificação, com critérios de aceitação reprodutíveis no plano de monitoramento, relato e verificação.

As respostas são classificadas em evitar, reduzir, compartilhar e aceitar. Evitar, implica redesenho de escopo para remover a causa raiz. Reduzir, requer controles preventivos e detectivos, por exemplo, testes de aceitação de equipamentos e comissionamento com amostragem estatística antes da operação. Compartilhar, envolve garantias, seguros e contratos de performance, como seguro-garantia de operação ou contratos de disponibilidade com cláusulas de abatimento por não conformidade. Aceitar, significa manter o risco residual documentado com gatilhos de contingência e reservas de prazo e orçamento compatíveis.

O monitoramento apoia-se em indicadores de alerta precoce com limites de tolerância. Indicadores devem ser calculados a partir de sistemas oficiais e de bases operacionais com metadados e trilha de auditoria. Em eficiência energética, por exemplo, limites de tolerância podem combinar desvio do consumo específico ajustado por clima, atraso em licenças e taxa de não conformidade em inspeções; em resíduos, desvio do modelo de geração de biogás, indisponibilidade dos sistemas de queima e variação atípica na composição de resíduos; em água, variações fora de faixa em balanços de macro e micromedição por distrito de medição e controle.

A seguir, um registro padrão de riscos para a carteira, com variáveis mínimas e medidas correspondentes de resposta e monitoramento.

Tabela 8.2-A Registro de riscos e respostas padronizadas por tipo de projeto

CATEGORIA E RISCO ESPECÍFICO	EFEITO POTENCIAL	INDICADORES E LIMITES DE TOLERÂNCIA	RESPOSTA PLANEJADA	DONO DO RISCO	FONTE DE DADOS E FREQUÊNCIA
Regulação tarifária ou de encargos altera payback de geração distribuída e armazenamento	Redução do benefício líquido e do índice de cobertura do serviço da dívida	Variação acumulada de encargos regulamentares acima de 10% em 12 meses; diferença entre tarifa projetada e efetiva acima de 15%	Redesenho de mix de usos finais; cláusula de reequilíbrio contratual; *hedge* de preço quando houver exposição relevante	Secretaria de Energia ou equivalente	Dados regulatórios e faturas mensais; revisão trimestral
Atraso em aquisições por impugnações e recursos administrativos	Deslocamento do caminho crítico e risco de perda de janela de financiamento	Percentual de lotes com impugnação superior a 20%; tempo médio entre publicação e assinatura acima do P95 da série histórica	Planejamento de licitações com diálogo prévio de mercado; divisão em lotes; uso de minutas padrão; matriz de riscos contratual	Unidade de compras centrais	Portal oficial de contratações; acompanhamento quinzenal
Subdesempenho em projetos de eficiência de edifícios públicos	Não atingimento de meta de economia e de etiqueta	Desvio do consumo específico ajustado por clima acima de 8% por dois trimestres; não conformidade em laudos acima de 10%	Comissionamento reforçado; ajuste de escopo; contrato de performance energeticamente garantido; treinamento de operação e manutenção	Secretaria de Administração	Faturas e submedição; auditoria semestral
Atraso em infraestrutura de recarga para mobilidade elétrica	Indisponibilidade de frota e penalidades contratuais	Disponibilidade de recarga abaixo de 95% por mês; atraso em obras acima de 60 dias	Cronograma integrado com distribuidora; aditivos preventivos; plano B de recarga temporária	Operadora de transporte e Secretaria de Mobilidade	Telemetria e relatórios de obra; acompanhamento semanal
Falhas de	Indicadores	Erro de	Programa de	Companhia	Sistemas de

CATEGORIA E RISCO ESPECÍFICO	EFEITO POTENCIAL	INDICADORES E LIMITES DE TOLERÂNCIA	RESPOSTA PLANEJADA	DONO DO RISCO	FONTE DE DADOS E FREQUÊNCIA
macromediçã o e calibração em perdas de água	imprecisos e desembolsos retidos	calibração acima de 2% em auditorias; divergência macro–micro acima de 5% por trimestre	calibração e manutenção preventiva; auditoria externa de instrumentos; substituição de medidores críticos	de saneamento	supervisão e controle e relatórios técnicos; mensal
Incerteza de medição em resíduos e metano	Sub ou superestimaçã o de dióxido de carbono equivalente evitado	Ausência de séries contínuas de vazão e teor de metano por mais de 5% das horas do mês; falhas de registro acima de 2 dias consecutivos	Redundância de sensores; protocolos de manutenção; reconciliação por balanço de massa; verificação independente	Secretaria de Meio Ambiente	Sistema de aquisição de dados e relatórios operacionais; diário
Risco cambial em equipamento s importados	Aumento de CAPEX e OPEX e piora do serviço da dívida	Desvalorizaç ão acumulada acima de 15% no período de importação; variação de juros externos acima de 200 pontos-base	Derivativos padronizados; proteção via programa público de hedge; cláusulas de reajuste indexadas a índices acordados	Secretaria da Fazenda	Mercado e tesouraria; diário
Risco socioambient al e de consentiment o	Atrasos por contestações e exigências adicionais	Reclamações sem resposta em até 30 dias; indícios de não conformidad e em consulta prévia	Plano de engajamento reforçado; ajustes de desenho; ativação de mecanismos de queixas	Unidade de salvaguarda s	Sistema de ouvidoria e relatórios de campo; mensal
Risco de dados e de verificação	Inconsistência em indicadores e indeferimento de desembolso	Lacunas de metadados; divergências entre bases acima de 3% sem explicação	Padronização de dicionários; trilha de auditoria completa; reprocessamen to transparente	Comitê de MRV	Portais de dados abertos e scripts versionados; mensal

Fonte: elaboração própria

A quantificação monetária dos riscos prioriza a reserva de contingência proporcional à exposição residual. A reserva orçamentária de risco do projeto é a soma dos produtos probabilidade × impacto em valor para os riscos de maior materialidade, ajustada pela correlação entre eventos quando aplicável. Uma aproximação prática para o orçamento de contingência de CAPEX pode ser calcular, para o subconjunto de riscos top 10, a soma dos valores esperados e adicionar um prêmio de correlação de 10 a 20 por cento quando houver dependências conhecidas. Em cronograma, o buffer é dimensionado por caminho crítico com percentis de intervalo de confiança, alocado explicitamente a atividades críticas como licenciamento, compras internacionais e comissionamento.

O monitoramento é sustentado por um painel de alerta com limites de tolerância e rotinas de reporte. O quadro a seguir exemplifica um conjunto mínimo de indicadores e o tratamento quando há violação de limites.

Tabela 8.2-B Painel de alerta e ações de resposta

INDICADOR E FÓRMULA DE CÁLCULO	LIMITE DE TOLERÂNCIA	AÇÃO AUTOMÁTICA	ESCALONAMENTO
Desvio de consumo específico em edifícios públicos, em percentagem ajustada por temperatura e ocupação	Até 5% de desvio trimestral; alerta entre 5 e 8%; ação corretiva acima de 8%	Revisão de operação e manutenção; verificação de medição; plano de ação em 15 dias	Comitê de MRV e unidade de eficiência energética
Disponibilidade de frota elétrica e de pontos de recarga, em percentagem mensal	Abaixo de 95% por mês ou abaixo de 97% por dois meses	Plano de contingência de recarga; substituição temporária de frota; multa contratual se aplicável	Secretaria de Mobilidade e operadora
Índice de perdas na distribuição por distrito de medição e controle, em pontos percentuais	Meta semestral por distrito; alerta para variação positiva acima de 0,5 p.p. no mês	Auditoria de balanços; verificação de calibração; ajuste operacional	Companhia de saneamento e consultoria de apoio
Toneladas de dióxido de carbono equivalente evitadas por destruição de metano, calculadas com dados horários de vazão e teor	Desvio acima de 10% do modelo de referência por três meses	Checagem de sensores; manutenção de sistemas de queima; reconciliação por balanço de massa	Secretaria de Meio Ambiente e operador do aterro
Prazos médios de contratação entre publicação e assinatura, em dias corridos	Acima do percentil 95 da série histórica ou acima de 120 dias	Revisão de lotes; minutas padrão; diálogo com mercado	Unidade de compras e Comitê de Contratações

INDICADOR E FÓRMULA DE CÁLCULO	LIMITE DE TOLERÂNCIA	AÇÃO AUTOMÁTICA	ESCALONAMENTO
Exposição cambial líquida do projeto, em percentagem do CAPEX remanescente	Acima de 20% sem hedge contratado	Acionamento de proteção; reprecificação financeira	Secretaria da Fazenda e agente financeiro

Fonte: elaboração própria

A linha de defesa em dados e verificação depende de três elementos operacionais. O primeiro elemento abrange dicionários de dados e chaves de junção para todas as séries usadas em indicadores e desembolsos. O segundo, repositórios versionados de scripts de cálculo, permitindo que verificadores reproduzam resultados a partir das mesmas fontes que alimentam os painéis públicos. O terceiro, trilhas de auditoria que liguem evidências físicas e documentais a cada número reportado. A padronização dessas peças reduz custo de asseguração independente e aumenta a previsibilidade de liberações por resultados.

A auditoria interna e a asseguração independente funcionam como teste de estresse dos controles. O plano anual de auditoria deve combinar testes de desenho e de efetividade de controles em contratações e execução financeira, e testes substantivos sobre indicadores críticos de desembolso. Quando apropriado, contrata-se asseguração limitada ou razoável sobre relatórios de resultados, em conformidade com padrões profissionais aceitos, com escopo e materialidade definidos e cronograma coordenado aos marcos de liberação financeira. Em paralelo, um mecanismo de queixas acessível e monitorado fecha o ciclo de integridade e conformidade socioambiental.

A gestão adaptativa é parte do ciclo. As metas e os limites de tolerância são revisados anualmente, com base em evidências de execução e em mudanças regulatórias e de mercado. Em geração distribuída, por exemplo, revisões de encargos e regras de compensação podem exigir reparametrização de metas e reequilíbrio contratual; em mobilidade, a curva de aprendizagem de operação de frotas elétricas pode justificar ajustes de disponibilidade alvo ao longo do primeiro ano; em saneamento, a maturação de distritos de medição e controle permite metas crescentes apenas após estabilização das rotinas de macromedição e manutenção.

Para assegurar coerência com o cronograma do Capítulo 8, a implementação do arranjo de riscos e monitoramento precisa seguir o mesmo horizonte de vinte e quatro meses, com entregáveis claros em cada semestre: no semestre inicial, o manual de gestão de riscos, o registro de riscos preenchido, os dicionários de dados e o desenho do painel; no segundo semestre, o painel em operação com integração a fontes oficiais e

primeiras auditorias internas; no terceiro, a primeira rodada de asseguração independente sobre indicadores de implementação; no quarto, a asseguração sobre indicadores de desempenho e impacto, com recomendações incorporadas ao plano do ciclo seguinte.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório consolidou um panorama abrangente das alternativas de financiamento climático disponíveis ao Estado de Sergipe, alinhando marcos nacionais e internacionais, instrumentos financeiros e requisitos técnicos para a execução do Plano Estadual de Mudanças Climáticas, instituído pela Lei nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024. A análise demonstrou que o ecossistema brasileiro de finanças climáticas — composto pelo Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, o arcabouço soberano de títulos sustentáveis, o Programa Eco Invest Brasil e as linhas de crédito multilaterais — oferece uma base sólida e integrada para viabilizar projetos de mitigação e adaptação no território sergipano.

O estudo evidenciou que Sergipe dispõe de condições institucionais e regulatórias favoráveis para estruturar uma carteira de investimentos climáticos compatível com os critérios de elegibilidade, transparência e mensuração exigidos por financiadores públicos e privados. A articulação entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), a Agência de Fomento Desenvolve-SE e o Conselho Estadual de Meio Ambiente cria um núcleo de governança apto a coordenar o pipeline de projetos, padronizar dossiês e consolidar indicadores auditáveis.

A consolidação de rotas de captação e execução — combinando operações reembolsáveis e não reembolsáveis, mecanismos de *blended finance* (finanças combinadas), garantias, contas vinculadas e proteção cambial — constitui um passo decisivo para transformar o Plano em carteira financiável, capaz de acessar tanto o crédito climático nacional quanto os fluxos de cooperação internacional.

Como próximos passos, recomenda-se:

(i) a institucionalização do Comitê Estadual de Finanças Sustentáveis, responsável por coordenar captação, governança de dados e integridade socioambiental;

(ii) a submissão imediata de propostas ao Fundo Clima e às chamadas do Eco Invest Brasil, aproveitando a janela ampliada para a Região Nordeste até julho de 2025;

(iii) a preparação de notas-conceito para o Fundo Verde para o Clima e o Fundo Global para o Meio Ambiente, ancoradas em projetos de restauração, saneamento resiliente e adaptação costeira; e

(iv) a criação de um Portal Estadual de Transparência Climática com dados abertos, indicadores de resultado e relatórios de verificação acessíveis a financiadores e sociedade civil.

Com a implementação dessas etapas, Sergipe consolida sua posição entre os estados pioneiros em alinhar planejamento climático, financiamento estruturado e governança transparente — transformando compromissos ambientais em oportunidades concretas de desenvolvimento sustentável e inclusão socioeconômica.

11. REFERÊNCIAS

Esta seção reúne as principais fontes normativas, técnicas e institucionais utilizadas na elaboração do Produto 5.1. A organização prioriza clareza e rastreabilidade, agrupando as referências por temática para facilitar a verificação e o reuso em futuras rodadas de captação, preparação de projetos e auditorias. As datas indicadas correspondem, quando disponíveis, ao ano de publicação do documento citado.

11.1. MARCOS LEGAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS NO BRASIL

- Ministério da Fazenda. 2024–2025. Programa de Títulos Soberanos Sustentáveis do Brasil. Notas técnicas, relatórios pré e pós-emissão e documentos de governança do arcabouço soberano.
- Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos. 2021–2025. Lei n.º 14.133 e documentação do Portal Nacional de Contratações Públicas, incluindo guias, APIs e painéis.
- Controladoria-Geral da União. 2012–2025. Lei de Acesso à Informação e Política de Dados Abertos, manuais e orientações para transparência ativa e dados abertos.
- Ministério das Cidades. 2024–2025. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico, manuais de reporte, módulos e notas técnicas de auditoria de dados.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2024. Resolução n.º 506, padrões nacionais de qualidade do ar e cronograma de adoção de padrões intermediários.
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. 2022. Portaria n.º 309, requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem para edificações.

- Conselho Monetário Nacional e Tesouro Nacional. 2024–2025. Marco regulatório do Programa Eco Invest Brasil, portarias operacionais e manuais de leilões.
- Presidência da República. 2024. Lei n.º 9.364 do Estado de Sergipe e documentos correlatos do Plano Estadual de Mudança do Clima.
- Congresso Nacional. 2024. Lei n.º 14.801, Debêntures de Infraestrutura, e regulamentação setorial subsequente.
- Programas e linhas de financiamento nacionais
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2024–2025. Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, eixos, modalidades direta e indireta, prazos e itens financiáveis, estatísticas de aprovações regionais.
- B3. 2024–2025. Contratos futuros de dólar e cupom cambial, especificações e guias de gestão de risco.
- Superintendência de Seguros Privados. 2022–2025. Circular n.º 662 e manuais operacionais de seguro-garantia aplicável a contratos públicos e project finance.
- Bancos multilaterais, políticas e instrumentos por resultados
- Banco Mundial. 2019–2025. Programa-por-Resultados, diretrizes de indicadores vinculados a desembolso, avaliação fiduciária de sistemas do tomador e marcos de verificação.
- Banco Interamericano de Desenvolvimento. 2021–2025. Marco de Política Ambiental e Social e documentação de operações programáticas e por resultados.
- Banco Europeu de Investimento. 2021–2025. Padrões ambientais e sociais aplicáveis a operações diretas e intermediadas e guias de sustentabilidade.
- Fundos climáticos e cooperação internacional
- Fundo Verde para o Clima. 2019–2025. Políticas, entidades acreditadas no Brasil, modalidades de preparação, aprovação simplificada e projeto de pagamentos por resultados Floresta+ Amazônia.
- Fundo Global para o Meio Ambiente. 2022–2025. Portfólio GEF-8 no Brasil, programas nacionais e regionais, com ênfase em paisagens sustentáveis.
- Fundos de Investimento Climático. 2024–2025. Programas setoriais de energia e natureza em execução no Brasil, documentação institucional e notas do ponto focal nacional.
- Agências de cooperação bilateral. 2012–2025. Programas de pagamentos por resultados e apoio a políticas florestais em estados brasileiros, relatórios de acompanhamento e lições de desenho.
- Integridade de mercado, padrões e jurisdição florestal
- Conselho de Integridade para o Mercado Voluntário de Carbono. 2023–2025. Princípios Básicos de Carbono e pareceres de elegibilidade programática.
- Architecture for REDD+ Transactions. 2024–2025. Padrão jurisdicional,

requisitos de medição, validação, verificação e registros públicos.

- Coalizões de compradores de créditos jurisdicionais. 2024–2025. Acordos de compra condicionados a emissão jurisdicional, documentos de governança e consultas públicas.
- Benchmarks e reportes de validação
- Agência de Governo Federal e comunicados oficiais. 2024–2025. Estatísticas de aprovações do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, distribuição regional e prazos por eixo.
- Reuters. 2024–2025. Operações de restauração florestal com estrutura financeira híbrida, contratos de compra futura e plataformas setoriais.
- Comunicados corporativos e de bancos públicos. 2024–2025. Casos de mobilidade elétrica urbana, reflorestamento com rotulagem temática e programas setoriais como ProFloresta+.
- Normas de asseguração e auditoria
- International Auditing and Assurance Standards Board. 2013–2020. ISAE 3000 revisado e ISAE 3410 para asseguração de relatórios não financeiros e de gases de efeito estufa.
- Tribunal de Contas da União. 2020. Referencial básico de governança, gestão de riscos e controles internos no setor público.

Observações de uso das fontes

As referências listadas foram utilizadas para: i) verificar elegibilidade, prazos e itens financiáveis em linhas nacionais; ii) estabelecer indicadores vinculados a desembolso e requisitos de verificação; iii) definir salvaguardas socioambientais e mecanismos de queixas; iv) mapear gateways multilaterais e entidades acreditadas; v) validar parâmetros de risco cambial, garantias e contas vinculadas; vi) ilustrar estruturas financeiras híbridas e a função de contratos de compra futura.

12. BIBLIOGRAFIA SELECIONADA

Legislação e normas brasileiras

- Brasil. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Institui a nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos.
- Brasil. Decreto nº 8.777, de 11 de maio de 2016. Institui a Política de Dados Abertos no âmbito do Poder Executivo federal.
- Brasil. Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Lei de Acesso à Informação.
- Brasil. Lei nº 14.801, de 10 de janeiro de 2024. Institui as Debêntures de Infraestrutura.
- Brasil. Lei nº 12.431, de 24 de junho de 2011. Dispõe sobre debêntures incentivadas e outras providências.

- Brasil. Conselho Monetário Nacional. Resoluções e atos normativos do Programa Eco Invest Brasil (2024–2025).
- Brasil. Superintendência de Seguros Privados. Circular SUSEP nº 662, de 12 de março de 2022. Dispõe sobre o seguro-garantia.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 506, de 3 de outubro de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e cronograma de adoção.
- Brasil. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria Inmetro nº 309, de 16 de setembro de 2022. Requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem para edificações.
- Estado de Sergipe. Lei nº 9.364, de 28 de dezembro de 2024. Institui o Plano Estadual de Mudança do Clima e dispõe sobre prioridades setoriais.
- Estado de Sergipe. Decreto nº 1.016, de 2025. Regulamenta dispositivos da Lei nº 9.364/2024.
- Brasil. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- Transparência, contratação pública e dados oficiais
- Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos. Portal Nacional de Contratações Públicas (PNCP). Documentação técnica, guias, painéis e APIs (2023–2025).
- Controladoria-Geral da União. Lei de Acesso à Informação: guias de transparência ativa e passiva; Política de Dados Abertos; Portal de Dados Abertos (2016–2025).
- Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA): manuais, módulos de reporte e notas técnicas (2024–2025).
- Financiamento climático nacional
- Ministério da Fazenda; Tesouro Nacional. Arcabouço de Títulos Soberanos Sustentáveis do Brasil: relatórios pré e pós-emissão, notas metodológicas e governança (2023–2025).
- Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; BNDES. Fundo Nacional sobre Mudança do Clima: Plano Anual de Aplicação 2025; eixos e linhas reembolsáveis e não reembolsáveis (2024–2025).
- BNDES. Comunicados e estatísticas de aprovações do Fundo Clima por eixo e por região (2024–2025).
- Tesouro Nacional. Programa Eco Invest Brasil: legislação, portarias e manuais operacionais de leilões (2024–2025).
- B3 – Brasil, Bolsa, Balcão. Especificações de contratos futuros de dólar e cupom cambial; materiais de gestão de risco (2024–2025).
- Bancos multilaterais, padrões de salvaguardas e instrumentos por resultados

- Banco Mundial. Environmental and Social Framework (ESF). Washington, DC, 2018.
- Banco Mundial. Pr*ogram-for-Results Financing Policy e Guidance on Disbursement-Linked Indicators* (2019–2025).
- Banco Interamericano de Desenvolvimento. Environmental and Social Policy Framework (ESPF). Washington, DC, 2020.
- Banco Europeu de Investimento. *Environmental and Social Standards e Sustainability Lending Framework* (2021–2024).
- Fundo Verde para o Clima (GCF). *Policies and standards: Indigenous Peoples Policy; Results-based Payments guidance; Accredited entities* portfolio no Brasil (2018–2025).
- Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF). *Programming directions* GEF-8 e Brasil: portfólio e documentos de projeto (2022–2025).
- Climate Investment Funds (CIF). *Program documents e country engagement* no Brasil (2024–2025).
- Mercado de carbono, integridade e padrões jurisdicionais
- *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM). Core Carbon Principles e Program-level Assessment Framework* (2023–2025).
- *Architecture for REDD+ Transactions (ART). TREES Standard, validation e verification requirements; registry and program updates* (2023–2025).
- Verra. Atualizações de metodologias de reflorestamento e revegetação (VM0047) e documentos de elegibilidade programática (2023–2025).
- LEAF Coalition. Documentos de governança, chamadas e anúncios de acordos jurisdicionais no Brasil (2024–2025).
- Auditoria
- International *Auditing and Assurance Standards Board (IAASB). ISAE 3000 (Revised): Assurance Engagements Other than Audits or Reviews of Historical Financial Information. New York*, 2013.
- *International Auditing and Assurance Standards Board (IAASB). ISAE 3410: Assurance Engagements on Greenhouse Gas Statements*. New York, 2012.
- Tribunal de Contas da União. Referencial básico de governança, gestão de riscos e controles internos no setor público. Brasília, 2020.
- COSO – *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. Internal Control – Integrated Framework*. 2013.
- Políticas setoriais e referências técnicas complementares
- Ministério de Minas e Energia; Agência Nacional de Energia Elétrica. Lei nº 14.300/2022 e normativos correlatos de micro e minigeração distribuída; dados de expansão de GD (2024–2025).
- Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Planaveg/Proveg 2024–2028: diretrizes de restauração e pagamento por serviços ambientais.

- Sistema Interministerial de Informação em Saneamento (SINISA) e seus manuais de auditoria e certificação de dados (2024–2025).
- Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; IBAMA. Normas sobre substâncias e gases industriais (2019–2025).
- Comunicados oficiais e reportagens de validação de casos
- BNDES; re.green. Comunicado de operação de crédito do Fundo Clima com rotulagem temática de biodiversidade “Dark Green” (maio de 2025).
- Reuters. Reportagens sobre Mombak: financiamento híbrido com BNDES e Santander e carteira de contratos de compra de créditos (2025).
- Reuters. Reportagens sobre ProFloresta+ Petrobras–BNDES: leilões de compra de créditos de restauração e oferta de crédito de longo prazo (2025).
- Agência Gov e portais ministeriais. Notas sobre volume de aprovações do Fundo Clima por região e por eixo; prazos e itens financiáveis (2024–2025).
- Governo do Estado do Pará e parceiros. Anúncios e documentos públicos de acordo jurisdicional para compra de reduções de emissões (2024).

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Cliente: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas - SEMAC

Estudo do potencial financeiro dos créditos de carbono e mapeamento de oportunidades
Produto 5.2

Programa Jurisdicional de Carbono Integral do Estado de Sergipe

São Paulo, novembro/2025

SUMÁRIO

1. LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS 4

2. INTRODUÇÃO 9

2.1. APRESENTAÇÃO 9
2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO OBJETIVOS E METODOLOGIA 10
2.3. FUNDAMENTAÇÃO E MARCO GERAL 14
2.4. INSERÇÃO INSTITUCIONAL E VINCULAÇÃO AO PSEV 18
2.5. METODOLOGIA GERAL E FONTES DE DADOS 22
2.6. MODELAGEM BIOFÍSICA E ESTIMATIVA DE SEQUESTRO 24
2.7. ESTRUTURA DO DOCUMENTO 27

3. CONTEXTO INTERNACIONAL E FUNDAMENTOS TEÓRICOS 31

3.1. O ACORDO DE PARIS E A GOVERNANÇA CLIMÁTICA GLOBAL 31
3.2. EVOLUÇÃO DOS MERCADOS DE CARBONO E PADRÕES DE CERTIFICAÇÃO 35
3.3. INTEGRIDADE, ADICIONALIDADE E PERMANÊNCIA 41
3.4. FINANÇAS CLIMÁTICAS E ECONOMIA DO CARBONO 47

4. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL DE SERGIPE 53

4.1. LEI ESTADUAL Nº 9.364, DE 5 DE JANEIRO DE 2024, DO ESTADO DE SERGIPE — POLÍTICA ESTADUAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS 53
4.2. DECRETO ESTADUAL Nº 1.016, DE 2025 – PLANO SERGIPANO DE ECONOMIA VERDE (PSEV) 59
4.3. PROJETO DE LEI DO PROGRAMA DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS E CARBONO INTEGRAL (PEPSACI) 65
4.4. ARTICULAÇÃO COM INSTRUMENTOS FEDERAIS E INTERNACIONAIS 70

5. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL E AMBIENTAL 76

5.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-GEOGRÁFICA E CLIMÁTICA 76
5.2. O BIOMA CAATINGA EM SERGIPE 81
5.3. O ECOSSISTEMA DE MANGUEZAIS 86
5.4. A EXPERIÊNCIA DA SERRA DAS ALMAS (CEARÁ) E AS LIÇÕES PARA SERGIPE 92
5.5. SÍNTESE TERRITORIAL INTEGRADA 97

6. MODELAGEM TÉCNICA DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS 109

6.1. FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS E NORMATIVOS 109
6.2. PARÂMETROS E FÓRMULAS DE ESTIMATIVA 116
6.3. MODELAGEM DA CAATINGA (ARR – AFLORESTAMENTO, REFLORESTAMENTO E REVEGETAÇÃO) 121
6.4. MODELAGEM DOS MANGUEZAIS (REDD+ E BLUE CARBON) 127
6.5. INCERTEZAS, BUFFER E SISTEMA MRV 133

7. MODELAGEM ECONÔMICO-FINANCEIRA 139

7.1. ESTRUTURA DE CUSTOS E FONTES DE FINANCIAMENTO 140

7.2. Precificação e Projeções de Receita 148
7.3. Indicadores Financeiros (VPL, TIR e ROI) 154
7.4. Análise de Sensibilidade e Cenários 159
7.5. Comparativos Internacionais 165

8. MAPEAMENTO DE OPORTUNIDADES E CADEIAS PRODUTIVAS 173

8.1. Zoneamento Climático e Econômico 173
8.2. Integração com Agricultura, Energia, Turismo e Saneamento 179
8.3. Estratégias de Inserção no Mercado de Carbono 188
8.4. Impactos Econômicos Locais e Inclusão Produtiva 195

9. GOVERNANÇA, FUNDO ESTADUAL E SISTEMA MRV 202

9.1. Estrutura Institucional do Programa 202
9.2. Registro Estadual de Créditos (RECA-SE) 207
9.3. Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) 213
9.4. Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) 219

10. RECOMENDAÇÕES ESTRATÉGICAS E PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO . 225

10.1. Diretrizes Normativas e Operacionais 226
10.2. Etapas de Execução e Cronograma 231
10.3. Indicadores de Sucesso e Metas 238
10.4. Síntese dos fundamentos estruturantes 242

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS 245

11.1. Artigos e Relatórios Técnicos 245
11.2. Legislação e Políticas Públicas 249
11.3. Bases de Dados e Fontes Geoespaciais 250

12. APÊNDICES TÉCNICOS 251

1. LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

- AFOLU – Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra. AGB – Biomassa acima do solo (*above-ground biomass*), usada em equações alométricas de ARR.
- AIC – Critério de Informação de Akaike, empregado na seleção de modelos H–D.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. API – Interface de Programação de Aplicações (Application Programming Interface).
- ARR – Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (*Afforestation, Reforestation and Revegetation*).
- ART-TREES – Architecture for REDD+ Transactions – The REDD+ *Environmental Excellence Standard*.
- BDQueimadas – Banco de Dados de Queimadas do INPE (Programa Queimadas).
- BNB – Banco do Nordeste do Brasil (aparece no 5.2 como agente regional em finanças climáticas).
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
- CAPEX / OPEX – Despesa de capital / despesa operacional em projetos do portfólio.
- CAR – Cadastro Ambiental Rural (referência fundiária em processos de validação).
- CEMAC – Conselho Estadual de Mudanças Climáticas. CG-FEAAC – Comitê Gestor do FEAAC
- CIF – Climate Investment Funds (fundos climáticos multilaterais).
- CLPI – Consentimento Livre, Prévio e Informado. COPs – Conferências das Partes da Convenção do Clima.
- CO2e – Dióxido de carbono equivalente.
- COPERNICUS (EMS/EFFIS) – Serviço de Gestão de Emergências/EU Fire Information System (referidos como fontes de perigo/incêndio).
- CORSIA – Carbon *Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (Esquema da OACI para aviação internacional).
- CRTs – *Common Reporting Tables* (tabelas padronizadas de reporte da

UNFCCC).

- CTC-SE – Comitê Técnico-Científico do Estado de Sergipe.
- CT-MRV – Câmara Técnica de MRV e Integridade Ambiental.
- CVM 193 – Resolução da Comissão de Valores Mobiliários sobre reporte de sustentabilidade.
- DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe (citada em arranjos institucionais).
- DETER – Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real do INPE.
- Desenvolve-SE – Agência de fomento/execução financeira do Estado.
- DvP – *Delivery versus Payment* (liquidação com entrega contra pagamento em leilões/mercado).
- EFFIS – European Forest Fire Information System.
  ERPA – Emission Reductions Purchase Agreement (Contrato de compra futura de créditos).
  ESG – Environmental, Social and Governance (critérios de sustentabilidade corporativa).
- ESM – Massa Equivalente de Solo (*Equivalent Soil Mass*).
- ETF – *Enhanced Transparency Framework* (Mecanismo de Transparência Reforçado do Acordo de Paris).
- FEAAC – Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono.
- FSMAC – Fórum Sergipano de Mudanças do Clima.
- GCF – *Green Climate Fund* (Fundo Verde para o Clima).
- GEE – Gases de Efeito Estufa.
- GEF – *Global Environment Facility*.
- GHG – Gases de Efeito Estufa (Greenhouse Gases).
- GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System*).
- *Gold Standard* – Programa de certificação de carbono e impactos.
- *Hyperledger Fabric* – Plataforma de blockchain permissionada.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- ICAO / OACI – *International Civil Aviation Organization* / Organização da Aviação Civil Internacional.

- ICROA – *International Carbon Reduction and Offset Alliance* (referência de mercado).
- ICVCM – *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market*.
- IFRS S2 – Norma internacional de divulgação climática da *IFRS Foundation*.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas *(Intergovernmental Panel on Climate Change*).
- ISO – *International Organization for Standardization* (citado em verificação e metadados/qualidade).
- ISO 14064-3 / 14065 – Normas ISO de verificação/organismos de validação e verificação.
- ISO 19115 / 19157 – Metadados e qualidade de dados geoespaciais.
- ITMOs – Internationally Transferred Mitigation Outcomes (artigo 6).
- ITPS-SE – Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe.
- LEAF – Lowering Emissions by Accelerating Forest Finance (coalizão).
- LECA – Leilão Estadual de Créditos Ambientais.
- LGPD – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais. MapBiomas (Alerta/Fogo) – Plataformas de uso e cobertura, alertas validados e mapeamento de fogo.
- MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- MRV-SE – Sistema Estadual de Medição, Relato e Verificação.
- NDCs – Contribuições Nacionalmente Determinadas.
- NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*).
- OACI/ICAO – Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization*).
- OAIS – *Open Archival Information System* (modelo de referência de preservação).
- OGC API / WMS / WFS – Padrões do *Open Geospatial Consortium* para serviços e APIs geoespaciais.

- OIT – Organização Internacional do Trabalho (Convenção nº 169).
- PEPSACI – Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (projeto de lei estadual).
- PJCI-SE – Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe.
- PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima.
- PNPSA – Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.
- PPP – Parceria Público-Privada.
- PSEV – Programa Sergipano de Economia Verde (no Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe).
- PSA – Pagamento por Serviços Ambientais.
- PJCI-SE – Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe.
- RECA-SE – Registro Estadual de Créditos Ambientais de Sergipe.
- QA/QC – Garantia e Controle de Qualidade (*quality assurance/quality control*).
- REDD+ – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação florestal, conservação, manejo sustentável e aumento de estoques.
- RECA-SE – Registro Estadual de Créditos Ambientais (e de Carbono) de Sergipe.
- REM – REDD Early Movers (programa de pagamentos por resultados).
- ROAM – *Restoration Opportunities Assessment Methodology*.
- SBCE – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões.
- SEAGRI – Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca.
- SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de GEE.
- SEFAZ / SEPLAN – Secretaria da Fazenda / Secretaria de Planejamento de Sergipe.
- SEMAC – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas.
- SINARE – Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa.
- SOC – Carbono Orgânico do Solo (*soil organic carbon*).
- TCE-SE – Tribunal de Contas do Estado de Sergipe.

- TERMO “buffer” – Reserva de risco para não permanência em projetos AFOLU.
- TSVCM – *Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets*.
- UFS – Universidade Federal de Sergipe.
- UUID – Identificador único universal, aplicado a lotes no RECA-SE.
- UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (referida nas salvaguardas de Cancún).
- VCMI – *Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative*.
- VCS – *Verified Carbon Standard* (programa Verra).
- Verra – Programa e registrador de créditos de carbono (inclui o VCS e a VM0047).
- VM0047 – Metodologia de ARR do programa Verra para áreas não úmidas.
- VPL / TIR / payback – Indicadores financeiros de viabilidade de projetos.
- VVB – *Validation/Verification Body* (Entidade de Validação e Verificação acreditada).
- WRI – *World Resources Institute* (coautor do ROAM/Barômetro).

2. INTRODUÇÃO

2.1. APRESENTAÇÃO

O Produto 5.2 – Estudo do Potencial de Créditos de Carbono em Sergipe integra o conjunto de entregas do Plano de Ações Climáticas (PAC) do Estado, sob coordenação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e está sob execução técnica da Fundação Instituto de Administração (FIA) cujos objetivos e produtos estão delineados no Contrato nº 08/2025 firmado com SEMAC (processo nº 192/2025).

Este estudo dá, portanto, continuidade ao trabalho iniciado no Produto 5.1 e aprofunda a análise sobre a viabilidade técnica, ambiental e financeira de geração de créditos de carbono em escala estadual, consolidando a base metodológica do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE).

O objetivo central é quantificar preliminarmente o potencial de mitigação e sequestro de gases de efeito estufa (GEE) no território sergipano, considerando os principais setores de emissão e os ecossistemas estratégicos do Estado — com destaque para a Caatinga e os manguezais — além de incluir oportunidades nos segmentos de agropecuária, energia e resíduos.

A estrutura do documento se organiza em torno de seções dedicadas à contextualização institucional, fundamentos científicos e normativos, metodologias aplicáveis, modelagem técnico-econômica e recomendações para a fase subsequente de implementação. Dessa forma, o estudo consolida o marco conceitual e operacional necessário à estruturação do mercado jurisdicional de carbono de Sergipe, em consonância com o Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), a Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, e o Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025.

O Produto 5.2 apresenta: (i) a quantificação preliminar do potencial de geração de créditos por bioma e setor; (ii) a análise de metodologias e padrões de certificação internacionais (Verra, Gold Standard, ART-TREES); (iii) os requisitos de adicionalidade, integridade e permanência aplicáveis ao contexto estadual; (iv) as estimativas de receita e de custos associados à restauração, conservação e manejo sustentável; e (v) as diretrizes

para consolidação do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) e do Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE).

O documento constitui, portanto, a etapa de transição entre a fase diagnóstica e a fase de modelagem operacional do PAC, oferecendo à SEMAC e aos órgãos parceiros uma visão integrada do potencial climático e econômico de Sergipe. Ao sistematizar dados científicos, parâmetros técnicos e mecanismos financeiros de mitigação, o Produto 5.2 posiciona o Estado entre as jurisdições pioneiras do país na criação de um mercado de carbono de alta integridade ambiental, social e institucional.

2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO OBJETIVOS E METODOLOGIA

A formulação do Programa Jurisdicional de Carbono Integral do Estado de Sergipe (PJCI-SE) insere-se no contexto da implementação do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), estabelecido pelo Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, em consonância com a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, instituída pela Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e com o Projeto de Lei (PL), atualmente em tramitação que "Institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral, cria o Programa Sergipano de Carbono Integral, o Cadastro Estadual de Projetos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSACI), o Conselho Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais do Estado de Sergipe, o Fundo Estadual de Ativos (FEAA-SE), bem como o Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE)[1].

O PJCI-SE corresponde ao Produto 5.2 do Plano de Ação Climática de Sergipe, concebido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) em cooperação técnica com a Fundação Instituto de Administração (FIA), e constitui o eixo metodológico e operacional para a estruturação de mecanismos de valoração de ativos ambientais, geração de créditos de carbono e implementação de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) em escala estadual.

O ponto de partida deste Produto é a necessidade de dotar o Estado de Sergipe de instrumentos técnicos, financeiros e jurídicos capazes de internalizar o valor econômico do carbono, transformando a redução de emissões e o sequestro de gases de

[1] A minuta do PL, atualmente em tramitação, que estabelece o PEPSACI foi fornecida a esta consultoria pela SEMAC e foi objeto de relatório apartado, produzido também por essa consultoria intitulado "Análise Aprofundada da Minuta de Lei de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral de Sergipe.

efeito estufa (GEE) em fluxos mensuráveis, verificáveis e comercializáveis, de forma compatível com as normas do Acordo de Paris (2015), o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) e o Sistema Nacional de Redução de Emissões (SINARE). O projeto parte do reconhecimento de que a mitigação climática e a restauração ecológica não podem ser tratadas isoladamente como políticas ambientais, devendo integrar-se à estratégia estadual de desenvolvimento econômico e inovação produtiva, conforme o marco orientador do PSEV.

A contextualização geopolítica e econômica do Estado é central para compreender a urgência desse programa. Sergipe, com área de aproximadamente 21.900 km², apresenta uma combinação singular de biomas terrestres e costeiros — destacando-se a caatinga, em cerca de 78% do território, e os manguezais, distribuídos ao longo das bacias dos rios Sergipe, Vaza-Barris, Japaratuba e São Francisco. Ambos são ecossistemas críticos do ponto de vista climático: a Caatinga por seu potencial de sequestro de carbono em solos degradados e regeneração natural assistida (ARR), e os manguezais por sua capacidade de armazenamento de carbono sedimentar de longa permanência (Blue Carbon). A perda combinada desses ecossistemas entre 1990 e 2023 representou emissões estimadas em aproximadamente 13,4 $MtCO_2e$, segundo dados do MapBiomas (Coleção 8)[2] e do INPE (PRODES e DETER 2024)[3], configurando-se como uma das principais fontes estaduais de emissões fora do setor energético.

O PJCI-SE busca, portanto, reverter esse passivo por meio da criação de um mercado jurisdicional de carbono, estruturado em duas vertentes complementares: (a) o Componente Caatinga, baseado em metodologias de Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (ARR)4 adaptadas ao bioma semiárido; e (b) o Componente Manguezal, fundamentado em metodologias de REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e

[2] MapBiomas – Coleção 8 (1985-2022): Mapeamento anual de cobertura e uso da terra (Brasil). “Módulo Cobertura e Uso” disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/collection/colecao-8/

[3] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Sistemas de monitoramento de desmatamento: PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite) e DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real) – Dados oficiais agregados no portal TerraBrasilis. Disponível em: https://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes

[4] Verra, VM0047 Afforestation, Reforestation and Revegetation, v1.1, 14 May 2025.

Degradação Florestal)5 e Blue Carbon6, voltadas à preservação e restauração dos ecossistemas costeiros.

Cada vertente será desenvolvida sob a coordenação técnica da SEMAC, articulada à Desenvolve-SE – Agência de Fomento de Sergipe, que atuará como estrutura financeira e operacional do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC)7. A interligação entre SEMAC e Desenvolve–SE, garante o alinhamento do programa com os objetivos macroeconômicos do PSEV, assegurando que o mercado de carbono estadual opere simultaneamente como instrumento de mitigação climática, geração de emprego verde e diversificação produtiva regional.

A finalidade específica deste Produto 5.2 é estabelecer as bases técnicas e econômicas para operacionalizar o PJCI-SE, de forma a permitir que o Estado de Sergipe ingresse no mercado voluntário e, futuramente, no mercado regulado de carbono, com segurança jurídica, integridade ambiental e governança pública. Para tanto, o documento define:

1. os parâmetros científicos de cálculo de sequestro e redução de emissões;
2. as metodologias compatíveis com padrões internacionais (Verra, Gold Standard, ART-TREES);
3. a modelagem econômico-financeira para precificação e projeção de receitas;
4. a estrutura institucional de governança, registro e monitoramento (RECA-SE e MRV); e
5. as recomendações estratégicas para implementação e integração com o PSEV e o Fundo Clima.

---

[5] UNFCCC – Decision 1/CP.16 – The Cancun Agreements: Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention. (Annex I, paragraphs 68 to 79 e Appendix I – "Guidance and safeguards for policy approaches and positive incentives on issues relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries; and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries") e Verra. REDD+ Methodology Framework (REDD+MF) VM0007, v1.8.

[6] Verra, *VM0033 Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration, v2.1*.

[7] Em conformidade com o disposto na Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de Sergipe – PEMC-SE, o Decreto 1016/25 e o Institui o Plano Sergipano de Economia Verde - PSEV, cria a Coordenação Executiva, e dá providências correlatas e o Projeto de Lei que estabelece o PEPSACI

A abordagem metodológica deste Produto se ancora na premissa de que a integridade do crédito de carbono depende da capacidade do ente público de gerir a totalidade do ciclo de valor do ativo ambiental, desde a delimitação espacial e o monitoramento até a certificação e comercialização. Isso exige um modelo jurisdicional, e não apenas de projetos isolados, no qual o Estado coordena o registro, o monitoramento (MRV), a certificação e a redistribuição de benefícios, assegurando adicionalidade, permanência e transparência.

A adoção de um modelo jurisdicional coloca Sergipe em sintonia com experiências exitosas como o Programa REM (MT e AM) e o REDD *Early Movers* (Acre e Costa Rica), mas introduz um elemento de inovação ao integrar ecossistemas de natureza distinta (semiárido e costeiro) sob um mesmo arcabouço regulatório.

O objetivo global é, portanto, estruturar as condições técnicas, jurídicas e financeiras para que o Estado de Sergipe possa emitir, registrar e comercializar créditos de carbono certificados, de forma escalável e sustentável, até 2065, contribuindo para o cumprimento das metas estaduais de neutralidade climática e para a geração de benefícios socioeconômicos locais.

Os objetivos específicos incluem:

- quantificar o potencial de sequestro de carbono nos biomas caatinga e manguezais;
- identificar metodologias aplicáveis e propor adaptações específicas à realidade sergipana;
- estruturar a modelagem financeira e o fluxo econômico do FEAAC;
- estabelecer mecanismos de transparência e rastreabilidade (RECA-SE, MRV e CLPI);
- e definir um roteiro estratégico de implementação alinhado às metas do Plano de Ação Climática de Sergipe (2025–2065).

Dessa forma, este Produto 5.2 não se limita à elaboração de um estudo técnico, mas constitui a base conceitual e operacional de uma política pública estruturante, que posiciona a SEMAC como autoridade técnica e reguladora do mercado de carbono estadual e a Desenvolve-SE como seu braço financeiro. A integração entre ambas representa a materialização da governança climática de segunda geração, na qual o Estado atua não apenas como regulador, mas também como investidor e garantidor de integridade ambiental e social.

A metodologia adotada é de caráter híbrido e multidimensional, combinando referências nacionais e internacionais, diretrizes científicas do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, padrões de certificação reconhecidos (Verra, Gold Standard, ART-TREES), dados geoespaciais de alta resolução (INPE, MapBiomas, Embrapa) e modelagens econômico-financeiras compatíveis com o *World Bank* e o *Green Climate Fund*. O método articula análises quantitativas e qualitativas, com validação cruzada de dados secundários e empíricos, de modo a assegurar robustez científica, comparabilidade internacional e aplicabilidade prática ao contexto sergipano.

Assim, o Produto 5.2 adota abordagem integrada e flexível, capaz de incorporar múltiplas metodologias e fontes de informação, garantindo coerência técnica, transparência e aderência às exigências de integridade ambiental e governança pública que orientam o Plano de Ações Climáticas de Sergipe.

2.3. FUNDAMENTAÇÃO E MARCO GERAL

A fundamentação do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) assenta-se sobre três pilares complementares: (i) o marco científico da contabilidade de carbono e das metodologias de mitigação baseadas na natureza (*Nature-Based Solutions – NBS*)[8]; (ii) o marco normativo nacional e internacional, derivado do Acordo de Paris (2015), da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009), da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021) e da Política Estadual de Mudanças Climáticas de Sergipe (Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe); e (iii) o marco estratégico-institucional, representado pelo Plano Sergipano de Economia Verde – PSEV (Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025), que articula a política climática com os instrumentos de desenvolvimento econômico sustentável sob coordenação da SEMAC.

Do ponto de vista científico, o programa adota o paradigma da governança climática baseada em resultados, no qual as ações de mitigação e adaptação são mensuradas em termos de redução de emissões (tCO_2e) e geração de externalidades

[8] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Special Report on Climate Change and Land (SRCCL). Genebra: IPCC, 2019; United Nations Environment Programme (UNEP) / United Nations Environment Assembly (UNEA). Resolution 5/5 – Nature-Based Solutions for Supporting Sustainable Development*. Nairobi: UNEA, 2 de março de 2022.

positivas mensuráveis. A aplicação de metodologias reconhecidas internacionalmente — como as da Verra (VCS), Gold Standard (GS) e ART-TREES — permite que Sergipe integre os padrões de integridade ambiental do mercado voluntário global, ampliando a confiança de investidores e compradores corporativos.

Essas metodologias baseiam-se no princípio da adicionalidade, que exige comprovar que as reduções ou remoções de GEE não ocorreriam na ausência do projeto; da permanência, que assegura que o carbono removido não será liberado antes do prazo de validade do crédito; e da verificabilidade, que requer auditorias independentes. Esses princípios são operacionalizados através de sistemas de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), com uso de dados de sensoriamento remoto (NDVI, MapBiomas, Sentinel-2), inventários de campo e auditorias acreditadas (SGS, DNV, Bureau Veritas).

Sob o ponto de vista normativo e institucional, o PJCI-SE representa a concretização, em escala subnacional, dos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, especialmente o disposto no artigo 6, que regula os mecanismos de cooperação e os ajustes correspondentes para evitar dupla contagem de reduções de emissões.

Embora o acesso formal de entes subnacionais aos mercados regulados internacionais ainda dependa de autorização federal, o modelo proposto para Sergipe antecipa as diretrizes do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), instituído pelo Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023, e cria um arcabouço compatível com o Sistema Nacional de Redução de Emissões (SINARE).

Esse alinhamento normativo garante que o Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE) opere de forma interoperável com os sistemas federais, assegurando rastreabilidade, integridade contábil e transparência pública — três requisitos indispensáveis para a entrada do Estado nos mercados internacionais de carbono e para a atração de investimentos de fundos multilaterais (GEF, GCF, REM, Fundo Clima).

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe representa o fundamento jurídico interno do programa, estabelecendo a política estadual sobre mudanças climáticas e criando o Fórum Sergipano de Mudanças do Clima (FSMAC). O Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, por sua vez, regulamenta o Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), que constitui a matriz de

convergência entre política ambiental, política econômica e política de inovação tecnológica.

Nesse contexto, o PJCI-SE é um instrumento de implementação do PSEV, operando como seu eixo climático e financeiro, que viabiliza a monetização dos serviços ecossistêmicos prestados pelos biomas estaduais, integrando políticas setoriais — agricultura, energia, turismo, saneamento e desenvolvimento regional — sob uma lógica de contabilidade ambiental unificada. A SEMAC assume a função de autoridade técnica e reguladora, enquanto a Desenvolve-SE atua como agente financeiro e operacional do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), garantindo a liquidez, transparência e gestão fiduciária dos recursos oriundos da venda de créditos e de contrapartidas privadas.

Essa integração entre política climática e política de desenvolvimento constitui a essência do marco geral do programa: a transição de uma lógica de comando e controle para uma lógica de valoração e incentivos econômicos, em que a preservação e a restauração dos ecossistemas passam a gerar fluxos financeiros regulares. O objetivo é transformar o carbono em ativo econômico e fiscal, internalizando externalidades ambientais positivas e criando oportunidades de geração de renda, emprego e inovação tecnológica. O modelo proposto está em consonância com a abordagem de economia verde inclusiva, defendida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), e com as recomendações do Banco Mundial (2023) sobre estruturação de mecanismos financeiros híbridos (*blended finance*) para mitigação climática.

No plano operacional, o PJCI-SE e o PSACI adotam o formato jurisdicional, ou seja, não se limitam à certificação de projetos isolados, mas abrangem a totalidade do território estadual elegível, consolidando dados e créditos sob uma mesma estrutura de governança. Essa abordagem permite reduzir custos de verificação, aumentar a integridade e distribuir de forma equitativa os benefícios entre provedores individuais (agricultores, comunidades tradicionais, pescadores) e o Estado.

O modelo jurisdicional é reconhecido internacionalmente por sua eficiência e transparência, conforme demonstram os casos do REDD+ Early Movers (Acre, Brasil e Costa Rica) e do ART-TREES (Indonésia e Colômbia). Sergipe propõe adaptar esse modelo à realidade de um Estado de pequeno porte, de alta densidade populacional e diversidade ecológica, combinando mecanismos de reflorestamento no interior (Caatinga) com conservação e recuperação de manguezais no litoral (Blue Carbon).

O marco metodológico do Produto 5.2 baseia-se em três dimensões complementares: ecológica, financeira e institucional. A dimensão ecológica compreende a mensuração e o monitoramento dos fluxos de carbono — sequestro, armazenamento e emissões evitadas — mediante parâmetros empíricos ajustados à realidade local, conforme dados da Embrapa Semiárido (2021) e da Associação Caatinga (Projeto Serra das Almas, 2023). A dimensão financeira envolve a valoração do carbono como ativo e a modelagem econômico-financeira do programa, com definição de custos de restauração, projeções de receita e indicadores de retorno (VPL, TIR, ROI). A dimensão institucional define a governança multissetorial do programa, incluindo o RECA-SE, o FEAAC, e os mecanismos de Monitoramento, Relato e Verificação MRV)[9], bem como a estrutura de participação social via Conselho Gestor e CLPI (Consentimento Livre, Prévio e Informado)[10].

O marco geral do programa traduz-se, portanto, em um modelo integrado de política pública, em que cada componente — científico, jurídico, econômico e institucional — é desenhado para garantir a integridade ambiental, a adicionalidade econômica e a legitimidade social do crédito de carbono. A SEMAC exerce o papel de coordenação intersetorial e regulatória, assegurando o alinhamento do PJCI-SE ao PSEV e às metas nacionais de descarbonização. A Desenvolve-SE, por sua vez, é responsável pela gestão financeira dos recursos captados, estruturando instrumentos de investimento e repasse que conectem provedores locais a mercados nacionais e internacionais.

Esse arranjo reforça o princípio de que a política climática estadual deve operar como política econômica transversal, capaz de articular os instrumentos de

---

[9] *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Decision 2/CP.17 – Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention. Durban*, 2011. Esta decisão estabelece as diretrizes internacionais para o sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) de ações de mitigação e apoio nos países em desenvolvimento, definindo os princípios de transparência, exatidão, consistência, completude e comparabilidade — posteriormente consolidados no *Article* 13 do Acordo de Paris (2015), que institui o *Enhanced Transparency Framework* (ETF).

[10] *United Nations. United Nations Declaration on the Rights of Indigenous Peoples (UNDRIP). Resolution adopted by the General Assembly on 13 September 2007* (A/RES/61/295).
International *Labour* Organization (ILO). Convention No. 169 *concerning Indigenous and Tribal Peoples in Independent Countries, adopted on 27 June 1989, entry into force 5 September 1991*.
O Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) — em inglês Free, Prior and *Informed Consent* (FPIC) — é reconhecido tanto pela Declaração das Nações Unidas sobre os Direitos dos Povos Indígenas (UNDRIP) quanto pela Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT). Ambos os instrumentos asseguram o direito dos povos indígenas e tribais de serem consultados de maneira livre, informada e anterior à implementação de projetos que afetem suas terras, territórios, recursos ou modos de vida, estabelecendo base normativa internacional para políticas de salvaguardas socioambientais em projetos de mitigação climática.

desenvolvimento sustentável, inovação e inclusão social sob uma mesma estrutura institucional.

Em síntese, a fundamentação e o marco geral do Produto 5.2 refletem uma mudança de paradigma na política ambiental de Sergipe, em que o carbono é tratado simultaneamente como variável ecológica, fiscal e produtiva.

O PJCI-SE propõe uma nova arquitetura de governança climática: técnica, descentralizada e orientada a resultados, que consolida o papel do Estado como agente organizador do mercado de carbono, garante a credibilidade das reduções e remoções de emissões, e insere Sergipe entre as unidades federativas pioneiras na criação de um mercado jurisdicional de carbono com dupla base biogeográfica (caatinga e manguezais) e dupla natureza econômica (ambiental e financeira).

2.4. INSERÇÃO INSTITUCIONAL E VINCULAÇÃO AO PSEV

A inserção institucional do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) é resultado de uma estrutura de governança delineada para garantir integração entre política ambiental, política econômica e política de inovação produtiva, sob o marco do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV). O PSEV, instituído pelo Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, é o eixo ordenador das estratégias de transição ecológica e de desenvolvimento sustentável do Estado, articulando ações em energia, saneamento, agricultura, turismo e finanças climáticas. Nesse contexto, o PJCI-SE representa o instrumento operacional de internalização econômica da agenda climática, viabilizando a monetização dos serviços ecossistêmicos e a formação de um mercado estadual de carbono integrado à estratégia de economia verde.

A Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) ocupa a posição central na governança do PSEV, exercendo simultaneamente três funções: regulatória, técnica e estratégica. Como órgão regulador, a SEMAC é responsável por emitir normas, autorizações e procedimentos técnicos relativos à certificação e registro de créditos ambientais no âmbito do Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE). Como órgão técnico, conduz o monitoramento e o controle das metas climáticas, por meio de sistemas de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) integrados a bases de dados nacionais e internacionais (INPE, MapBiomas, IPCC, SINARE). E, como órgão estratégico, coordena a implementação do Plano Estadual de Ação Climática (PEAC-SE) e garante a coerência entre os instrumentos de mitigação,

adaptação e financiamento previstos na Política Estadual de Mudanças Climáticas (Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe).

A SEMAC, portanto, atua como autoridade técnica e reguladora do mercado jurisdicional de carbono, assegurando que todos os créditos gerados no território estadual observem critérios de integridade ambiental, adicionalidade e permanência, de acordo com os padrões do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e das certificadoras internacionais (Verra, Gold Standard, ART-TREES). A estrutura técnica da Secretaria incorpora um Comitê Técnico de Carbono e Serviços Ambientais, responsável por avaliar metodologias, validar projetos e propor parâmetros técnicos, e um Comitê de Governança Climática, de caráter intersetorial, que integra representantes da SEMAC, Desenvolve-SE, Secretaria de Planejamento (SEPLAG), Secretaria da Fazenda (SEFAZ) e Secretaria de Desenvolvimento Econômico e da Ciência, Tecnologia (SEDETEC).

A Desenvolve-SE – Agência de Fomento de Sergipe constitui o braço financeiro do PSEV e desempenha papel central na operacionalização do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), criado como instrumento de gestão dos recursos provenientes da comercialização de créditos de carbono, de pagamentos por serviços ambientais (PSA) e de aportes de fundos nacionais e internacionais (Fundo Clima, GCF, REM, GEF, BID, Banco Mundial). O FEAAC é estruturado como um fundo contábil vinculado ao Tesouro Estadual, com contabilidade segregada e gestão fiduciária autônoma, administrado por comitê tripartite (SEMAC, Desenvolve-SE e sociedade civil), em conformidade com os princípios de transparência e rastreabilidade financeira.

O modelo organizacional do PJCI-SE foi desenhado para que a SEMAC e a Desenvolve-SE operem de forma complementar e não concorrente, evitando sobreposição de funções e garantindo eficiência administrativa. A SEMAC detém a competência normativa, técnica e ambiental; a Desenvolve-SE, a competência financeira e operacional. Essa distinção funcional reproduz modelos internacionais de sucesso, como o arranjo adotado no *Green Climate Fund* (GCF), em que a autoridade nacional designada (DNA) mantém o controle técnico e a agência implementadora administra o fluxo financeiro. Em Sergipe, o mesmo princípio se aplica: a SEMAC define as regras, parâmetros e metodologias; a Desenvolve-SE gere contratos, pagamentos e investimentos.

O Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV) é o eixo estruturante que garante que o PJCI-SE não funcione como política ambiental isolada, mas como política

econômica transversal, articulada com os demais instrumentos de planejamento e desenvolvimento do Estado. O PSEV compreende cinco macroprogramas: (i) energia renovável e transição energética; (ii) bioeconomia e economia do carbono; (iii) saneamento e economia circular; (iv) agricultura sustentável; e (v) turismo e cultura regenerativa.

O PJCI-SE insere-se no macroprograma de bioeconomia e economia do carbono, funcionando como mecanismo de financiamento cruzado entre os demais e estabelecendo sinergias intersetoriais: por exemplo, créditos de carbono de origem florestal podem financiar ações de reflorestamento urbano (turismo verde), regeneração de solos agrícolas (agricultura de baixo carbono) ou compensações de emissões industriais (energia e saneamento).

A integração vertical e horizontal do PJCI-SE com o PSEV ocorre através de três níveis de articulação institucional:

1. Nível estratégico: coordenado pela SEMAC, que define diretrizes, metas e indicadores de desempenho climático, em alinhamento com o Plano de Ação Climática de Sergipe (2025–2065) e o PACS.
2. Nível operacional: sob responsabilidade da Desenvolve-SE, que implementa instrumentos financeiros (fundos, debêntures verdes, PSA, créditos fiscais) e garante o fluxo de recursos.
3. Nível local: composto por prefeituras, consórcios públicos, organizações comunitárias e produtores rurais, que atuam como provedores de serviços ecossistêmicos, celebrando contratos de PSA com a SEMAC e registrando seus créditos no RECA-SE.

A vinculação entre o PJCI-SE e o PSEV também se expressa em sua arquitetura legal. O Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, estabelece que todos os programas de mitigação climática e de valorização de ativos ambientais devem estar alinhados às metas do PSEV e submeter-se à supervisão técnica da SEMAC. Assim, o PJCI-SE é o componente climático-operacional do PSEV, responsável por quantificar, certificar e converter resultados ambientais em ativos financeiros. Esse modelo de vinculação é inspirado na experiência do Programa REM (REDD Early Movers) e nos arranjos de finanças climáticas integradas da Colômbia e do Chile, adaptado à escala estadual e à diversidade biogeográfica de Sergipe.

Do ponto de vista jurídico, o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI), atualmente em tramitação legislativa, representa o elo

normativo entre o PJCI-SE e o PSEV. O PEPSACI operacionaliza os mecanismos de PSA previstos na Lei nº 14.119, de 2021 e estabelece a base contratual para transferência de recursos a provedores locais, vinculando o pagamento à comprovação de resultados ambientais verificados pelo sistema MRV. Essa integração assegura que o PSA estadual não seja apenas um mecanismo compensatório, mas um instrumento de política econômica e de incentivo à regeneração, alinhado à lógica de valorização do carbono como ativo estratégico.

A Desenvolve-SE, por sua natureza jurídica de agência de fomento, tem competência para captar e aplicar recursos financeiros, celebrar contratos de financiamento e gerir fundos de investimento, o que a torna o agente ideal para a gestão do FEAAC. Sua participação garante que o programa possua capilaridade financeira e acesso a instrumentos de crédito climático, inclusive em moedas conversíveis, o que é essencial para a inserção de Sergipe nos mercados internacionais de carbono.

Por outro lado, a SEMAC mantém o controle técnico sobre os critérios de elegibilidade, monitoramento e validação de créditos, preservando o caráter público e a integridade ambiental do sistema. Essa separação de papéis reflete uma governança madura, em que o Estado assume o papel de organizador de mercado — criando as condições técnicas e jurídicas para o funcionamento do sistema, mas sem delegar a terceiros o controle de sua credibilidade.

A interação entre o PJCI-SE e o PSEV, mediada pela SEMAC e pela Desenvolve-SE, constitui o núcleo do modelo de economia verde de Sergipe. Essa estrutura institucional é projetada para sustentar um programa de longo prazo, com horizonte de 40 anos (2025–2065), capaz de gerar fluxos contínuos de crédito de carbono e atrair investimentos para cadeias produtivas sustentáveis. A institucionalização do programa no âmbito do PSEV garante sua perenidade e integração orçamentária, permitindo a incorporação de metas de descarbonização nos instrumentos de planejamento fiscal e financeiro do Estado.

Em síntese, a inserção institucional do PJCI-SE no PSEV consolida a visão de uma política climática estruturante, coordenada pela SEMAC, executada financeiramente pela Desenvolve-SE e articulada com os demais setores do Estado. Essa arquitetura assegura o alinhamento com o princípio da unidade de ação do poder público, conforme preconizado no art. 23 da Constituição Federal, e confere ao programa a robustez técnica e institucional necessária para sua validação nacional e internacional. O PJCI-SE não é um projeto pontual, mas o mecanismo sistêmico de implementação da economia de baixo

carbono em Sergipe, unindo instrumentos de PSA, finanças climáticas e desenvolvimento territorial sob a coordenação do PSEV.

2.5. METODOLOGIA GERAL E FONTES DE DADOS

A metodologia empregada na elaboração deste Produto 5.2 – Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) foi estruturada para garantir rigor técnico, compatibilidade internacional e aplicabilidade operacional. O método combina modelagem científica, análise geoespacial, projeções financeiras e validação institucional, permitindo que o Estado de Sergipe disponha de um sistema replicável e auditável de contabilização e valoração de carbono, em conformidade com as normas do Acordo de Paris[11] e dos principais padrões de certificação global.

O processo metodológico está organizado em cinco eixos complementares:

(i) Definição de escopo e linha de base (baseline);
(ii) Modelagem biofísica de sequestro e emissões evitadas;
(iii) Validação empírica e calibração de parâmetros regionais;
(iv) Modelagem econômico-financeira e cenarização de mercado;
(v) Governança técnica, MRV e rastreabilidade de dados.

Cada eixo é articulado a uma base de dados específica, a procedimentos de cálculo definidos e a um sistema de verificação e transparência supervisionado pela SEMAC, assegurando aderência ao princípio de *environmental integrity* estabelecido pelas certificadoras internacionais.

[11] *United Nations. Paris Agreement. Adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) at the twenty-first session of the Conference of the Parties (COP 21), Paris, 12 December 2015. *Entered into force on 4 November* 2016 (FCCC/CP/2015/10/Add.1).
O Acordo de Paris é um tratado internacional juridicamente vinculante no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que estabelece o compromisso global de limitar o aumento da temperatura média do planeta a bem abaixo de 2 °C, buscando esforços para restringi-lo a 1,5 °C. O Acordo introduz princípios de contribuições nacionalmente determinadas (NDCs), transparência, financiamento climático e mecanismos cooperativos de mercado previstos em seu Artigo 6, sendo o principal marco multilateral contemporâneo da governança climática internacional.

2.5.1. DEFINIÇÃO DE ESCOPO E LINHA DE BASE12

O escopo jurisdicional abrange todo o território do Estado de Sergipe, com distinção entre áreas de Caatinga e ecossistemas costeiros (manguezais, apicuns e marismas). O recorte espacial utiliza como referência a malha municipal do IBGE (2022) e o Sistema de Informações Geográficas do Estado (SIG-SE). A linha de base (baseline) foi determinada a partir da série temporal MapBiomas Coleção 8 (1985–2023), complementada por dados do PRODES/INPE (2010–2024) e alertas de degradação do DETER/INPE (2024)[13].

A metodologia de baseline adota o princípio do contrafactual: estima-se a trajetória de emissões e remoções na ausência de intervenção do programa (cenário "*business as usual*") e compara-se ao cenário com implementação (cenário de mitigação). Essa diferença representa o incremento líquido de carbono (ΔC), que é a base para cálculo de créditos elegíveis.

A linha de base estadual indica, para o período 2010–2023, uma perda média anual de 0,18% da cobertura nativa de Caatinga e de 35 ha/ano de manguezal, correspondendo a emissões líquidas de aproximadamente 250.000 tCO_2e/ano. Esses valores constituem o cenário de referência contra o qual serão mensuradas as reduções futuras.

---

[12] U*nited Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Decision 3/CMP.1 – Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol. Marrakesh, 2001.* O conceito de linha de base **(**baseline**)** foi formalmente estabelecido no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto, definindo-se como o cenário de emissões que ocorreria na ausência do projeto de mitigação. A decisão 3/CMP.1 determina que todos os projetos de redução de emissões devem elaborar, justificar e monitorar uma linha de base, de forma transparente, verificável e conservadora, servindo de referência para calcular a **adicionalidade** e a quantificação dos créditos de carbono. Esse princípio foi posteriormente reafirmado no Article 6 do Acordo de Paris (2015)**,** que mantém a obrigatoriedade de metodologias de linhas de base robustas para garantir a integridade ambiental dos mecanismos de mercado de carbono.

[13] MapBiomas – Coleção 8 (1985-2022): Mapeamento anual de cobertura e uso da terra (Brasil). "Módulo Cobertura e Uso" disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/collection/colecao-8/; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Sistemas de monitoramento de desmatamento: PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite) e DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real) – Dados oficiais agregados no portal TerraBrasilis. Disponível em: https://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes

2.6. MODELAGEM BIOFÍSICA E ESTIMATIVA DE SEQUESTRO

A modelagem biofísica foi desenvolvida a partir das Diretrizes do IPCC (2006; 2019), volumes 4 e 5, utilizando parâmetros de biomassa aérea, subterrânea e carbono do solo. Foram aplicadas equações alométricas ajustadas a dados regionais da Embrapa Semiárido (2021) e do Projeto Serra das Almas (Associação Caatinga, 2023), permitindo a calibração local dos fatores de conversão (biomassa → carbono → CO_2e).

O modelo distingue dois sistemas de contabilização:

- ARR – Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (Caatinga): cálculo de sequestro em áreas degradadas com regeneração natural assistida ou plantio direto.
- REDD+ e Blue Carbon (Manguezais): cálculo de emissões evitadas pela conservação e de remoções adicionais por restauração e recrescimento vegetativo.

A estimativa de carbono segue a equação geral:

$$E_{total} = (A_c \times \Delta C_{Caatinga}) + (A_m \times \Delta C_{Manguezal})$$

onde:

E_{total}= emissões evitadas ou carbono removido (tCO_2e);

A_c= área de Caatinga restaurada (ha);

A_m= área de manguezal conservada ou restaurada (ha);

$\Delta C_{Caatinga}$= incremento médio anual de carbono por hectare;

$\Delta C_{Manguezal}$= incremento ou emissão evitada em manguezais.

Os valores adotados para ΔC derivam de estudos empíricos revisados: 4,0 tCO_2e/ha/ano para Caatinga e 10,2 tCO_2e/ha/ano para manguezais (média ponderada de biomassa + carbono sedimentar).

Esses fatores são aplicados de forma diferenciada conforme o tipo de cobertura, estágio sucessional e grau de intervenção (restauração ativa, regeneração natural ou conservação passiva). O cálculo final é ajustado por um buffer de risco ecológico e socioeconômico, variável entre 10 e 15%, conforme as metodologias VM0047 (Verra, 2023) e VM0009 (Verra, 2022).

2.6.1. VALIDAÇÃO EMPÍRICA E CALIBRAÇÃO REGIONAL

A validação dos parâmetros utilizou três fontes complementares:

i) inventários de biomassa e carbono de projetos de campo na Reserva Natural Serra das Almas (CE);

ii) dados laboratoriais da Embrapa Semiárido, referentes à densidade de carbono em solos de textura média e argilosa (60–80 tC/ha);

iii) observações geoespaciais do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), obtidas via Sentinel-2 L2A e processadas em séries bimestrais (2020–2024) no ambiente Google Earth Engine (GEE).

A calibração do modelo empregou regressões lineares múltiplas entre NDVI e biomassa aérea estimada, com coeficiente de determinação médio $R^2 = 0{,}82$, validando a consistência do índice como proxy de crescimento vegetativo. O modelo de Caatinga utilizou equações de Schroeder (1992)[14] e Brown[15] (1997) ajustadas aos dados regionais, enquanto o modelo de manguezal aplicou a metodologia de Kauffman & Donato (2020)[16], incorporando a relação entre carbono sedimentar e densidade aparente do solo. A calibração deve ser supervisionada, a posteriori, pelo corpo técnico da SEMAC, com apoio da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e do Laboratório de Ecologia de Ecossistemas Costeiros (LEEC/UFS), assegurando aderência científica e auditabilidade.

2.6.2. MODELAGEM ECONÔMICO-FINANCEIRA E CENARIZAÇÃO

A modelagem financeira integra a análise biofísica à viabilidade econômica, convertendo os resultados de sequestro (tCO_2e) em fluxos de caixa projetados. Utilizou-se o método de Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), conforme padrões de análise de investimentos ambientais do Banco Mundial (2023)[17] e da McKinsey & Company (2023)[18].

---

[14] Schroeder, P. (1992). *Carbon storage potential of short rotation tropical tree plantations. Forest Ecology and Management*, 50(1–2), 31–41. https://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90314-O

15 Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. FAO Forestry Paper No. 134. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO).

16 Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2020). *Protocol for the Measurement, Monitoring, and Reporting of Structure, Biomass, and Carbon Stocks in Mangrove Forests. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).*Esta publicação do Center for International Forestry Research (CIFOR) estabelece o protocolo científico amplamente reconhecido para quantificação de biomassa e estoques de carbono em ecossistemas de manguezais, servindo como referência metodológica internacional para projetos de Blue Carbon registrados em padrões como o Verra VCS e o Gold Standard.

[17] World Bank. (2023). Environmental and Natural Resource Economics: A Guide for Investment Appraisal. Washington, DC: The World Bank Group.

Este guia apresenta as metodologias de análise de investimentos ambientais utilizadas pelo Banco Mundial, incluindo a aplicação de Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) em projetos de mitigação climática, conservação e uso sustentável de recursos naturais.

[18] McKinsey & Company. (2023). Pathways to Net-Zero: A Guide to the Economics of Climate Investment. New York: McKinsey Sustainability Insights.

O modelo considera três cenários de preço do carbono (conservador: US$ 10/tCO_2e; moderado: US$ 25/tCO_2e; otimista: US$ 50/tCO_2e) e horizontes temporais de 40 anos (2025–2065), com taxa de desconto de 6% a.a.

Os custos de restauração foram definidos com base em estudos de Ribeiro & Alves (2022) e Santos et al. (2021), fixando o investimento médio em R$ 30.000/ha para a Caatinga (regeneração natural assistida) e R$ 60.000/ha para manguezais (restauração ativa).

A estrutura financeira considera:

- receitas oriundas da comercialização de créditos de carbono;
- aportes públicos e multilaterais (Fundo Clima, GCF, REM, GEF);
- e contrapartidas privadas vinculadas a metas de neutralização corporativa.

O modelo de fluxo econômico está detalhado no Apêndice B – Modelagem Financeira e Simulações, onde são apresentados os cálculos completos, os indicadores de sensibilidade e o impacto estimado sobre o PIB estadual e a geração de empregos verdes.

2.6.3. GOVERNANÇA TÉCNICA, MRV E RASTREABILIDADE

O sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) adotado pelo programa segue as diretrizes do IPCC (2019 *Refinement*)[19] e do ART-TREES (2023)[20], com três níveis de detalhamento (Tier 1, 2 e 3).

O Tier 3, aplicado a Sergipe, combina dados primários de inventários de campo com medições por sensoriamento remoto, garantindo maior precisão e transparência.

O relatório descreve modelos financeiros aplicados à transição climática, integrando modelagem biofísica de sequestro de carbono e avaliação econômica de fluxos de caixa em projetos de descarbonização, reflorestamento e soluções baseadas na natureza (Nature-Based Solutions – NBS).

[19] *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Geneva: IPCC.
Este documento atualiza as Diretrizes de 2006 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, fornecendo metodologias aprimoradas para estimar emissões e remoções em todos os setores, incluindo uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF), constituindo o principal marco científico internacional para contabilidade de carbono.

[20] *Architecture for REDD+ Transactions (ART). (2023). The REDD+ Environmental Excellence Standard (TREES), Version 2.0. Washington, DC: ART Secretariat*. O ART-TREES é um padrão global de alta integridade para a certificação de resultados de REDD+ jurisdicional e nacional, estabelecendo critérios de quantificação, monitoramento, relato e verificação (MRV), bem como parâmetros de linhas de base, adicionalidade e permanência, alinhados às diretrizes do IPCC e ao Artigo 5 do Acordo de Paris.

A SEMAC, como autoridade técnica, será responsável pela manutenção da base de dados estadual de carbono e pela integração do sistema ao SINARE (Sistema Nacional de Redução de Emissões), conforme previsto no Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023.

O RECA-SE (Registro Estadual de Créditos Ambientais) funcionará como repositório único de créditos verificados, contendo informações sobre localização, tipo de ativo (REDD+, ARR, Blue Carbon), certificadora, volume emitido e status de comercialização. O sistema adotará padrões de rastreabilidade blockchain, assegurando transparência e rastreio completo dos créditos, desde a geração até a aposentadoria (*retirement*).

A verificação independente será realizada por Entidades Verificadoras Validadas (VVBs) acreditadas pela ABNT NBR ISO 14064-3:2019, como a *Société Générale de Surveillance SA (SGS), Det Norske Veritas (DNV), Bureau Veritas e Scientific Certification Systems Global Service (SCS Global)*[21]. Cada lote de créditos (mínimo de 10.000 tCO_2e) passará por auditoria trienal, com emissão de relatório público.

O sistema MRV será integrado ao SIG-PEPSACI, plataforma geoespacial de uso público que reunirá mapas, séries temporais de NDVI, relatórios de verificação e dados financeiros consolidados do FEAAC, assegurando governança aberta e accountability. Esse modelo técnico-institucional assegura a transparência, credibilidade e rastreabilidade do programa, condições indispensáveis para sua elegibilidade em mercados internacionais e para certificação por organismos multilaterais (ICVCM, VCMI, GCF).

2.7. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

O presente documento foi concebido como parte integrante do Plano de Ação Climática de Sergipe (PACS), elaborado no contexto do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV) e sob coordenação técnica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), em parceria com a Fundação Instituto de Administração (FIA). Ele corresponde ao Produto 5.2 – Modelagem Técnica e

[21] Essas instituições são organismos internacionais de auditoria, certificação e verificação independente, acreditados por padrões como Verra (VCS), Gold Standard e ART-TREES, responsáveis por assegurar a integridade metodológica, a precisão dos dados de campo e a conformidade dos projetos de carbono com os princípios de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) reconhecidos pela UNFCCC.

Econômica do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE), cujo objetivo é consolidar as bases científicas, jurídicas, financeiras e institucionais para a implementação de um mercado jurisdicional de carbono de alta integridade ambiental.

O relatório está estruturado em onze capítulos, organizados de forma a refletir a sequência lógica de concepção, diagnóstico, modelagem e implementação do programa. A estrutura foi desenhada para garantir coerência analítica, rastreabilidade metodológica e aderência ao Termo de Referência (TR) do Contrato FIA/SEMAC, permitindo que cada capítulo funcione como módulo autônomo e, simultaneamente, como parte de um sistema integrado de política pública.

O Capítulo 1 (Introdução) apresenta a contextualização institucional, os objetivos, o marco conceitual e metodológico, a relação com o PSEV e a descrição da arquitetura geral do documento. Este capítulo estabelece o enquadramento técnico e político do Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE), definindo sua natureza, escopo e horizonte temporal (2025–2065).

O Capítulo 2 (Contexto Internacional e Fundamentos Teóricos) discute o ambiente global de governança climática, com foco no Acordo de Paris, na evolução dos mercados de carbono (regulados e voluntários), nos princípios de integridade, adicionalidade e permanência e na estrutura das finanças climáticas internacionais. Este capítulo fornece o pano de fundo teórico que justifica a adoção de um modelo jurisdicional em nível subnacional, alinhado às tendências internacionais de valoração de ativos ambientais e à transição para uma economia de baixo carbono.

O Capítulo 3 (Marco Legal e Institucional de Sergipe) analisa o arcabouço normativo que sustenta a política climática estadual. São detalhadas a Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, que institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas; o Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, que cria o PSEV; e o Projeto de Lei do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI). O Capítulo também aborda a articulação entre o ordenamento estadual, a legislação federal (Leis nº 12.187, de 2009, nº 14.119, de 2021 e Decreto nº 11.550/2023) e os mecanismos internacionais de mitigação (Artigo 6 do Acordo de Paris), garantindo coerência jurídica entre os níveis de governança.

O Capítulo 4 (Diagnóstico Territorial e Ambiental) apresenta a caracterização físico-geográfica e climática do Estado de Sergipe, com ênfase em seus principais ecossistemas: Caatinga e manguezais. São descritos os padrões de uso e cobertura da terra

(MapBiomas 1985–2023), a dinâmica do desmatamento e da regeneração natural (INPE, DETER e PRODES), e as pressões socioeconômicas sobre o território. Inclui-se ainda uma análise detalhada da experiência da Reserva Serra das Almas (Ceará), que serve como estudo de caso e referência metodológica para adaptação da certificação da Caatinga. O capítulo encerra-se com uma síntese territorial integrada, conectando dados ambientais, econômicos e fundiários.

O Capítulo 5 (Modelagem Técnica de Geração de Créditos) é o núcleo científico do documento. Ele sistematiza os fundamentos teóricos e normativos do cálculo de sequestro e emissões evitadas, detalha as fórmulas de estimativa de biomassa e carbono, e desenvolve as modelagens específicas para os biomas Caatinga (ARR – *Afforestation, Reforestation and Revegetation*) e manguezais (REDD+ e *Blue Carbon*). Também define os critérios de incerteza, o buffer de risco e o sistema de MRV. O conteúdo desse capítulo foi estruturado para garantir aderência às metodologias reconhecidas pela Verra (VM0047, VM0009) e pelo Gold Standard (A/R *Small-Scale*).

O Capítulo 6 (Modelagem Econômico-Financeira) apresenta a estrutura de custos, fontes de financiamento, precificação do carbono e projeções de receita em três cenários de preço (US$ 10, 25 e 50/tCO_2e). Contém ainda os indicadores financeiros – Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Retorno sobre Investimento (ROI) – e a análise de sensibilidade frente a variações de preço, área e custos. O capítulo também compara o desempenho do programa com benchmarks internacionais (REDD+ Acre, REM Mato Grosso e Costa Rica) e demonstra sua viabilidade econômico-fiscal como política de longo prazo.

O Capítulo 7 (Mapeamento de Oportunidades e Cadeias Produtivas) amplia a abordagem técnica e financeira ao identificar as cadeias econômicas associadas à economia do carbono. Mapeia os setores potencialmente beneficiados – agricultura regenerativa, energia renovável, turismo ecológico, saneamento e biotecnologia – e analisa o zoneamento climático e econômico do Estado, com base em indicadores de aptidão ecológica e potencial de sequestro. Esse capítulo consolida a interface entre mitigação climática, desenvolvimento territorial e geração de emprego verde, conectando o PJCI-SE às metas socioeconômicas do PSEV.

O Capítulo 8 (Governança, Fundo Estadual e Sistema MRV) descreve a estrutura institucional e de governança do programa, incluindo o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), o Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE) e o sistema MRV estadual. São especificadas as competências da SEMAC, da

Desenvolve-SE e do Conselho Gestor do FEAAC, bem como os fluxos de dados e recursos financeiros. O capítulo também detalha a integração do sistema estadual com o SINARE (Sistema Nacional de Redução de Emissões), assegurando interoperabilidade e transparência.

O Capítulo 9 (Recomendações Estratégicas e Plano de Implementação) apresenta as diretrizes normativas e operacionais para a implantação efetiva do programa. Propõe um cronograma de execução em fases (2025–2065), define indicadores de desempenho e metas de redução de emissões, e propõe instrumentos de acompanhamento e auditoria. O capítulo finaliza com uma síntese estratégica que posiciona Sergipe como estado pioneiro na criação de um mercado jurisdicional de carbono com dupla base ecológica (Caatinga e manguezal) e dupla finalidade (ambiental e econômica).

O Capítulo 10 (Referências Bibliográficas Comentadas) reúne as fontes científicas, normativas e técnicas utilizadas na elaboração do produto, em formato ABNT e com comentários analíticos sobre a contribuição de cada obra para o desenvolvimento do modelo de Sergipe. As referências incluem relatórios técnicos (Embrapa, IPCC, Verra, UNEP, Banco Mundial), legislação (federal e estadual), artigos científicos e bases geoespaciais (MapBiomas, INPE, ANA, IBGE, IPEA).

Por fim, o Capítulo 11 (Apêndices Técnicos e Complementares) consolida os anexos metodológicos e operacionais que sustentam as análises do produto.

O mencionado Capítulo está subdividido da seguinte forma:

- Apêndice A – Parâmetros de Sequestro e Equações, com os modelos matemáticos e fatores de conversão;
- Apêndice B – Modelagem Financeira e Simulações, com os cálculos completos de fluxo de caixa;
- Apêndice C – Base de Dados Geoespacial e NDVI, contendo as fontes e séries de dados utilizadas;
- Apêndice D – Estrutura do FEAAC e Fluxos Financeiros, detalhando a operação do fundo estadual;
- Apêndice E – Exigência Metodológica para Certificação de Projetos de Carbono na Caatinga, com referências à Verra, Gold Standard, ART-TREES e experiência da Serra das Almas;
- Apêndice F – Metodologias e Instrumentos Complementares (MRV, PSA, Salvaguardas e Governança), descrevendo os protocolos técnicos e

institucionais;

- Apêndice G – Ativos Adicionais Elegíveis pela Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e Guia de Viabilidade, abordando PSA hídrico, créditos de metano e biodiversidade.

Essa estrutura garante que o documento cumpra integralmente os requisitos do Termo de Referência elaborado pela SEMAC que deu origem ao Contrato nº 08/2025 (processo nº 192/2025), fornecendo uma visão completa do ciclo de vida do crédito de carbono — da quantificação científica à governança financeira. O Produto 5.2, articulado ao futuro Produto 5.3, formará a base operacional do Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE), assegurando que o Estado de Sergipe disponha de um modelo técnico, econômico e institucional validável, replicável e financeiramente sustentável.

3. CONTEXTO INTERNACIONAL E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. O ACORDO DE PARIS E A GOVERNANÇA CLIMÁTICA GLOBAL

O Acordo de Paris, adotado em dezembro de 2015 durante a 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), representa o marco normativo mais importante da governança climática contemporânea. Diferentemente do Protocolo de Quioto (1997), que impunha metas de redução de emissões apenas a países desenvolvidos, o Acordo de Paris institui um sistema de contribuições nacionalmente determinadas (*Nationally Determined Contributions – NDCs*), universal e vinculante, que abrange todos os signatários. Esse novo modelo desloca o eixo da ação climática de um regime de obrigações internacionais centralizadas para um regime de responsabilidade compartilhada e progressiva, baseado na autodeterminação dos compromissos nacionais e na transparência dos resultados.

O Brasil ratificou o Acordo de Paris por meio do Decreto Legislativo nº 140, de 2016 e o promulgou pelo Decreto Federal nº 9.073. de 2017, comprometendo-se a reduzir suas emissões em 37% até 2025 e 43% até 2030, em relação aos níveis de 2005. As ações brasileiras concentram-se em cinco eixos: (i) expansão da matriz energética renovável, (ii) combate ao desmatamento ilegal, (iii) recuperação de pastagens degradadas, (iv) aumento da eficiência energética, e (v) promoção de práticas agrícolas de baixo carbono. Esses compromissos são operacionalizados por meio de instrumentos como o Plano

Nacional de Mudança do Clima (PNMC), o Plano ABC+ (Agricultura de Baixo Carbono) e a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA).

No âmbito da governança global, o Acordo de Paris introduziu três pilares normativos fundamentais para a implementação da ação climática:

1. o Mecanismo de Transparência Reforçado (*Enhanced Transparency Framework – ETF*);
2. o Artigo 6, que regula os mecanismos de cooperação internacional e mercados de carbono; e
3. o Mecanismo de Financiamento Climático, articulado com o Fundo Verde para o Clima (*Green Climate Fund – GCF*).

Esses pilares compõem a arquitetura operacional do regime climático global e fundamentam os modelos subnacionais de mitigação, como o Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE).

3.1.1. O ARTIGO 6 E OS MECANISMOS DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

O Artigo 6 do Acordo de Paris é o principal instrumento jurídico de governança econômica do carbono em escala global. Ele reconhece a possibilidade de que países e entidades subnacionais cooperem entre si para alcançar suas metas de mitigação, por meio da transferência de Resultados de Mitigação Internacionalmente Transferíveis (*Internationally Transferred Mitigation Outcomes – ITMOs*).

O Artigo 6 se subdivide em três parágrafos operacionais:

- Art. 6.2: trata da cooperação entre países com transferência bilateral de ITMOs, exigindo ajuste correspondente para evitar dupla contagem;
- Art. 6.4: cria um mecanismo centralizado de mercado, administrado por órgão da UNFCCC, sucessor do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto;
- Art. 6.8: estabelece arranjos não baseados em mercado, voltados a iniciativas de mitigação cooperativa sem transações financeiras diretas.

A operacionalização do Artigo 6 redefine a natureza dos créditos de carbono, que passam a ser reconhecidos como ativos ambientais regulados, vinculados às NDCs e sujeitos a regras de integridade, rastreabilidade e ajuste contábil. Essa estrutura influencia diretamente o modelo proposto por Sergipe: embora o Estado não possua personalidade

internacional para celebrar transferências de ITMOs, ele pode desenvolver programas jurisdicionais compatíveis com o Artigo 6, de forma a gerar créditos elegíveis para uso voluntário e, futuramente, para mercados regulados nacionais ou federativos.

A autoridade nacional brasileira para o Artigo 6, criada pela Portaria Interministerial MMA–MRE–MF nº 478, de 3 de novembro de 2022, que dispõe sobre os procedimentos para a operacionalização dos créditos de carbono no âmbito do Artigo 6º do Acordo de Paris, estabelece que qualquer projeto ou programa que vise à comercialização de créditos no mercado internacional deve obter autorização federal. Assim, o PJCI-SE foi concebido de modo a garantir interoperabilidade e rastreabilidade com o SINARE (Sistema Nacional de Redução de Emissões), previsto no Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023, antecipando a futura integração do mercado estadual com o mercado federal e com o registro internacional administrado pela UNFCCC.

3.1.2. O MECANISMO DE TRANSPARÊNCIA REFORÇADO (ETF)

O Mecanismo de Transparência Reforçado, previsto nos Artigos 13 e 15 do Acordo de Paris, substitui os sistemas anteriores de relatórios nacionais (*National Communications*) por um modelo unificado de inventários e revisões periódicas, aplicável a todos os países, que exige que cada parte reporte: (i) as emissões e remoções de GEE; (ii) os progressos na implementação de suas NDCs; e (iii) o apoio financeiro e técnico recebido ou fornecido.

A periodicidade e o formato dos relatórios são determinados pelas Diretrizes de Transparência da UNFCCC (2021), que impõem aos países a adoção de metodologias compatíveis com o IPCC 2006/2019 e a apresentação de dados em formato padronizado (*Common Reporting Tables – CRTs*). No caso brasileiro, a responsabilidade pela consolidação dos inventários é do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), por meio da Coordenação-Geral de Clima e Sustentabilidade (CGCL).

Em nível subnacional, a implementação do ETF implica que estados e municípios passem a desenvolver inventários próprios, compatíveis com os relatórios nacionais. O Estado de Sergipe, ao adotar o modelo jurisdicional de carbono, antecipa essa exigência e cria um subsistema estadual de transparência climática, em que o RECA-SE (Registro Estadual de Créditos Ambientais) e o SIG-PEPSACI funcionarão como plataformas de coleta, verificação e divulgação pública dos dados de emissões, sequestro e compensação.

Essa estrutura permitirá que Sergipe reporte de forma independente seus avanços e contribua diretamente para a consolidação das metas brasileiras sob o Acordo de Paris, reforçando o princípio da responsabilidade compartilhada.

3.1.3. FINANCIAMENTO CLIMÁTICO E O FUNDO VERDE PARA O CLIMA (GCF)

O Fundo Verde para o Clima *(Green Climate Fund – GCF*) é o principal mecanismo financeiro multilateral de apoio à implementação do Acordo de Paris. Criado em 2010 durante a COP 16 (Cancún) e operacionalizado em 2014, o GCF é administrado pelo Secretariado da UNFCCC e supervisionado pelo Conselho do GCF (Board), composto paritariamente por países desenvolvidos e em desenvolvimento. Seu mandato é canalizar recursos para ações de mitigação e adaptação, priorizando países vulneráveis e programas de alto impacto climático.

O GCF financia projetos por meio de entidades acreditadas (*Accredited Entities – AEs*), que podem ser bancos de desenvolvimento, agências nacionais ou instituições multilaterais. No Brasil, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Banco do Nordeste (BNB) e a Caixa Econômica Federal são entidades acreditadas. O Estado de Sergipe, ao estruturar o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), cria as condições institucionais para que esse fundo seja reconhecido como veículo de cofinanciamento de projetos elegíveis ao GCF, permitindo a captação de recursos internacionais não reembolsáveis ou de baixo custo.

Além do GCF, o programa sergipano poderá acessar instrumentos complementares de finanças climáticas, como o *Global Environment Facility (GEF*), o *REDD+ Early Movers (REM), o Amazon Fund, o NAMA Facility* e o Fundo Clima Nacional, administrado pelo BNDES. O conjunto desses mecanismos constitui o ecossistema financeiro do Acordo de Paris, cujo objetivo é mobilizar US$ 100 bilhões anuais para mitigação e adaptação em países em desenvolvimento.

Ao alinhar-se a essa estrutura, o Estado de Sergipe, não apenas reforça sua capacidade de financiamento, mas, também, insere seu programa em uma cadeia global de rastreabilidade e integridade, pré-condição para a certificação e comercialização internacional de créditos jurisdicionais.

3.1.4. GOVERNANÇA CLIMÁTICA MULTINÍVEL E PAPEL DOS ENTES SUBNACIONAIS

O Acordo de Paris consolidou a noção de governança climática multinível, reconhecendo o papel dos entes subnacionais — estados, províncias, regiões e municípios — na implementação das metas de mitigação. Essa abordagem rompe com a visão exclusiva da soberania nacional e introduz a ideia de responsabilidade compartilhada vertical, em que diferentes níveis de governo contribuem de forma coordenada para o cumprimento das NDCs.

Diversas plataformas multilaterais foram criadas para articular a ação climática subnacional, como o *Under Coalition, o Regions Sustainable Development* e o *Race to Zero*. No Brasil, os estados do Acre, Mato Grosso, Pará e São Paulo já integram redes internacionais de mitigação baseadas em REDD+, PSA e bioeconomia. Sergipe, ao adotar o modelo jurisdicional de carbono, passa a integrar essa dinâmica e posiciona-se como referência no semiárido brasileiro, promovendo um modelo de governança que integra biomas distintos (Caatinga e manguezais) sob um mesmo sistema normativo e financeiro.

A arquitetura institucional proposta pela SEMAC e pela Desenvolve-SE traduz em termos práticos o conceito de governança climática de segunda geração, caracterizada por três elementos: (a) centralização regulatória e descentralização operacional, na qual o Estado define normas e metodologias, e os provedores locais executam ações de campo; (b) integração entre política climática e política econômica, por meio do PSEV; e (c) mecanismos de transparência digital, como o RECA-SE e o SIG-PEPSACI. Esse modelo confere a Sergipe uma posição estratégica dentro da governança global, permitindo que o Estado funcione como interface entre o nível nacional e o mercado internacional de carbono.

3.2. EVOLUÇÃO DOS MERCADOS DE CARBONO E PADRÕES DE CERTIFICAÇÃO

A trajetória dos mercados de carbono reflete a transformação estrutural da governança climática global ao longo das últimas três décadas. Esses mercados emergiram como instrumentos econômicos voltados à precificação das externalidades ambientais negativas associadas às emissões de gases de efeito estufa (GEE), introduzindo a lógica da compensação como mecanismo de eficiência alocativa na política ambiental internacional. Desde a institucionalização do Protocolo de Quioto (1997) até a implementação dos mecanismos do Acordo de Paris (2015), os sistemas de

comércio de emissões evoluíram de um regime centralizado e restrito a países desenvolvidos para uma arquitetura descentralizada, multinível e cada vez mais integrada aos mercados financeiros.

3.2.1. O PROTOCOLO DE QUIOTO E O NASCIMENTO DOS MECANISMOS DE MERCADO

O Protocolo de Quioto, firmado no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e em vigor entre 2005 e 2020, foi o primeiro instrumento jurídico internacional a estabelecer metas quantitativas obrigatórias de redução de emissões para países industrializados, designados como “Anexo I”. Para viabilizar o cumprimento econômico dessas metas, o protocolo criou três mecanismos de flexibilização: (i) Comércio Internacional de Emissões (IET), (ii) Implementação Conjunta (JI), e (iii) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi o mais relevante para os países em desenvolvimento. Ele permitia que projetos implementados em territórios não-Anexo I (como o Brasil) gerassem Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), cada uma equivalente a uma tonelada de CO_2 evitada, desde que fossem adicionais, verificáveis e temporariamente permanentes. O MDL estabeleceu padrões rigorosos de contabilidade e criou um mercado internacional regulado de créditos de carbono, supervisionado pelo Executive Board (EB) da UNFCCC.

O Brasil foi um dos protagonistas do MDL, tendo registrado mais de 340 projetos, principalmente nos setores de energia renovável, resíduos sólidos e mudança de uso da terra. No entanto, o modelo apresentou limitações:

- dependência excessiva de aprovação centralizada;
- custos transacionais elevados;
- exclusão de atividades de pequena escala e de reflorestamento em biomas semiáridos; e
- colapso de preços após a crise de 2008 e a retração da demanda europeia.

Essas limitações levaram à fragmentação do mercado e à proliferação de mecanismos voluntários, fora do escopo da UNFCCC, nos quais empresas e governos subnacionais passaram a comercializar reduções de emissões de forma independente.

3.2.2. O MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO (VCM) E A TRANSIÇÃO PARA PADRÕES INDEPENDENTES

O mercado voluntário de carbono (Voluntary Carbon Market – VCM) surgiu como resposta à rigidez institucional do MDL. Ele é caracterizado por sua autonomia regulatória, sendo regido por certificadoras privadas que desenvolvem metodologias próprias para mensuração, relato e verificação das reduções e remoções de GEE. Nesse sistema, a demanda é impulsionada por empresas e instituições que buscam neutralizar voluntariamente suas emissões ou antecipar exigências regulatórias futuras.

Entre 2005 e 2023, o VCM expandiu-se de maneira exponencial, alcançando cerca de US$ 2 bilhões em volume anual de transações (*ECOSYSTEM MARKETPLACE*, 2023). O número de metodologias e padrões cresceu significativamente, refletindo uma diversidade de abordagens, tipos de projeto e níveis de integridade. As três certificadoras de maior relevância internacional são:

1. Verra – *Verified Carbon Standard (VCS*): criada em 2005, é atualmente o maior sistema de certificação voluntária do mundo, com mais de 1.800 projetos registrados. A Verra estabelece metodologias para diferentes setores (florestas, energia, agricultura, resíduos) e administra créditos denominados *Verified Carbon Units (VCUs*), reconhecidos globalmente.
2. *Gold Standard for the Global Goals (GS4GG*): fundada em 2003 pelo WWF e outras organizações, adota enfoque integrador, associando mitigação climática a metas de desenvolvimento sustentável (ODS). Exige comprovação de co-benefícios sociais, igualdade de gênero e impactos comunitários.
3. *ART-TREES – Architecture for REDD+ Transactions*: criado em 2020 pela *Environmental Defense Fund (EDF)* e parceiros multilaterais, foca em programas jurisdicionais de REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal), alinhados às diretrizes da UNFCCC e do Acordo de Paris.

Além desses sistemas, há outras certificadoras relevantes, como Plan Vivo, *Climate Action Reserve (CAR) e American Carbon Registry (ACR*), porém de menor abrangência geográfica ou setorial.

O VCM consolidou a transição de um modelo de *compliance* (regulado) para um modelo de integridade ambiental baseada em padrões privados, no qual a confiança do mercado depende da credibilidade das certificadoras e da rastreabilidade das informações. A proliferação de padrões, contudo, gerou desafios relacionados à padronização contábil, dupla contagem e transparência. Em resposta, surgiram instâncias suprarregulatórias,

como o *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM*) e a *Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative (VCMI*), responsáveis por definir critérios universais de qualidade e boas práticas para créditos voluntários.

3.2.3. DA ESCALA DE PROJETOS À ESCALA JURISDICIONAL: O PARADIGMA REDD+

A década de 2010 marcou a transição do paradigma de projetos isolados para o paradigma de programas jurisdicionais, especialmente no campo das florestas tropicais. O conceito de REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*), consolidado nas decisões da UNFCCC (COPs 13 a 21), ampliou o escopo do combate ao desmatamento ao incluir o manejo sustentável de florestas e o aumento dos estoques de carbono. O acréscimo do sinal "+" representa justamente essa ampliação conceitual.

O REDD+ jurisdicional implica que as reduções de emissões sejam contabilizadas não em nível de projeto, mas em escala de jurisdição administrativa — estado, província ou país. Essa abordagem permite maior controle público, redução de sobreposição entre projetos e coerência com as metas nacionais. O modelo foi adotado com sucesso em países como Costa Rica, Colômbia, Indonésia e Peru, e no Brasil pelo Programa REM *(REDD Early Movers*), implementado nos estados do Acre e Mato Grosso com apoio do governo alemão (KfW).

O *ART-TREES (The REDD+ Environmental Excellence Standard*), criado em 2020, é o principal sistema de certificação voltado a programas jurisdicionais. Ele combina os requisitos técnicos da UNFCCC com auditoria independente e protocolos de transparência digital. O ART-TREES reconhece créditos jurisdicionais denominados TREES Units (tCO_2e), que podem ser comercializados diretamente entre governos ou com o setor privado. Esse modelo inspirou a estrutura do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe, especialmente no desenho do RECA-SE (Registro Estadual de Créditos Ambientais) e no princípio de responsabilidade pública pela integridade das reduções.

3.2.4. METODOLOGIAS DE CERTIFICAÇÃO APLICÁVEIS: VERRA, GOLD STANDARD E ART-TREES

A Verra mantém um portfólio de metodologias específicas, denominadas *Verified Carbon Standard Methodologies (VMs)*, que orientam a quantificação,

monitoramento e verificação de emissões evitadas ou removidas. As metodologias mais relevantes para o caso de Sergipe são:

- VM0047 (Verra, 2023): *Afforestation, Reforestation and Revegetation of Lands Other Than Wetlands*, aplicável à regeneração da Caatinga e áreas de pastagem degradada;
- VM0009 (Verra, 2022): *Tidal Wetland and Seagrass Restoration Methodology*, usada para manguezais e ecossistemas costeiros;
- VM0042 (Verra, 2022): *Improved Agricultural Land Management*, complementar para solos agrícolas do semiárido.

A Gold Standard (GS4GG) adota uma metodologia unificada de *Afforestation/Reforestation (A/R)* voltada a pequenos produtores e comunidades, enfatizando co-benefícios sociais e contribuição aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 1 (Erradicação da pobreza), 5 (Igualdade de gênero), 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), 13 (Ação climática) e 15 (Vida terrestre). Essa abordagem é particularmente relevante para o componente PSA comunitário do programa de Sergipe.

O ART-TREES, diferentemente das certificadoras anteriores, não trabalha com projetos isolados, mas com programas jurisdicionais validados por governos. Seu processo exige: (a) inventário florestal completo da jurisdição; (b) linha de base (*reference level*) verificada pela UNFCCC; (c) auditoria independente; (d) sistema MRV público; e (e) mecanismos de distribuição de benefícios (*Benefit Sharing Mechanism – BSM*). A compatibilidade entre o ART-TREES e o PJCI-SE é direta: ambos são estruturados sob autoridade pública, operam registros centralizados e integram sistemas de rastreabilidade contábil. Essa equivalência técnica confere legitimidade internacional ao modelo de Sergipe.

3.2.5. INTEGRIDADE E PADRONIZAÇÃO GLOBAL

Com a expansão dos mercados voluntários, surgiram questionamentos sobre a integridade ambiental de determinados créditos, especialmente os associados a florestas tropicais. Reportagens e revisões científicas recentes (ex.: *The Guardian*, 2023; *Science*, 2022) apontaram inconsistências na contabilidade de emissões evitadas e ausência de adicionalidade em parte dos projetos. Em resposta, foi criado o *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM)*, que desenvolveu o *Core Carbon Principles (CCPs)*

– um conjunto de dez princípios de integridade que definem o que constitui um crédito de alta qualidade. Entre esses princípios destacam-se:

- adicionalidade demonstrável;
- permanência mínima de 40 anos;
- rastreabilidade e transparência pública;
- verificação independente; e
- salvaguardas sociais e de direitos humanos.

A adesão aos CCPs é condição para que créditos voluntários sejam reconhecidos por plataformas institucionais e fundos climáticos. O Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe foi concebido de modo a aderir integralmente aos CCPs, adotando mecanismos de rastreabilidade (RECA-SE + blockchain), validação por VVBs acreditadas e salvaguardas sociais alinhadas à Política Nacional de PSA (Lei nº 14.119/2021).

O *Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative (VCMI)*, complementando o ICVCM, define critérios de uso corporativo de créditos de alta integridade, reforçando a demanda por ativos verificados. Essa dupla camada de governança (ICVCM/VCMI) cria um selo de credibilidade global, essencial para programas subnacionais que pretendem acessar mercados corporativos internacionais, como é o caso de Sergipe.

3.2.6. INSERÇÃO DE SERGIPE NO ECOSSISTEMA INTERNACIONAL

A evolução dos mercados de carbono estabeleceu um ambiente no qual a integridade, a rastreabilidade e a autoridade pública são os fatores determinantes de valor econômico. Estados e municípios que conseguem construir sistemas compatíveis com os padrões internacionais passam a ocupar posições estratégicas como fornecedores de créditos premium, associados à segurança jurídica e ao impacto social positivo. O Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) foi desenhado exatamente dentro desse paradigma:

- adota metodologias reconhecidas (Verra, GS4GG, ART-TREES);
- estabelece um registro público interoperável (RECA-SE);
- mantém controle estatal sobre MRV e certificação; e
- integra um fundo financeiro (FEAAC) que cumpre padrões fiduciários internacionais.

Com essa estrutura, Sergipe insere-se na nova geração de programas de carbono, capazes de operar simultaneamente no mercado voluntário e de se preparar para a futura integração ao mercado regulado nacional (SBCE). O Estado posiciona-se, assim, como o primeiro da região Nordeste a estruturar um mercado jurisdicional híbrido, capaz de converter seus ativos ambientais — Caatinga e manguezais — em instrumentos financeiros certificados de mitigação global.

Em síntese, a evolução dos mercados de carbono demonstra que o valor do crédito não deriva apenas do carbono em si, mas da confiança institucional e metodológica que o sustenta. O modelo proposto por Sergipe internaliza esse aprendizado histórico, estruturando um sistema público de certificação e gestão de créditos que combina rigor técnico, legitimidade jurídica e transparência contábil. Essa aderência aos padrões internacionais é a condição necessária para que o programa alcance escala, integridade e atratividade financeira no cenário global.

3.3. INTEGRIDADE, ADICIONALIDADE E PERMANÊNCIA

A credibilidade de qualquer sistema de certificação de carbono repousa sobre três fundamentos conceituais e metodológicos: integridade ambiental, adicionalidade e permanência. Esses princípios formam o núcleo epistemológico dos padrões internacionais de medição, relato e verificação (MRV) e definem se um crédito de carbono é real, mensurável, verificável e duradouro. O Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) foi desenhado para atender a esses critérios em sua totalidade, integrando mecanismos de governança técnica, verificação independente e rastreabilidade digital.

3.3.1. INTEGRIDADE AMBIENTAL: O PRINCÍPIO DE VERACIDADE E CONSISTÊNCIA

A integridade ambiental é o princípio que assegura que as reduções ou remoções declaradas representem ganhos climáticos reais, quantificáveis e livres de dupla contagem. O conceito foi consolidado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e, mais recentemente, pelos Core Carbon Principles (CCPs) do Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM). Ele exige a observância de quatro critérios fundamentais:

1. Mensurabilidade (*measurability*): as reduções ou remoções devem ser quantificáveis por métodos científicos reconhecidos, baseados em dados empíricos e verificáveis.
2. Verificabilidade (*verifiability*): as informações devem ser auditáveis por terceiros independentes, de forma transparente e rastreável.
3. Exclusividade (no *double counting)*: o mesmo resultado de mitigação não pode ser reivindicado simultaneamente por diferentes partes (por exemplo, Estado e empresa privada).
4. Adicionalidade e Permanência: componentes derivados, que asseguram a autenticidade e a durabilidade do benefício climático.

A integridade deve ser operacionalizada no PJCI-SE por meio de um Sistema Estadual de MRV (Monitoramento, Relato e Verificação), que siga as diretrizes do IPCC 2019 Refinement e do ART-TREES 2023. O sistema deve utilizar imagens de satélite de alta resolução (Sentinel-2 L2A e Landsat 8/9) processadas no Google Earth Engine (GEE), integradas a inventários de biomassa de campo supervisionados pela Embrapa Semiárido e pela Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Esses dados alimentarão o RECA-SE (Registro Estadual de Créditos Ambientais), que armazenará digitalmente cada crédito com metadados de origem (bioma, localização, tipo de projeto, data de verificação, certificadora e volume em tCO_2e). Cada transação é registrada em camada blockchain pública, garantindo impossibilidade de duplicação ou manipulação.

Além disso, o sistema estadual deve adotar ajustes correspondentes voluntários, compatíveis com o Artigo 6.2 do Acordo de Paris, o que significa que as reduções jurisdicionais reconhecidas pelo Estado não poderão ser simultaneamente declaradas pelo Governo Federal sem consentimento recíproco — garantindo transparência e alinhamento às regras internacionais de contabilidade de carbono.

3.3.2. ADICIONALIDADE: O PRINCÍPIO CONTRAFACTUAL DA MITIGAÇÃO

O princípio da adicionalidade assegura que o resultado climático obtido (redução ou remoção de GEE) não ocorreria na ausência do projeto ou programa. Em termos técnicos, ele se baseia na comparação entre o cenário com projeto (intervenção) e o cenário contrafactual (linha de base).

Formalmente, define-se adicionalidade quando:

$$A = E_{baseline} - E_{projeto} > 0$$

onde:

A= adicionalidade líquida (tCO_2e);

$E_{baseline}$= emissões no cenário de referência sem intervenção;

$E_{projeto}$= emissões observadas após a implementação do programa.

O cálculo da adicionalidade depende da correta definição da linha de base, construída a partir de séries históricas de uso e cobertura da terra, taxas de desmatamento e padrões socioeconômicos regionais.

No caso do PJCI-SE, a linha de base foi estabelecida com base nos dados do MapBiomas (1985–2023) e dos sistemas PRODES e DETER/INPE (2010–2024), já citados, que indicam uma perda anual média de 0,18% da Caatinga e 35 ha/ano de manguezal em Sergipe. A partir desses dados, estimou-se o cenário *business as usual* (BAU), contra o qual são comparados os ganhos de carbono decorrentes das ações de restauração e conservação.

A adicionalidade é avaliada segundo cinco dimensões, conforme as metodologias Verra VM0047 (ARR) e VM0009 (REDD+/Blue Carbon):

1. Regulatória: o projeto não é exigido por lei (por exemplo, não se confunde com obrigação de reserva legal ou APP).
2. Financeira: o retorno financeiro do projeto é inferior ao de atividades convencionais (agricultura extensiva, especulação fundiária) sem o incentivo do crédito de carbono.
3. Tecnológica: o projeto introduz inovação ou técnica não difundida localmente (reflorestamento assistido, bioengenharia de mangue).
4. Institucional: o projeto é viabilizado por um arranjo de governança específico, inexistente no cenário de referência.
5. Temporal: as emissões evitadas ou removidas são mensuráveis dentro de um período de creditação pré-definido (normalmente 10 a 40 anos).

O Programa Jurisdicional de Carbono Integral incorpora esses critérios de forma sistêmica. A SEMAC é responsável por atestar a adicionalidade regulatória, garantindo que apenas áreas voluntárias ou degradadas sejam incluídas. A Desenvolve-SE avalia a adicionalidade financeira, mediante análise de custo de oportunidade e retorno esperado.

Já a adicionalidade tecnológica e institucional é comprovada pela adoção de técnicas e modelos de governança inéditos no território, como o Pagamentos por Serviços Ambientais Integrado (PSA-CI), previsto no Projeto de Lei do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI).

A metodologia também prevê a validação contrafactual contínua, pela qual a linha de base é reavaliada a cada cinco anos, conforme as práticas de *dynamic baselining* adotadas por ART-TREES (2023) e Verra (2022). Essa revisão periódica evita que ganhos climáticos sejam superestimados em contextos de mudança estrutural (por exemplo, redução espontânea de desmatamento).

3.3.3. PERMANÊNCIA: O PRINCÍPIO DA DURABILIDADE DO ESTOQUE DE CARBONO

A permanência refere-se à garantia de que o carbono removido ou as emissões evitadas permanecerão estocadas por longo prazo, sem reversão. O IPCC define a permanência mínima de 40 anos para créditos florestais, mas as certificadoras exigem salvaguardas que se estendam a até 100 anos, dependendo do tipo de ecossistema.

A permanência é particularmente sensível em projetos de REDD+ e ARR, sujeitos a riscos de incêndio, desmatamento, pragas, eventos climáticos extremos ou mudanças de uso do solo. Para mitigar esses riscos, todas as certificadoras exigem a criação de buffers de risco (*risk buffers*) — reservas de créditos não comercializáveis que funcionam como garantia ambiental. A fórmula geral para cálculo do buffer é:

$$B = (R_i + R_s + R_e) \times P$$

onde:
R_i= risco de incêndio (%);
R_s= risco socioeconômico (conflitos fundiários, abandono de projeto);
R_e= risco ecológico (pragas, erosão, eventos extremos);
P= probabilidade composta de reversão.

No PJCI-SE, o buffer de risco é definido entre 10% e 15% do total de créditos gerados, conforme metodologia Verra VM0047 (2023). Essa reserva é gerida diretamente pelo FEAAC (Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono) e mantida como saldo contábil não comercializável. Caso ocorra reversão (por exemplo, incêndio), os créditos

do buffer são automaticamente aposentados (*retired*)[22] para compensar a perda, preservando a integridade do estoque total do programa.

A permanência também depende de mecanismos socioeconômicos que reduzam a pressão sobre as áreas restauradas. Nesse sentido, o PJCI-SE prevê integração com políticas públicas complementares, como:

- programas de agricultura de baixo carbono (ABC+);
- estímulos à bioeconomia e ao turismo ecológico;
- e contratos de PSA com proprietários e comunidades locais, garantindo renda contínua e corresponsabilidade.

Essas estratégias criam incentivos positivos de longo prazo, convertendo a conservação em ativo econômico e diminuindo o risco de reversão. Além disso, os contratos de PSA terão prazo mínimo de 10 anos, renováveis, e cláusulas de penalidade para abandono injustificado, conforme modelo de governança inspirado no Programa REM-MT (2021) e no Fondo de Carbono da Costa Rica (FONAFIFO, 2020).

3.3.4. INTERDEPENDÊNCIA DOS PRINCÍPIOS

Embora tratados separadamente, integridade, adicionalidade e permanência são princípios interdependentes. A ausência de qualquer um compromete a credibilidade do crédito de carbono.

- Sem integridade, o crédito é inválido.
- Sem adicionalidade, o crédito é inútil (não representa ganho real).
- Sem permanência, o crédito é instável (pode ser revertido).

Por isso, o PJCI-SE adota uma arquitetura de camadas de integridade (*integrity layers*):

1. Camada técnica, com metodologias IPCC/Verra;
2. Camada institucional, com certificação e validação pública pela SEMAC;

[22] Verra. (2023*). Program Guide – Verified Carbon Standard (VCS) Program, Version 4.*5. Washington, DC: Verra. No âmbito dos mercados de carbono, o termo "*retirement*" (ou aposentadoria) designa o ato de retirar permanentemente um crédito de carbono do mercado, impedindo sua revenda ou novo uso. Essa ação ocorre após a compensação efetiva das emissões correspondentes e é registrada publicamente em registros oficiais (como o Verra Registry), garantindo transparência, rastreabilidade e integridade ambiental ao ciclo de vida do crédito.

3. Camada financeira, com buffers e garantias do FEAAC;
4. Camada social, com PSA e salvaguardas de direitos humanos;
5. Camada tecnológica, com rastreabilidade digital (RECA-SE + blockchain).

Essa estrutura assegura integridade integral — conceito que vai além da soma dos três princípios e reflete a capacidade do Estado de gerir o ciclo completo do ativo ambiental, desde a mensuração até a monetização.

No contexto internacional, programas que adotaram arquitetura semelhante (ex.: ART-TREES Costa Rica, REDD+ Acre/REM) alcançaram valores de comercialização até 30% superiores aos créditos convencionais de projeto, devido à confiança institucional agregada. Sergipe, ao adotar o mesmo padrão, posiciona-se para gerar créditos premium, reconhecidos em plataformas internacionais de compensação corporativa, como Climate Impact X, CIX Exchange e AirCarbon Exchange.

3.3.5. A OPERACIONALIZAÇÃO NO CONTEXTO SERGIPANO

No Estado de Sergipe, a aplicação prática desses princípios ocorre por meio de instrumentos normativos e operacionais interligados:

- a Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, que institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e prevê a criação de instrumentos econômicos de mitigação;
- o Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, que estabelece o PSEV e o FEAAC;
- e o Projeto de Lei do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI), que disciplina os contratos de PSA e define as salvaguardas socioambientais.

Esses instrumentos fornecem a base jurídica necessária para assegurar a integridade legal, complementando a integridade ambiental e financeira. A SEMAC, como autoridade técnica, supervisionará a implementação dos princípios de integridade e adicionalidade; a Desenvolve-SE, como gestora do FEAAC, garantirá a permanência financeira; e o RECA-SE fornecerá transparência pública aos resultados.

Em termos técnicos, os princípios são incorporados ao sistema MRV estadual como variáveis operacionais:

- a integridade é controlada via validação de dados e auditoria independente;

- a adicionalidade é testada por análises contrafactuais periódicas;
- e a permanência é monitorada por sensores remotos, vistorias de campo e mecanismos de compensação automática via buffer.

Com isso, o programa de Sergipe alcança conformidade integral com os requisitos de integridade estabelecidos pelos Core Carbon Principles (ICVCM, 2023)[23] e pelos critérios do VCMI (2024)[24], situando-se na categoria de créditos de alta integridade jurisdicional (*High-Integrity Jurisdictional Credits*).

Em síntese, os princípios de integridade, adicionalidade e permanência não são apenas exigências metodológicas, mas condições estruturantes da confiança do mercado. O Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) os incorpora de maneira sistêmica, assegurando que cada crédito emitido represente um benefício climático real, mensurável, duradouro e juridicamente válido. Essa solidez conceitual é o que distingue Sergipe como modelo de governança climática avançada, capaz de conciliar rigor científico, controle público e atratividade econômica.

3.4. FINANÇAS CLIMÁTICAS E ECONOMIA DO CARBONO

A transição para uma economia de baixo carbono exige a reconfiguração dos fluxos de investimento público e privado em escala global. Essa transformação, denominada finança climática (*climate finance*), refere-se à mobilização de recursos financeiros para mitigação e adaptação às mudanças climáticas, com ênfase na precificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e na remuneração de serviços ecossistêmicos.

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, AR6, 2022), para limitar o aquecimento global a 1,5 °C até 2050, os investimentos anuais em mitigação e adaptação devem atingir US$ 4 trilhões por ano até 2030, o que representa aproximadamente 2% do PIB global. Entretanto, o fluxo real em 2023 foi de apenas US$

[23] *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM). (2023). Core Carbon Principles, Assessment Framework and Assessment Procedure. London: ICVCM*. O documento estabelece os Core Carbon Principles (CCPs) — um conjunto de critérios científicos e de governança voltados a garantir a alta integridade ambiental, social e de transparência dos créditos de carbono no mercado voluntário. Serve como referência global de qualidade para padrões e programas como Verra, Gold Standard e ART-TREES.

[24] *Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative (VCMI). (2024). Claims Code of Practice, Version 2.0. London: VCMI*. Este guia define os critérios e boas práticas para o uso responsável de créditos de carbono por empresas e governos, estabelecendo diretrizes para declarações climáticas (claims) verificáveis e compatíveis com o Acordo de Paris, complementando os *Core Carbon Principles do ICVCM*.

1,3 trilhão (*Climate Policy Initiative,* 2024), revelando um déficit financeiro estrutural. Essa lacuna constitui o eixo central das finanças climáticas contemporâneas: converter capital privado e público em instrumentos de transição ecológica com retorno econômico mensurável.

O Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) se insere nesse contexto global como instrumento de economia do carbono — um campo econômico emergente que internaliza o valor do carbono como ativo financeiro e integra políticas de mitigação às estratégias de desenvolvimento. A seguir, são apresentados os fundamentos teóricos e práticos dessa estrutura.

3.4.1. O CONCEITO DE ECONOMIA DO CARBONO

A economia do carbono é o ramo da economia ambiental que busca atribuir valor econômico às emissões evitadas e ao sequestro de carbono, convertendo externalidades ambientais em ativos transacionáveis. O fundamento teórico remonta a Pigou (1920), que formulou o princípio da internalização das externalidades negativas por meio de tributos e preços. No contexto climático, essa ideia evoluiu para mecanismos de precificação do carbono (*carbon pricing*), que englobam:

1. Mercados de comércio de emissões (cap-and-trade): sistema em que o governo define um teto de emissões (cap) e permite que empresas negociem permissões (*allowances*) de emissão, como ocorre no EU ETS (*European Union Emissions Trading System*) e no KETS (Korean ETS);
2. Tributação de carbono (*carbon tax*): imposto sobre o teor de CO_2 de combustíveis fósseis, adotado por países como Suécia, Canadá e Chile;
3. Mercados voluntários e híbridos: baseados em certificação e compensação, sem imposição legal, mas sujeitos a padrões de integridade (Verra, Gold Standard, ART-TREES).

O Acordo de Paris, por meio de seu Artigo 6, consolidou a legitimidade desses instrumentos, reconhecendo que a cooperação internacional por meio de mercados de carbono pode reduzir custos de mitigação em até 79% (Banco Mundial, *State and Trends of Carbon Pricing 2023*).

O valor econômico do carbono é, portanto, um preço sombra que reflete o custo social da emissão de uma tonelada de CO_2e. Estimativas recentes do US *Interagency Working Group* (2022) situam o Custo Social do Carbono (SCC) em US$ 51/tCO_2e, enquanto o Banco Mundial (2023) recomenda faixas entre US$ 25 e 75/tCO_2e até 2030

para atingir as metas do Acordo de Paris. O PJCI-SE adota essas referências como parâmetros de precificação de longo prazo, permitindo avaliar a viabilidade de seus programas de mitigação e o potencial de receita para o Estado.

3.4.2. INSTRUMENTOS INTERNACIONAIS DE FINANCIAMENTO CLIMÁTICO

A arquitetura das finanças climáticas internacionais foi consolidada ao longo das Conferências das Partes (COPs) da UNFCCC, criando um sistema de múltiplos fundos multilaterais. Os principais instrumentos atualmente ativos são:

- Fundo Verde para o Clima (*Green Climate Fund – GCF*): criado em 2010 (COP 16), é o principal mecanismo financeiro do Acordo de Paris, com mais de US$ 12,8 bilhões comprometidos até 2024. O GCF financia projetos de mitigação e adaptação em países em desenvolvimento, por meio de entidades acreditadas.
- *Global Environment Facility (GEF*): fundado em 1991, apoia projetos ambientais integrados e atua como mecanismo financeiro do Protocolo de Quioto e da Convenção da Biodiversidade.
- *REDD+ Early Movers (REM):* programa do governo alemão (KfW/BMZ) que remunera resultados jurisdicionais comprovados de redução de desmatamento.
- Fundo Clima (Brasil): instituído pela Lei nº 12.114, de 2009 e administrado pelo BNDES, destina recursos para mitigação e adaptação em território nacional.
- *NAMA Facility e Adaptation Fund*: instrumentos complementares voltados a mitigação setorial e resiliência climática.

O Estado de Sergipe, por meio do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), foi desenhado para operar como entidade subnacional implementadora, apta a receber recursos desses mecanismos. A Desenvolve-SE, como agência de fomento estadual, poderá atuar como entidade cofinanciadora, canalizando aportes externos para projetos locais elegíveis sob as regras do Green Climate Fund – Fundo Verde para o Clima (GCF) e do *Global Environment Facility* – Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF)[25].

[25] Ambos são mecanismos financeiros multilaterais criados no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). O GCF, estabelecido em 2010 pela Decisão 1/CP.16 (Acordo de Cancún), financia projetos de mitigação e adaptação climática em países em desenvolvimento.

3.4.3. MECANISMOS DE *BLENDED FINANCE* E ALAVANCAGEM DE CAPITAL PRIVADO

O termo blended finance refere-se à combinação de recursos públicos (*grant ou concessional*) com capital privado, com o objetivo de reduzir riscos e aumentar a atratividade de investimentos sustentáveis. Segundo a OECD (2023), cada dólar público investido em finanças climáticas mobiliza, em média, US$ 3 a 5 de capital privado.

O PJCI-SE adota a lógica de *blended finance* em sua estrutura. O FEAAC funcionará como instrumento de alavancagem financeira, combinando:

- recursos públicos estaduais e federais (Fundo Clima, ICMS Ecológico, orçamentos setoriais do PSEV);
- fundos internacionais (GCF, GEF, REM, BID, Banco Mundial);
- e investimentos privados em compensação voluntária e ESG corporativo.

A modelagem financeira permite estruturar fundos de coinvestimento, green bonds, debêntures verdes e Fundos de Investimento em Direitos Creditórios (FIDCs) vinculados a créditos de carbono.

Essa integração possibilita que o programa opere simultaneamente como política pública e ativo financeiro, garantindo sustentabilidade fiscal e atração de investidores.

A equação básica de alavancagem prevista para o FEAAC é:

$$K_{total} = K_{pub} + \alpha \times K_{priv}$$

onde:
K_{pub}= capital público inicial;
K_{priv}= capital privado mobilizado;
α= multiplicador de alavancagem (estimado em 3 a 5).

O GEF, criado em 1991 e operacionalizado pelo Banco Mundial, PNUD e PNUMA, é o principal fundo internacional de apoio à proteção ambiental global, incluindo biodiversidade, mudanças climáticas e manejo sustentável de recursos naturais.

Com base nessa estrutura, projeta-se que um investimento público inicial de R$ 300 milhões possa mobilizar até R$ 1,2 bilhão em capital privado e internacional ao longo da primeira década de operação.

3.4.4. PRECIFICAÇÃO E DINÂMICA DE MERCADO

A precificação do carbono no mercado voluntário é determinada por variáveis múltiplas: tipo de projeto, padrão de certificação, localização geográfica, cobenefícios sociais e risco de reversão. Segundo o relatório *Ecosystem Marketplace* (2023), os preços médios globais variam entre:

- US$ 8–15/tCO_2e para créditos de reflorestamento e ARR;
- US$ 10–20/tCO_2e para créditos de REDD+ jurisdicional;
- US$ 20–40/tCO_2e para projetos de *Blue Carbon* com certificação de alta integridade;
- até US$ 60/tCO_2e para créditos com forte impacto social (*Gold Standard* + ODS).

No caso de Sergipe, o mix de biomas (Caatinga e manguezais) permite gerar créditos híbridos, com perfil de risco moderado e alto potencial de valorização. A projeção de preço médio adotada para o período 2025–2065 situa-se em US$ 25/tCO_2e (cenário conservador), com possibilidade de aumento gradual até US$ 50/tCO_2e em cenários otimistas de demanda internacional.

A modelagem de fluxo financeiro do programa, detalhada no Apêndice B, mostra que cada hectare restaurado na Caatinga pode gerar entre 4 e 6 tCO_2e/ano, resultando em receita bruta de R$ 500 a R$ 1.500/ha/ano (a preços de 2025). Nos manguezais, o sequestro médio de 10 a 12 tCO_2e/ha/ano eleva o retorno potencial para R$ 2.000 a R$ 3.000/ha/ano. Esses valores tornam o programa competitivo frente a atividades tradicionais de baixo valor agregado, como pecuária extensiva ou monocultura de sequeiro.

3.4.5. O PAPEL DO FEAAC NA ESTRUTURA FINANCEIRA ESTADUAL

O Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) é o núcleo financeiro do PJCI-SE. Ele funcionará como conta única de lastro para todos os créditos gerados, registrando receitas, despesas, reservas de buffer e pagamentos de PSA. O fundo é de natureza contábil, vinculado à Desenvolve-SE, com governança compartilhada entre:

- SEMAC (autoridade técnica);
- Desenvolve-SE (gestora financeira);
- Secretaria da Fazenda (SEFAZ) (controle fiscal); e
- Conselho Gestor Tripartite, com representação da sociedade civil e setor produtivo.

O FEAAC poderá operar quatro modalidades financeiras:

1. Fundo Contábil de Compensação de Emissões – registra créditos gerados e aposentados;
2. Fundo de Garantia Ambiental (Buffer) – retém 10–15% dos créditos como reserva de risco;
3. Fundo de PSA e Inclusão Produtiva – remunera provedores de serviços ambientais (proprietários, comunidades, pescadores);
4. Fundo de Inovação Verde – financia P&D em bioeconomia, tecnologias de monitoramento e energias limpas.

Os fluxos financeiros seguirão a lógica de ciclo fechado de carbono: parte da receita de comercialização será reinvestida em novos projetos, ampliando o estoque de carbono e criando sustentabilidade financeira endógena. Esse modelo permite que o Estado reduza sua dependência de transferências externas e mantenha o controle público sobre o destino dos recursos.

3.4.6. FINANÇAS CLIMÁTICAS COMO VETOR DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL

A economia do carbono não é apenas um instrumento de mitigação, mas, também, um mecanismo de desenvolvimento territorial. Cada crédito de carbono representa trabalho, tecnologia e renda distribuída. No caso de Sergipe, estima-se que o PJCI-SE possa:

- gerar até 15 mil empregos diretos e indiretos nas cadeias de restauração e monitoramento;
- injetar R$ 80 milhões/ano em pagamentos de PSA;
- e adicionar 0,4 ponto percentual ao PIB estadual a partir de 2030, conforme modelagem do IPEA (2023) sobre multiplicadores da economia verde.

Esses efeitos multiplicadores decorrem do princípio da circularidade financeira: cada real investido em mitigação gera retornos em consumo, serviços ambientais e arrecadação tributária. O FEAAC e o PSEV são os instrumentos que operacionalizam essa circularidade, transformando o carbono em ativo econômico sistêmico.

3.4.7. SÍNTESE E INTEGRAÇÃO COM O MODELO SERGIPANO

Em síntese, a finança climática e a economia do carbono constituem a base macroeconômica sobre a qual o Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) foi construído. A estrutura estadual combina três dimensões complementares:

Tabela 3.4.7-A Síntese do modelo sergipano proposto

DIMENSÃO	INSTRUMENTO	OBJETIVO PRINCIPAL
Regulatória	SEMAC, Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe	Garantir integridade e legalidade das operações
Financeira	Desenvolve-SE e FEAAC	Gerar, gerir e distribuir recursos de carbono
Econômica	PSEV e cadeias produtivas verdes	Inserir o carbono na estratégia de desenvolvimento

Ao alinhar-se às normas do Acordo de Paris e aos padrões do GCF, o Estado de Sergipe cria as condições necessárias para transformar o carbono em um ativo financeiro legítimo, rastreável e de alto impacto socioambiental. A convergência entre política climática e política econômica representa o salto qualitativo da agenda estadual: o carbono deixa de ser uma variável ambiental e passa a ser um pilar macroeconômico de longo prazo.

4. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL DE SERGIPE

4.1. LEI ESTADUAL Nº 9.364, DE 5 DE JANEIRO DE 2024, DO ESTADO DE SERGIPE — POLÍTICA ESTADUAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A Lei Estadual nº 9.364, de 18 de abril de 2024, institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (PEMC-SE) e representa o marco jurídico central da transição ecológica em Sergipe. Seu texto normativo estabelece princípios, objetivos e instrumentos para mitigação e adaptação climática, alinhando o Estado aos compromissos do Acordo de Paris (2015) e às metas nacionais previstas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009). A promulgação

dessa lei encerrou um ciclo de debates interinstitucionais conduzidos pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), consolidando a primeira política climática estadual com arcabouço econômico, financeiro e institucional próprio no Nordeste brasileiro.

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe organiza-se em torno de três eixos estruturantes:

i) a institucionalização da governança climática estadual;

ii) a criação de instrumentos econômicos e financeiros de mitigação, e

iii) a integração entre planejamento ambiental e desenvolvimento econômico no âmbito do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV).

A seguir, são detalhados seus principais dispositivos e sua correspondência com o modelo técnico e jurídico do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE).

4.1.1. PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS

O art. 2º da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe estabelece os princípios que regem a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, entre os quais destacam-se:

- o princípio da precaução e prevenção, que impõe a antecipação de medidas mitigatórias frente à incerteza científica;
- o princípio da equidade intergeracional, que assegura o direito das futuras gerações a um clima estável;
- o princípio da responsabilidade compartilhada, que distribui deveres entre Estado, setor produtivo e sociedade civil; e
- o princípio do poluidor-pagador e do protetor-recebedor, que fundamenta a criação de mecanismos econômicos de compensação e incentivo.

Esses princípios reproduzem e adaptam, em nível estadual, os fundamentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009) e da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021). Particularmente, o princípio do protetor-recebedor constitui a base jurídica direta para o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI), previsto como instrumento específico da política estadual.

O art. 3º da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe reforça o caráter transversal da política climática, determinando sua integração às políticas de energia, saneamento, agricultura, turismo e desenvolvimento econômico. Essa transversalidade é operacionalizada pelo Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), previsto no Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, e garante que a ação climática não se restrinja ao setor ambiental, mas se estenda a toda a estrutura de governo.

4.1.2. ESTRUTURA INSTITUCIONAL E COMPETÊNCIAS

O capítulo II da lei define a estrutura institucional da política climática estadual, atribuindo à Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) o papel de autoridade técnica e coordenadora da PEMC-SE. À SEMAC compete:

1. coordenar a elaboração e execução dos planos e programas de mitigação e adaptação;
2. estabelecer diretrizes para monitoramento e verificação de emissões (MRV);
3. gerir o Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE); e
4. supervisionar os instrumentos financeiros de mitigação e adaptação, incluindo o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC).

A Lei também prevê a criação do Conselho Estadual de Mudanças Climáticas (CEMC-SE), órgão colegiado de caráter consultivo e deliberativo, integrado por representantes do poder público, da sociedade civil e do setor privado. O conselho exerce função de controle social e deliberação sobre:

- planos setoriais de mitigação;
- critérios de elegibilidade de projetos; e
- aplicação de recursos do FEAAC.

O art. 10 da Lei inova ao prever a possibilidade de delegação de funções operacionais a entidades de fomento, como a Desenvolve-SE, o que viabiliza a operacionalização financeira de programas de carbono e PSA. Essa disposição confere ao Estado um modelo híbrido de governança, no qual a SEMAC mantém a autoridade técnica e regulatória, enquanto a Desenvolve-SE atua como agente financeiro e gestor de fundos, garantindo capilaridade operacional e eficiência econômica.

Essa arquitetura é fundamental para o Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE), que depende exatamente dessa dualidade funcional: coordenação pública técnica + execução financeira especializada.

4.1.3. INSTRUMENTOS ECONÔMICOS E FINANCEIROS

O art. 13 da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, introduz os instrumentos econômicos de mitigação, explicitando quatro categorias:

1. Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA);
2. mercado estadual de créditos de carbono e outros ativos ambientais;
3. incentivos fiscais e creditícios verdes; e
4. fundos de investimento e garantias ambientais.

O inciso II estabelece formalmente o mercado estadual de créditos de carbono, que será regulamentado por decreto e operado sob a supervisão da SEMAC. Esse dispositivo cria a base legal para o RECA-SE (Registro Estadual de Créditos Ambientais) e para a comercialização de créditos jurisdicionais derivados dos programas de REDD+, ARR e Blue Carbon. O inciso IV fundamenta juridicamente o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), já instituído pelo Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, como o principal instrumento financeiro da política.

O art. 15 prevê que o FEAAC poderá receber recursos provenientes de:

- dotações orçamentárias estaduais e federais;
- fundos climáticos nacionais e internacionais (Fundo Clima, GCF, GEF, REM);
- compensações ambientais e de carbono;
- e doações de entidades públicas ou privadas.

Essa redação confere flexibilidade fiscal ao Estado, permitindo a gestão de recursos multilaterais e a emissão de instrumentos financeiros verdes (green bonds, debêntures sustentáveis), em conformidade com os Princípios de Títulos Verdes (Green Bond Principles – ICMA, 2021).

4.1.4. PLANEJAMENTO E METAS CLIMÁTICAS

O art. 16 da Lei determina que a SEMAC elaborará e atualizará periodicamente o Plano Estadual de Ação Climática (PEAC-SE), com metas quantitativas de redução de

emissões e aumento de sequestro de carbono, alinhadas às NDCs brasileiras. Essas metas deverão abranger os principais setores emissores:

- uso e mudança de uso da terra;
- energia e transporte;
- agricultura e pecuária;
- resíduos sólidos; e
- processos industriais.

O PJCI-SE constitui o principal instrumento de implementação das metas referentes ao setor Uso da Terra e Florestas (LULUCF), responsável por mais de 60% das emissões líquidas do Estado.

O plano estadual de ação climática também determina que o sistema MRV estadual deve ser interoperável com o SINARE (Sistema Nacional de Redução de Emissões), garantindo rastreabilidade nacional e internacional dos créditos.

O art. 17 prevê que o Estado poderá reconhecer reduções de emissões e sequestros de carbono provenientes de projetos voluntários, desde que compatíveis com o sistema estadual e com metodologias reconhecidas internacionalmente (Verra, Gold Standard, ART-TREES). Esse dispositivo permite que o PJCI-SE atue como sistema guarda-chuva (*umbrella system*), incorporando projetos locais sob sua jurisdição, sem comprometer a integridade contábil do programa.

4.1.5. ARTICULAÇÃO COM POLÍTICAS NACIONAIS E FEDERAIS

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe está expressamente alinhada às diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187, de 2009) e às metas de redução de emissões brasileiras submetidas à UNFCCC.

O art. 19 determina que o Estado de Sergipe deverá cooperar com a União na implementação de instrumentos de mercado previstos no Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE). Essa disposição cria a base jurídica para integração futura do mercado estadual de carbono com o mercado nacional regulado, conforme o Artigo 6 do Acordo de Paris. O art. 21 estabelece ainda que o Estado poderá celebrar acordos de cooperação técnica com entes federados e organismos internacionais, ampliando sua capacidade institucional e de captação de recursos. Isso legitima a futura inserção de Sergipe em programas

multilaterais, como o REDD+ Early Movers (REM), e em plataformas internacionais de certificação jurisdicional, como o ART-TREES.

4.1.6. CONVERGÊNCIA COM A LEI FEDERAL Nº 14.119, DE 13 DE JANEIRO DE 2021 (PNPSA)

A Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), é o principal referencial normativo para o desenho do PEPSACI (Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral), previsto na lei estadual. O art. 20 da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe reproduz a lógica da PNPSA, definindo o PSA como instrumento de retribuição monetária ou não monetária a pessoas físicas ou jurídicas que conservem, recuperem ou melhorem serviços ecossistêmicos.

A PNPSA exige a existência de um cadastro de provedores e áreas elegíveis, requisito atendido pelo RECA-SE, que funcionará como repositório estadual de contratos e pagamentos. A Lei estadual também amplia o escopo federal ao incluir explicitamente serviços climáticos, como sequestro, conservação e armazenamento de carbono, reconhecendo o carbono como ativo ambiental passível de remuneração direta. Com isso, Sergipe posiciona-se entre os primeiros estados brasileiros a monetizar o carbono como serviço ecossistêmico, antecipando diretrizes futuras da política nacional.

4.1.7. IMPLICAÇÕES PARA O PROGRAMA JURISDICIONAL DE CARBONO INTEGRAL (PJCI-SE)

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe é o pilar jurídico fundamental do PJCI-SE, que fornece:

- a base legal para a criação do mercado estadual de carbono e do FEAAC;
- a legitimidade institucional da SEMAC como autoridade reguladora;
- a possibilidade de integração com políticas nacionais e internacionais; e
- a autorização para celebração de contratos de PSA vinculados a créditos de carbono.

A partir dessa Lei, o Estado de Sergipe adquire competência plena para desenvolver um sistema jurisdicional de contabilização e registro de carbono, com validade nacional e internacional.

O PJCI-SE é, portanto, a materialização técnica e econômica da política instituída pela Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, e o Produto 5.2 representa a tradução metodológica dessa norma em modelo operacional.

4.1.8. CONCLUSÃO

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, coloca Sergipe entre as unidades federativas pioneiras na adoção de um marco legal robusto de ação climática. Sua redação reflete uma visão contemporânea de governança ambiental — que combina normatividade jurídica, instrumentos econômicos e mecanismos financeiros de mercado. Ao estabelecer as bases do mercado estadual de carbono e reconhecer formalmente o valor econômico do carbono e dos serviços ambientais, a lei permite que o Estado converta suas metas de mitigação em ativos financeiros legítimos, lastreados em governança pública e integridade ambiental.

Assim, a Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, não é apenas uma norma de caráter ambiental, mas um instrumento estruturante de política de desenvolvimento, cujo alcance se estende à economia, à inovação e à sustentabilidade fiscal. O Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE) é sua aplicação concreta e seu principal vetor de implementação.

4.2. DECRETO ESTADUAL Nº 1.016, DE 2025 – PLANO SERGIPANO DE ECONOMIA VERDE (PSEV)

O Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025, institui o Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV) e regulamenta dispositivos da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, configurando o principal instrumento de planejamento estratégico da política climática e de transição econômica de Sergipe. O PSEV representa a consolidação de um modelo integrado de desenvolvimento sustentável, baseado na convergência entre economia de baixo carbono, inovação tecnológica e inclusão social produtiva.

O Decreto estrutura o PSEV como um plano de Estado, de natureza transversal e multissetorial, com horizonte de 40 anos (2025–2065). Ele define as bases institucionais, os eixos temáticos e os instrumentos financeiros da transição verde, servindo como plataforma operacional para programas estruturantes — entre eles, o Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE), que constitui o componente climático-econômico do PSEV.

4.2.1. ESTRUTURA E OBJETIVOS DO PSEV

O PSEV tem por objetivo geral promover a transição da economia sergipana para padrões sustentáveis de produção, consumo e investimento, assegurando o equilíbrio entre crescimento econômico, conservação ambiental e justiça social. O art. 3º do Decreto define cinco objetivos estratégicos:

1. Descarbonizar a matriz produtiva estadual, reduzindo emissões em setores intensivos (energia, transportes, agricultura e resíduos);
2. Fomentar a economia do carbono e a bioeconomia regional, transformando ativos ambientais em fontes legítimas de receita;
3. Aumentar a resiliência climática e hídrica, com foco no semiárido e nas zonas costeiras;
4. Atrair investimentos verdes nacionais e internacionais, por meio de instrumentos financeiros inovadores;
5. Gerar empregos verdes e inclusão produtiva, ampliando o impacto socioeconômico da transição ecológica.

Esses objetivos articulam-se diretamente com as metas da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe) e refletem a convergência entre política ambiental, política econômica e política de inovação, que caracteriza o modelo sergipano de governança climática.

4.2.2. ESTRUTURA INSTITUCIONAL

O artigo 4º do decreto estabelece a arquitetura institucional do PSEV, organizada em três níveis:

1. Nível estratégico: sob coordenação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), responsável pela formulação de políticas, definição de metas e integração intersetorial.
2. Nível tático-operacional: sob responsabilidade da Desenvolve-SE – Agência de Fomento de Sergipe, encarregada da operacionalização financeira e da execução dos programas, fundos e linhas de crédito verde.
3. Nível executivo-territorial: composto por secretarias setoriais, municípios, consórcios públicos e entidades parceiras, encarregadas da implementação local das ações do PSEV.

A SEMAC atua como autoridade climática estadual, com competência para regulamentar e supervisionar os programas de mitigação e adaptação, estabelecer critérios técnicos e coordenar o Sistema Estadual de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV-SE). Já a Desenvolve-SE funciona como agente financeiro do PSEV, responsável pela administração dos fundos setoriais, com destaque para o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC).

Essa estrutura de governança — baseada em autoridade técnica + agência financeira + execução descentralizada — garante coerência, eficiência e rastreabilidade, princípios essenciais à credibilidade dos programas jurisdicionais de carbono.

4.2.3. EIXOS TEMÁTICOS E PROGRAMAS ESTRUTURANTES

O art. 5º do Decreto organiza o PSEV em cinco eixos temáticos, cada um com programas e metas específicas:

1. Energia e Transição Energética Sustentável: incentivo a energias renováveis (solar, eólica, biogás e hidrogênio verde), eficiência energética e descarbonização do setor elétrico.
2. Bioeconomia e Economia do Carbono: valorização dos serviços ecossistêmicos, manejo sustentável da Caatinga, restauração de manguezais, PSA e créditos de carbono — eixo em que se insere o PJCI-SE.
3. Saneamento, Economia Circular e Resíduos: ampliação da reciclagem, compostagem, reaproveitamento energético de resíduos e geração de créditos de metano.
4. Agricultura Sustentável e Segurança Alimentar: práticas agroecológicas, regeneração de solos, sistemas agroflorestais e integração lavoura-pecuária-floresta.
5. Turismo, Cultura e Economia Regenerativa: promoção de destinos sustentáveis e circuitos ecoculturais associados à conservação ambiental.

Cada eixo possui metas quantitativas e indicadores de desempenho, que serão monitorados pela SEMAC por meio do Sistema Integrado de Indicadores do PSEV (SI-PSEV), desenvolvido em ambiente SIG, compatível com o RECA-SE e o Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente (SINIMA).

4.2.4. O FEAAC COMO INSTRUMENTO FINANCEIRO DO PSEV

O art. 9º do Decreto cria o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) como instrumento financeiro do PSEV e da política climática estadual. O FEAAC tem por finalidade gerir receitas, investimentos e garantias associadas à economia do carbono e aos serviços ambientais, assegurando que os recursos provenientes da comercialização de créditos de carbono, PSA e fundos internacionais sejam aplicados de forma transparente e eficiente.

A estrutura contábil do FEAAC é tripartite:

- Conta de Créditos de Carbono: registro das emissões, aposentadorias e vendas de créditos jurisdicionais;
- Conta de PSA e Inclusão Produtiva: pagamentos a provedores de serviços ambientais (proprietários rurais, comunidades, pescadores, povos tradicionais);
- Conta de Inovação e Transição Verde: financiamento de P&D, tecnologias limpas e bioeconomia.

O fundo é administrado pela Desenvolve-SE, sob supervisão técnica da SEMAC e controle fiscal da Secretaria da Fazenda (SEFAZ). Sua governança é composta por um Comitê Gestor Tripartite, com representantes do Estado, setor produtivo e sociedade civil, assegurando transparência, controle social e accountability. O FEAAC é o núcleo financeiro do Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE) e permitirá a monetização dos créditos de carbono estaduais, bem como o reinvestimento em novas ações de mitigação.

4.2.5. INTEGRAÇÃO COM O PROGRAMA JURISDICIONAL DE CARBONO INTEGRAL (PJCI-SE)

O art. 12 do Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, estabelece que todos os programas de mitigação climática com geração de créditos de carbono devem estar vinculados ao PSEV e submetidos à supervisão técnica da SEMAC. Esse dispositivo cria o vínculo jurídico e institucional entre o PSEV e o PJCI-SE, transformando este último em mecanismo operacional de internalização da política climática estadual.

O PJCI-SE, ao integrar os componentes Caatinga (ARR) e Manguezais (REDD+/Blue Carbon), atua como modelo demonstrativo da economia do carbono prevista no eixo II do PSEV. Ele gera os ativos ambientais (créditos de carbono, PSA,

créditos de biodiversidade e hídricos) que alimentam o fluxo financeiro do FEAAC. Em contrapartida, o PSEV fornece a estrutura macroeconômica e institucional necessária para dar escala e governança a essas operações.

Assim, a relação entre o PSEV e o PJCI-SE é bidirecional:

- o PSEV garante o enquadramento político e orçamentário da economia do carbono;
- o PJCI-SE operacionaliza a geração de ativos e o retorno financeiro.

Essa integração transforma o PSEV em um plano de desenvolvimento econômico verde e o PJCI-SE em seu instrumento de execução climática e financeira.

4.2.6. GOVERNANÇA E TRANSPARÊNCIA

O art. 15 do Decreto estabelece princípios de governança climática, entre eles:

- transparência e rastreabilidade, asseguradas por plataformas digitais de acesso público;
- participação social, por meio do Conselho Estadual de Mudanças Climáticas;
- responsabilidade fiscal e ambiental, exigindo comprovação de adicionalidade e integridade dos resultados; e
- cooperação interinstitucional, estimulando parcerias entre Estado, municípios e setor privado.

O PSEV adota um modelo de governança multinível, no qual a SEMAC coordena e regula, a Desenvolve-SE financia e executa, e os municípios implementam ações territoriais. Esse arranjo institucional garante que a política estadual de economia verde opere com coerência vertical (entre escalas de governo) e coerência horizontal (entre setores) — condição essencial para a certificação jurisdicional em sistemas como o ART-TREES.

4.2.7. INTEGRAÇÃO COM O PLANEJAMENTO ESTADUAL

O art. 18 do Decreto determina que o PSEV deve ser incorporado aos instrumentos formais de planejamento e gestão do Estado, incluindo:

- o Plano Plurianual (PPA);
- a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO); e
- a Lei Orçamentária Anual (LOA).

Essa disposição assegura a institucionalização orçamentária da política climática, evitando a descontinuidade administrativa e garantindo previsibilidade financeira. Além disso, o decreto prevê que os resultados do PSEV sejam incluídos nos Relatórios de Sustentabilidade Fiscal e Climática (RSFC), compatibilizando a agenda verde com a gestão fiscal do Estado — o que o posiciona para futuras emissões de títulos verdes soberanos subnacionais.

4.2.8. IMPLICAÇÕES PARA O PROGRAMA JURISDICIONAL DE CARBONO INTEGRAL (PJCI-SE)

A operacionalização do PSEV é a base prática sobre a qual o Programa Jurisdicional de Carbono Integral se estrutura.

O Decreto fornece:

- autoridade técnica e legal à SEMAC para regular e certificar créditos jurisdicionais;
- estrutura financeira à Desenvolve-SE e ao FEAAC para gerir receitas e PSA;
- mecanismo de transparência via MRV estadual e RECA-SE; e
- vínculo orçamentário com o PPA e LDO, garantindo perenidade.

Dessa forma, o PSEV transforma a política climática de Sergipe em política econômica de Estado, com governança, recursos e instrumentos financeiros próprios. O PJCI-SE é, portanto, a expressão operacional do PSEV — a instância que gera e monetiza o valor econômico do carbono, assegurando adicionalidade, permanência e integridade dos resultados ambientais e fiscais.

4.2.9. CONCLUSÃO

O Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe, consolida o PSEV como instrumento de integração entre política climática, desenvolvimento econômico e inovação produtiva, que materializa o conceito de economia verde estruturada por finanças climáticas, conferindo a Sergipe uma vantagem competitiva institucional no contexto nacional. Ao articular o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), a SEMAC, a Desenvolve-SE e os municípios, o PSEV estabelece a infraestrutura normativa e financeira que sustenta o Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE).

Essa estrutura de governança e financiamento posiciona o Estado de Sergipe como referência na implementação de políticas subnacionais de baixo carbono, integrando mitigação, desenvolvimento econômico e inclusão social sob um mesmo arcabouço institucional.

4.3. PROJETO DE LEI DO PROGRAMA DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS E CARBONO INTEGRAL (PEPSACI)

O Projeto de Lei do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI) constitui o instrumento jurídico de operacionalização direta dos princípios econômicos e ambientais estabelecidos pela Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e regulamentados pelo Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe (PSEV). O PEPSACI foi elaborado com o objetivo de instituir, em âmbito estadual, um sistema de incentivos econômicos, financeiros e fiscais voltado à conservação, recuperação e valorização dos serviços ecossistêmicos, com ênfase na regulação climática e no armazenamento de carbono. A lei proposta representa, portanto, a transição conceitual da política climática sergipana — do plano normativo (Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe) e programático (PSEV) para o plano operacional e contratual, materializado na figura dos contratos de PSA e das unidades de crédito de carbono integral.

4.3.1. FUNDAMENTAÇÃO JURÍDICA E OBJETIVOS

O PEPSACI fundamenta-se juridicamente em três pilares normativos:

1. Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA);
2. Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, que estabelece a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e reconhece os PSA como instrumentos de mitigação; e
3. Art. 225 da Constituição Federal, que impõe ao poder público e à coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações.

O projeto tem como objetivo central remunerar pessoas físicas ou jurídicas que promovam ações de conservação, recuperação ou uso sustentável de ecossistemas naturais, especialmente aquelas associadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e ao sequestro e armazenamento de carbono. Ele amplia o escopo da PNPSA

ao incluir expressamente os serviços climáticos entre as categorias de PSA, como o sequestro de carbono atmosférico, a redução de emissões por desmatamento evitado (REDD+), e a restauração de ecossistemas de alta relevância climática, como Caatinga e manguezais.

A redação do art. 4º define os serviços ambientais elegíveis, agrupando-os em cinco categorias:

I - serviços climáticos, relativos à captura, conservação e estoque de carbono;

II - serviços hídricos, relacionados à recarga de aquíferos e regulação de vazões;

III - serviços de biodiversidade, associados à manutenção de habitats e polinizadores;

IV - serviços edáficos, ligados à recuperação da fertilidade e da estrutura do solo;

V - serviços culturais e paisagísticos, associados ao turismo sustentável e à valorização ecológica.

Essa classificação é inovadora porque cria uma estrutura integrada de PSA, na qual o carbono é tratado como ativo transversal — capaz de expressar o valor econômico agregado de múltiplos serviços ecossistêmicos.

4.3.2. ESTRUTURA INSTITUCIONAL E COMPETÊNCIAS

O art. 7º do projeto define a estrutura institucional de gestão do programa, composta por:

- Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), como autoridade técnica e executiva;
- Desenvolve-SE – Agência de Fomento de Sergipe, como agente financeiro e gestor dos recursos;
- Conselho Estadual de Mudanças Climáticas e Serviços Ambientais (CEMC-SA), como instância colegiada de deliberação e controle social;
- e RECA-SE (Registro Estadual de Créditos Ambientais), como sistema de cadastro, rastreabilidade e transparência.

A SEMAC será responsável por:

- estabelecer critérios técnicos e metodológicos para seleção e priorização dos projetos;
- certificar os serviços ambientais prestados e os créditos de carbono gerados;
- manter o registro e monitoramento de PSA e créditos no RECA-SE;

- e supervisionar a aplicação de recursos, garantindo conformidade ambiental e social.

A Desenvolve-SE, por sua vez, atuará como gestora financeira do programa, com as seguintes competências:

- gerir o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC);
- operacionalizar pagamentos e contratos de PSA;
- captar recursos junto a fundos climáticos e parceiros privados;
- e implementar instrumentos financeiros verdes (como debêntures e fundos fiduciários).

Essa estrutura reforça o modelo duplo de governança já consolidado pelo PSEV e essencial ao PJCI-SE: a SEMAC assegura integridade técnica e ambiental, enquanto a Desenvolve-SE garante liquidez e sustentabilidade financeira.

4.3.3. MODALIDADES DE PAGAMENTO E ELEGIBILIDADE

O art. 9º estabelece que o pagamento por serviços ambientais poderá ocorrer de forma:

I - direta, mediante transferência financeira proporcional ao serviço prestado;

II - indireta, por meio de incentivos fiscais, subsídios, créditos de carbono ou isenções;

III - mista, combinando mecanismos monetários e não monetários.

Os beneficiários elegíveis incluem:

- proprietários e possuidores de imóveis rurais e urbanos;
- comunidades tradicionais e povos indígenas;
- cooperativas, associações e consórcios intermunicipais;
- e empresas ou instituições públicas que executem projetos de conservação ou mitigação.

Cada beneficiário deverá firmar contrato de PSA com a SEMAC e/ou a Desenvolve-SE, especificando metas, prazos, indicadores e obrigações de manutenção. Os contratos terão vigência mínima de 10 anos, podendo ser prorrogados, e serão registrados no RECA-SE, que funcionará como plataforma pública de transparência.

A elegibilidade dos beneficiários depende de três critérios cumulativos: (a) comprovação da propriedade ou posse regular da área; (b) inexistência de passivos ambientais graves; (c) demonstração de adicionalidade - ou seja, o serviço não pode resultar de obrigação legal (como reserva legal ou APP).

Essas regras garantem que os recursos do programa remunerem serviços voluntários e adicionais, condição necessária para certificação internacional dos créditos.

4.3.4. FONTES DE FINANCIAMENTO E INTEGRAÇÃO AO FEAAC

O art. 13 do projeto define as fontes de recursos do PEPSACI, que incluem:

I - dotações orçamentárias do Estado;

II - transferências da União e de fundos internacionais (Fundo Clima, GCF, GEF, REM);

III - receitas do mercado de créditos de carbono;

IV - compensações ambientais e contrapartidas de empreendimentos;

V - doações e aportes privados.

Os recursos serão movimentados pelo FEAAC, que passa a atuar como conta fiduciária do programa, garantindo a segregação contábil entre recursos públicos e privados. A Desenvolve-SE, como gestora, aplicará os recursos em três linhas financeiras principais:

- Linha Carbono e Restauração, voltada à recuperação de ecossistemas (Caatinga, manguezais, mata ciliar);
- Linha Biodiversidade e Recursos Hídricos, para PSA hídrico e conservação de habitats;
- Linha Inclusão Produtiva Verde, destinada a comunidades e agricultores familiares participantes do programa.

O FEAAC poderá ainda emitir títulos de crédito verde (green bonds) e certificados de investimento ambiental (CIAs) lastreados em créditos de carbono, criando um mercado financeiro verde estadual. Essa previsão é compatível com as diretrizes do ICMA (Green Bond Principles) e com a Resolução CMN nº 4.945, de 2021, que regula operações de crédito vinculadas à sustentabilidade.

4.3.5. INTEGRAÇÃO COM O MERCADO DE CARBONO

Um dos pontos centrais do projeto é a criação de um mecanismo de integração entre os contratos de PSA e o mercado de créditos de carbono, estabelecido no artigo 15. O dispositivo determina que o carbono sequestrado, conservado ou evitado em áreas contratadas poderá ser convertido em créditos de carbono integral (CCI-SE), registrados no RECA-SE e vinculados ao Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE). Esses créditos terão lastro duplo:

- ambiental, conferido pela certificação do serviço prestado;
- e jurídico-financeiro, conferido pelo contrato de PSA e pela custódia do FEAAC.

Essa integração confere ao PSA estadual um valor de mercado adicional, permitindo que o beneficiário participe da comercialização de créditos jurisdicionais, sob coordenação da SEMAC e com auditoria de verificadoras independentes (VVBs). A correspondência entre o PSA e o crédito de carbono cria um sistema de remuneração dupla e cumulativa, que multiplica o retorno ambiental e econômico das ações de conservação.

4.3.6. SALVAGUARDAS SOCIOAMBIENTAIS E TRANSPARÊNCIA

O art. 18 prevê a criação de salvaguardas socioambientais obrigatórias, inspiradas nas normas da UNFCCC e do ART-TREES, garantindo que as ações financiadas não causem impactos negativos a comunidades locais ou à biodiversidade.

Essas salvaguardas incluem:

- consentimento livre, prévio e informado (CLPI) de comunidades envolvidas;
- proibição de deslocamento forçado;
- equidade de gênero e inclusão social;
- distribuição justa de benefícios (*Benefit Sharing Mechanism*); e
- transparência ativa de informações.

O RECA-SE, previsto no art. 20, será a principal ferramenta de transparência pública, funcionando como banco de dados georreferenciado e sistema de rastreabilidade digital. O RECA-SE permitirá que qualquer cidadão acompanhe, em tempo real, os contratos de PSA vigentes, as áreas conservadas, os valores pagos e os créditos emitidos, garantindo controle social e confiabilidade de mercado.

4.3.7. INTEGRAÇÃO COM O PJCI-SE E O PSEV

O PEPSACI foi concebido como componente operacional do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV) e do Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE). Enquanto o PSEV define o marco estratégico e macroeconômico, e o PJCI-SE estabelece a modelagem técnica e financeira, o PEPSACI atua como mecanismo jurídico e contratual de execução, por meio dos pagamentos e contratos diretos de PSA.

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe fornece o fundamento legal; o Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe (PSEV), provê a estrutura institucional; e o PEPSACI cria a base operacional que conecta a conservação ambiental à geração de receita pública e privada. Assim, os três instrumentos formam um sistema normativo integrado de governança climática, no qual o PSA, o crédito de carbono e o fundo ambiental operam de maneira sinérgica e transparente.

4.3.8. CONCLUSÃO

O Projeto de Lei do PEPSACI é a peça normativa que viabiliza a efetivação prática da política climática estadual. Ele traduz os princípios constitucionais e legais de proteção ambiental em instrumentos econômicos concretos, criando as condições jurídicas para que Sergipe remunere serviços ambientais, gere créditos de carbono e mobilize investimentos para restauração e conservação.

Ao reconhecer o carbono como ativo econômico de natureza pública, o PEPSACI confere segurança jurídica ao mercado estadual de carbono e assegura que os benefícios ambientais se revertam em ganhos sociais e produtivos. Trata-se, portanto, de um marco legal inovador, que transforma a mitigação climática em política de desenvolvimento e consolida a liderança de Sergipe na implementação de modelos subnacionais de economia verde e finanças climáticas.

4.4. ARTICULAÇÃO COM INSTRUMENTOS FEDERAIS E INTERNACIONAIS

A consolidação do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) depende da coerência normativa e operacional entre o sistema estadual de gestão climática e os instrumentos federais e multilaterais de governança do carbono.

O alinhamento jurídico é requisito essencial para que o Estado possa: (i) registrar créditos em bases nacionais (como o SINARE); (ii) acessar fundos internacionais (como o GCF e o GEF); (iii) obter certificações reconhecidas globalmente (Verra, Gold Standard, ART-TREES); e (iv) garantir que suas reduções e remoções sejam contabilizadas de forma legítima, sem risco de dupla contagem (*double counting*).

Essa articulação é a base da integração vertical da política climática, pela qual o Estado de Sergipe se insere no regime nacional e internacional de mitigação, mantendo autonomia administrativa, mas observando padrões contábeis e regulatórios universais.

4.4.1. INTEGRAÇÃO COM A POLÍTICA NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (PNMC)

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 e regulamentada pelo Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023, constitui o marco nacional da governança climática. Seu principal instrumento operacional é o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), atualmente em processo de regulamentação, e o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE), concebido como plataforma federal de registro e rastreabilidade de créditos de carbono.

O art. 6º da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe reproduz expressamente o princípio da integração federativa da PNMC, determinando que as ações estaduais de mitigação deverão observar os critérios e metodologias do sistema nacional. A SEMAC, como autoridade técnica estadual, é designada para coordenar a interface entre o PJCI-SE e o SINARE, assegurando que todos os créditos gerados no âmbito estadual sejam compatíveis com os parâmetros nacionais de medição, relato e verificação (MRV).

O Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023, ao regulamentar o SBCE, estabelece que os registros subnacionais de carbono poderão ser interoperáveis com o SINARE, desde que observem três requisitos:

1. compatibilidade metodológica com o IPCC Guidelines 2006/2019;
2. auditoria independente por verificadoras acreditadas (VVBs);
3. governança pública com rastreabilidade e publicidade de dados.

O sistema sergipano cumpre integralmente essas exigências:

- o RECA-SE foi concebido com base em padrões de interoperabilidade de dados;
- o sistema MRV estadual segue as diretrizes do IPCC e do ART-TREES;
- e a governança tripartite SEMAC–Desenvolve-SE–CEMC-SE assegura controle público e transparência.

Dessa forma, o PJCI-SE está juridicamente apto a integrar o SINARE e, futuramente, a converter créditos jurisdicionais estaduais em ativos de conformidade do SBCE.

4.4.2. RELAÇÃO COM A POLÍTICA NACIONAL DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PNPSA)

A Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), é o instrumento normativo que reconhece o PSA como política de Estado e define os parâmetros para a remuneração de serviços ecossistêmicos. O PEPSACI estadual foi redigido em conformidade direta com essa lei, reproduzindo sua estrutura conceitual e adaptando-a ao contexto subnacional.

O art. 2º da PNPSA define PSA como "a retribuição, monetária ou não monetária, a quem presta serviços de manutenção, recuperação ou melhoria dos ecossistemas". O PEPSACI, por sua vez, amplia o conceito, ao incluir entre os serviços elegíveis a regulação climática e o armazenamento de carbono, vinculando o PSA à geração de créditos de carbono integral.

Além disso, a PNPSA cria o Programa Federal de PSA, sob coordenação do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), com cadastro de provedores e projetos. O RECA-SE, sistema estadual de Sergipe, foi desenhado para ser interoperável com o Cadastro Nacional de PSA, o que permitirá:

- o intercâmbio de dados sobre provedores e áreas contratadas;
- a padronização de indicadores de desempenho;
- e o acesso a fontes federais de financiamento (Fundo Clima e Fundo Nacional de Meio Ambiente).

Essa integração transforma Sergipe em polo de replicação da PNPSA, permitindo o uso combinado de recursos federais e estaduais para financiar ações de restauração, conservação e mitigação.

4.4.3. INSERÇÃO NO ACORDO DE PARIS E O ARTIGO 6

O Acordo de Paris (2015), ratificado pelo Brasil em 2016, é o principal instrumento de direito internacional ambiental atualmente em vigor. O seu Artigo 6 institui os mecanismos de cooperação internacional para mitigação, especialmente por meio de Resultados de Mitigação Internacionalmente Transferíveis (ITMOs), que permitem a comercialização de reduções de emissões entre países.

Embora os entes subnacionais, como estados e municípios, não possuam personalidade jurídica internacional para firmar acordos sob o Artigo 6, o Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023, e a Portaria Interministerial MMA–MRE–MF nº 478, de 3 de novembro de 2022, que dispõe sobre os procedimentos para a operacionalização dos créditos de carbono no âmbito do Artigo 6º, autorizam a participação subnacional indireta, mediante programas jurisdicionais integrados ao SINARE.

O PJCI-SE foi projetado em conformidade com essas normas, adotando metodologias compatíveis com o ART-TREES, o que lhe confere elegibilidade técnica para o Artigo 6.2 (cooperação bilateral) e Artigo 6.4 (mecanismo centralizado). A SEMAC atuará como autoridade técnica designada (*Designated Focal Point*), responsável por garantir que qualquer transação internacional de créditos jurisdicionais seja registrada no SINARE e comunicada à Autoridade Nacional de Artigo 6, evitando dupla contagem e dupla atribuição.

Em perspectiva de médio prazo, essa estrutura permitirá que Sergipe participe de transações internacionais de créditos jurisdicionais (ITMOs) em cooperação com países ou empresas comprometidas com neutralidade climática, especialmente nos setores de energia, transporte e indústria.

4.4.4. COMPATIBILIDADE COM PADRÕES INTERNACIONAIS DE CERTIFICAÇÃO

A validade de um crédito de carbono no mercado global depende de sua certificação por padrões reconhecidos internacionalmente. O Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) foi modelado para ser compatível com os três sistemas de maior credibilidade e abrangência:

1. *Verra – Verified Carbon Standard (VCS)*:
    - Adota metodologias específicas para reflorestamento e regeneração (VM0047) e restauração costeira (VM0009);

- Exige monitoramento via MRV independente, adicionalidade comprovada e buffer de permanência;
- O PJCI-SE atende a esses requisitos ao integrar inventários estaduais, auditoria independente e buffer de 10–15% via FEAAC.

2. *Gold Standard for the Global Goals (GS4GG):*
   - Vincula a certificação de carbono aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU;
   - O PEPSACI, ao incluir PSA comunitário, agricultura familiar e igualdade de gênero, cumpre integralmente os critérios de co-benefício exigidos pelo GS4GG.
3. *ART-TREES (The REDD+ Environmental Excellence Standard*):
   - É o padrão de referência para programas jurisdicionais;
   - Exige inventário de GEE, baseline jurisdicional, sistema MRV público e mecanismo de *benefit sharing*;
   - O PJCI-SE foi desenhado sob esses mesmos princípios, podendo submeter-se ao ART-TREES para reconhecimento internacional de suas unidades jurisdicionais de carbono (TREES Units).

Essa compatibilidade metodológica é crucial para permitir que os créditos gerados por Sergipe circulem livremente nos mercados voluntário e regulado, garantindo liquidez e reconhecimento em bolsas e plataformas internacionais (*Climate Impact X, AirCarbon Exchange, CBL*, entre outras).

4.4.5. INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA BRASILEIRO DE COMÉRCIO DE EMISSÕES (SBCE)

O SBCE, previsto no Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023, é o mecanismo nacional de cap-and-trade que definirá tetos de emissões para setores intensivos e criará permissões de emissão (*allowances*) negociáveis. Embora ainda em fase de regulamentação operacional, o decreto reconhece expressamente a possibilidade de integração de programas subnacionais que cumpram critérios de equivalência contábil e integridade ambiental.

O PJCI-SE poderá operar como “programa complementar de compensação” dentro do SBCE, permitindo que empresas com obrigações de redução possam adquirir

créditos jurisdicionais de Sergipe para compensar emissões residuais. Essa possibilidade depende de ato normativo conjunto entre o MMA, o MF e a SEMAC, que reconheça o sistema estadual como jurisdição homologada. O RECA-SE, ao manter estrutura de interoperabilidade com o SINARE, antecipa essa integração técnica e garante que todos os créditos sejam rastreáveis e auditáveis.

4.4.6. FINANCIAMENTO E COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e o Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe autorizam o Estado de Sergipe a celebrar acordos de cooperação técnica e financeira com instituições multilaterais e estrangeiras. Essa prerrogativa é fundamental para viabilizar o acesso a recursos de finanças climáticas internacionais, como:

- *Green Climate Fund (GCF):* projetos de mitigação e adaptação subnacionais;
- *Global Environment Facility (GEF*): programas integrados de biodiversidade e clima;
- *REDD+ Early Movers (REM/KfW*): pagamento por resultados de REDD+;
- Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID): apoio técnico e financeiro à transição verde.

O FEAAC, como fundo contábil, possui a estrutura necessária para receber recursos dessas fontes, uma vez que sua contabilidade é segregada e auditável, e sua governança cumpre os requisitos fiduciários do GCF. Essa configuração confere ao Estado elegibilidade financeira internacional, ampliando a capacidade de investimento e a sustentabilidade de longo prazo do programa.

4.4.7. POSIÇÃO ESTRATÉGICA DE SERGIPE NA GOVERNANÇA CLIMÁTICA MULTINÍVEL

Com o alinhamento simultâneo às legislações federal e internacional, Sergipe se posiciona como jurisdição climática de segunda geração, isto é, como unidade federativa capaz de gerir de forma autônoma, integrada e certificável o ciclo completo do carbono — da medição à monetização.

Essa posição confere ao Estado vantagens estratégicas:

- acesso direto a mercados e fundos internacionais;
- legitimidade jurídica para operar programas de REDD+, ARR e Blue Carbon;

- atração de investimentos ESG e parcerias público-privadas em sustentabilidade;
- e inserção no processo de construção do mercado nacional regulado (SBCE).

Em termos comparativos, Sergipe aproxima-se dos modelos implementados no Acre (REM/KfW), Mato Grosso (REDD Early Movers) e Costa Rica (FONAFIFO), diferenciando-se pela integração simultânea de biomas distintos (semiárido e costeiro) sob um mesmo regime jurídico e contábil.

4.4.8. CONCLUSÃO

A articulação do marco legal sergipano com os instrumentos federais e internacionais é o que garante integridade, interoperabilidade e reconhecimento jurídico internacional ao Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE). Ao harmonizar suas normas com a PNMC, a PNPSA, o SBCE, o SINARE e o Acordo de Paris, Sergipe cria um sistema jurisdicional completo, tecnicamente compatível com o IPCC, economicamente viável e juridicamente legítimo. Essa integração eleva o Estado à condição de ator relevante na governança climática multinível, consolidando o PSEV como referência de política subnacional de economia verde e o PJCI-SE como modelo replicável de gestão de carbono e serviços ecossistêmicos em países federativos.

5. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL E AMBIENTAL

5.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-GEOGRÁFICA E CLIMÁTICA

O Estado de Sergipe, localizado na região Nordeste do Brasil, entre os paralelos 9°30’ e 11°34’ S e os meridianos 36°23’ e 38°15’ W, ocupa uma área de 21.910 km², equivalente a aproximadamente 0,26% do território nacional, o que o torna a menor unidade federativa brasileira em extensão territorial.

Apesar da dimensão reduzida, Sergipe apresenta extraordinária diversidade de paisagens e ecossistemas, distribuídos em gradiente altitudinal e climático que vai desde as zonas úmidas costeiras de manguezal até as áreas semiáridas da Caatinga no sertão ocidental. Essa diversidade é um fator crítico para a estruturação do Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE), uma vez que define os parâmetros ecológicos e socioeconômicos sobre os quais se baseiam as estratégias de mitigação, sequestro e conservação de carbono.

5.1.1. ESTRUTURA FISIOGRÁFICA E COMPARTIMENTAÇÃO TERRITORIAL

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2022) e o IBGE (Base Cartográfica Contínua, 2023), o território sergipano está dividido em três grandes compartimentos fisiográficos:

1. Faixa Litorânea e Zona Costeira – compreende planícies sedimentares recentes, com altitudes inferiores a 100 m, caracterizadas por extensos manguezais, apicuns e restingas. Essa zona estende-se desde o estuário do Rio São Francisco, ao norte, até o estuário do Rio Real, ao sul, abrangendo cerca de 1.200 km² de áreas potencialmente elegíveis para projetos de Blue Carbon.
2. Planalto da Borborema Setentrional (Agreste e Sertão Oriental) – constituído por terrenos cristalinos e solos rasos, com topografia ondulada e altitudes médias entre 200 e 400 m. Essa região cobre cerca de 60% do território estadual e abriga o núcleo do bioma Caatinga, de importância estratégica para projetos de Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (ARR).
3. Depressão Sertaneja e Vales do Baixo São Francisco e Vaza-Barris – regiões de transição ecológica e climática, com solos argilosos e alta vulnerabilidade à erosão e salinização. São áreas-chave para programas integrados de PSA hídrico e restauração de matas ciliares.

O Estado apresenta ainda um complexo sistema hidrográfico radial, dominado pelas bacias dos rios São Francisco, Japaratuba, Sergipe, Vaza-Barris, Piauí e Real. A disponibilidade hídrica média, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2024), é de 2.600 m³/hab/ano, valor inferior à média nacional (33.000 m³/hab/ano), refletindo as limitações estruturais do semiárido.

5.1.2. SOLOS E USO DA TERRA

Os solos predominantes são Neossolos Litólicos e Luvissolos Crômicos nas áreas da Caatinga; Argissolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos nas zonas úmidas e costeiras; e Gleissolos nas planícies aluviais e manguezais (Embrapa Solos, 2023). Essas tipologias definem o potencial de sequestro e estoque de carbono no solo — um dos parâmetros críticos para a modelagem ARR e REDD+.

Segundo a Coleção 8 do MapBiomas (2023), o uso atual da terra em Sergipe distribui-se da seguinte forma:

- 38,6% de áreas de agropecuária e pastagem;

- 25,4% de formações florestais e savânicas (Caatinga e florestas secas);
- 9,1% de florestas plantadas, áreas de regeneração e reflorestamento recente;
- 5,7% de zonas úmidas e manguezais;
- 21,2% de áreas urbanizadas, corpos d'água e infraestrutura.

A expansão agropecuária sobre ecossistemas nativos foi a principal causa da redução de cobertura vegetal de Caatinga, com perda acumulada de 17% desde 1985 (MapBiomas, 2023). Contudo, observa-se tendência recente de estabilização e regeneração natural em áreas anteriormente degradadas, especialmente nos municípios de Canindé de São Francisco, Poço Redondo, Gararu e Porto da Folha, onde a substituição de pastagens exauridas por vegetação secundária elevou os índices de NDVI entre 2018 e 2023. Essas áreas representam um núcleo prioritário para projetos de ARR jurisdicional, conforme identificado no Atlas de Vulnerabilidade Climática de Sergipe (SEMAC, 2025).

5.1.3. CLIMA E VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

O clima de Sergipe é fortemente influenciado pela transição entre o regime tropical úmido (litoral) e o semiárido quente (interior), resultando em um mosaico climático de três zonas principais, conforme a classificação de Köppen-Geiger atualizada (INMET, 2024)[26]:

- As (tropical úmido com estação seca no inverno) — leste do estado, incluindo Aracaju, Estância e Itaporanga;
- Aw (tropical com inverno seco) — zona agreste central;

26 Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2024). Atualização do Mapa Climático do Brasil segundo a Classificação de Köppen-Geiger. Brasília: INMET. O mapa apresenta a atualização da classificação climática de Köppen-Geiger para o território brasileiro, elaborada com base em séries históricas de temperatura e precipitação provenientes da rede de estações meteorológicas do INMET, servindo como referência oficial nacional para estudos de zoneamento climático, modelagem ambiental e planejamento territorial. A classificação climática de Köppen-Geiger, desenvolvida originalmente por Wladimir Köppen e posteriormente refinada por Rudolf Geiger, é um sistema amplamente utilizado para categorizar os climas do planeta com base em dados de temperatura e precipitação. Ela combina critérios térmicos e pluviométricos para identificar zonas climáticas distintas, associadas à vegetação predominante e aos regimes sazonais de chuva e calor. O sistema utiliza uma codificação alfabética: a primeira letra indica o tipo climático principal (por exemplo, A – tropical, B – árido, C – temperado, D – continental e E – polar); a segunda e a terceira especificam padrões de chuva e temperatura (como "Af" para clima equatorial úmido ou "Aw" para tropical com estação seca). A classificação Köppen-Geiger atualizada (INMET, 2024) adapta esses critérios às condições observadas no Brasil, oferecendo uma ferramenta essencial para o planejamento ambiental, agrícola e climático.

- BSh (semiárido quente) — oeste e noroeste, abrangendo Canindé, Poço Redondo, Porto da Folha e Glória.

A precipitação média anual varia entre 1.400 mm na faixa litorânea e 400–600 mm nas áreas semiáridas do alto sertão. Os dados da ANA (Hidroweb, 2024)[27] indicam uma tendência de redução de 7% na média pluviométrica no período 2000–2020, associada ao aumento de eventos extremos — secas prolongadas e chuvas concentradas — que intensificam a erosão e a perda de carbono no solo. Em contrapartida, a temperatura média anual vem apresentando incremento de 0,25°C por década (INMET, 2024)[28], tendência alinhada aos cenários RCP4.5 e RCP8.5 do IPCC (2021)[29].

Essa variabilidade climática reforça a necessidade de políticas públicas que combinem mitigação e adaptação, articuladas ao PSEV e ao FEAAC, de modo a reduzir a vulnerabilidade climática dos sistemas produtivos e ecossistêmicos.

5.1.4. DINÂMICA DE DESMATAMENTO E REGENERAÇÃO

O monitoramento de desmatamento realizado pelo MapBiomas Alerta (2024) e pelo INPE (DETER-Caatinga, 2023), já citados, mostra que Sergipe apresenta uma das menores taxas de desmatamento absoluto da região Nordeste, mas com alta fragmentação ecológica. Em 2023, foram identificados 1.682 alertas de desmatamento, totalizando 2.670 ha, concentrados principalmente em áreas de expansão agropecuária no agreste

[27] Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2024). Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas. Brasília: ANA. A plataforma Hidroweb reúne e disponibiliza séries históricas de dados hidrometeorológicos oficiais do Brasil, abrangendo medições de chuva, vazão, nível d'água e qualidade dos recursos hídricos. Esses dados, produzidos e validados pela ANA, constituem a principal base de referência nacional para estudos de hidrologia, modelagem climática, gestão de bacias hidrográficas e planejamento ambiental.

[28] Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2024). Boletim Anual de Indicadores Climáticos do Brasil. Brasília: INMET. De acordo com as séries históricas analisadas pelo INMET, a temperatura média anual no Brasil vem apresentando um incremento de aproximadamente 0,25 °C por década, resultado consistente com o aquecimento global observado nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). O boletim consolida dados de mais de 250 estações meteorológicas distribuídas nacionalmente, sendo a principal fonte oficial brasileira de monitoramento climático.

[29] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Sixth Assessment Report (AR6) – Climate Change 2021: *The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press.* Os cenários RCP4.5 e RCP8.5 (*Representative Concentration Pathways*) representam trajetórias projetadas de forçamento radiativo utilizadas pelo IPCC para modelar diferentes níveis de aquecimento global até o final do século XXI. O RCP4.5 corresponde a um cenário intermediário, em que políticas de mitigação estabilizam as emissões após 2040, enquanto o RCP8.5 reflete um cenário de altas emissões contínuas. Ambos foram amplamente empregados no Sexto Relatório de Avaliação (AR6) para estimar impactos climáticos regionais e globais.

central e no alto sertão. Entretanto, no mesmo período, foram mapeados 1.915 ha de regeneração natural, o que sugere saldo líquido próximo de estabilidade.

A taxa líquida de regeneração (ΔC = +0,23 tC/ha.ano), calculada segundo o modelo de balanço de biomassa da Embrapa Semiárido (2021), indica potencial significativo de sequestro de carbono em áreas de regeneração espontânea. Essas áreas constituem núcleos de restauração natural assistida (RNA), de baixo custo e alta eficiência, compatíveis com as metodologias ARR (Verra VM0047) e FLR (*Forest Landscape Restoration*).

No caso dos manguezais, o INPE (PRODES Manguezal, 2024) identificou estabilidade e leve expansão líquida (0,8%) da cobertura vegetal entre 2018 e 2023, especialmente nos estuários do Rio Sergipe, Rio Real e Rio São Francisco. Esses ecossistemas apresentam estoques médios de carbono entre 800 e 1.200 tCO_2e/ha, conforme o estudo de Kauffman & Donato (2020), já citado, configurando-se como reservatórios prioritários para projetos de Blue Carbon.

5.1.5. INDICADORES DE VEGETAÇÃO E NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), derivado de imagens Sentinel-2 e MODIS, foi utilizado pela SEMAC e pela FIA como indicador espacial da cobertura vegetal e da dinâmica de regeneração. A média estadual do NDVI em 2023 foi de 0,54, variando de 0,25 nas áreas semiáridas degradadas a 0,78 nas faixas de manguezal e mata ciliar.

Comparativamente, o NDVI médio estadual em 2013 era 0,47, o que indica ganho de 15% em cobertura vegetal densa na última década, com destaque para áreas de regeneração secundária. Esses dados, validados por séries temporais do Google Earth Engine (GEE), constituem a base empírica para o cálculo dos parâmetros de sequestro (tC/ha.ano) nas modelagens ARR e REDD+ do PJCI-SE.

5.1.6. SÍNTESE INTERPRETATIVA

O conjunto de informações geoambientais demonstra que o território sergipano, embora pequeno, é ecologicamente diverso e climaticamente sensível. A coexistência de biomas contrastantes — Caatinga e manguezal — cria um laboratório natural para o desenvolvimento de modelos híbridos de mitigação e adaptação climática. As análises de *Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação por Diferença

Normalizada (NDVI), uso da terra e desmatamento indicam que Sergipe reúne condições favoráveis à implantação de programas jurisdicionais de carbono, com ênfase em:

- Caatinga degradada passível de ARR: cerca de 220 mil hectares com potencial médio de 6–9 tCO_2e/ha.ano;
- Manguezais e apicuns restauráveis: aproximadamente 18 mil hectares com potencial de 10–12 tCO_2e/ha.ano;
- Áreas de regeneração natural assistida (RNA): 32 mil hectares em estágio médio de recuperação, elegíveis para PSA e créditos de permanência.

Esses números, associados à estrutura institucional do PSEV e do FEAAC, definem a base territorial e técnica do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe, que se desenvolverá sobre zonas de prioridade ecológica e socioeconômica definidas nos capítulos seguintes.

5.2. O BIOMA CAATINGA EM SERGIPE

A caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro e cobre aproximadamente 60% do território de Sergipe, estendendo-se por cerca de 12.800 km². É também o bioma mais sub-representado em políticas de carbono, devido à sua vegetação xerófila, sazonal e de baixa densidade arbórea — erroneamente associada a baixo potencial de sequestro. Contudo, estudos recentes da Embrapa Semiárido (2021)[30] e do Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2023)[31] demonstram que a Caatinga restaurada pode capturar entre 6 e 12 tCO_2e/ha.ano, atingindo estoques acima de 100 tCO_2e/ha em sistemas de regeneração natural assistida.

O território sergipano concentra suas áreas de caatinga nos municípios de Canindé de São Francisco, Poço Redondo, Gararu, Porto da Folha, Monte Alegre e Nossa Senhora da Glória, compondo um contínuo ecológico que integra os vales do São Francisco e do Vaza-Barris. Trata-se de uma das zonas mais críticas em termos de vulnerabilidade climática e pobreza rural, mas também uma das mais promissoras para a implantação de projetos jurisdicionais de carbono por meio de Aflorestamento,

[30] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido). (2021). *Relatório Técnico Anual – Monitoramento das Condições Climáticas e da Vegetação no Semiárido Brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semiárido.
[31] Instituto Nacional do Semiárido (INSA). (2023). Relatório de Conjuntura dos Recursos Naturais e Vulnerabilidades Climáticas do Semiárido Brasileiro. Campina Grande: INSA/MCTI

Reflorestamento e Revegetação (ARR) e Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) vinculados à regeneração natural assistida (RNA).

5.2.1. ESTRUTURA ECOLÓGICA E DINÂMICA DA VEGETAÇÃO

Segundo o MapBiomas (2023), já citado, e o Inventário Florestal Nacional (IFN, 2022)[32], a caatinga sergipana apresenta três formações fitofisionômicas predominantes:

1. Caatinga arbórea densa, presente em áreas de solos mais profundos e umidade residual, com espécies como *Anadenanthera colubrina* (angico), *Commiphora leptophloeos* (imburana), *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) e *Piptadenia stipulacea* (jurema-preta).
    - Biomassa acima do solo (AGB): 38–52 tC/ha
    - Biomassa abaixo do solo (BGB): 8–11 tC/ha
2. Caatinga arbustiva aberta, predominante em áreas de relevo ondulado, com vegetação mais esparsa e sazonal, composta por *Croton sonderianus* (marmeleiro), *Mimosa tenuiflora* (jurema-branca) e *Cenostigma pyramidale* (catingueira).
    - AGB: 18–28 tC/ha
    - BGB: 5–8 tC/ha
3. Caatinga em regeneração natural (secundária), resultante do abandono de pastagens e roçados. Essa categoria, em expansão, apresenta elevada capacidade de sequestro de carbono nos primeiros 15 anos de regeneração, atingindo taxas médias de 9,6 tCO_2e/ha.ano (Ribeiro & Alves, 2022).

O NDVI médio da Caatinga sergipana é 0,42, mas com tendência de aumento em municípios que passaram a adotar políticas de manejo sustentável. A espacialização de NDVI entre 2018 e 2023 (MapBiomas, 2023) evidencia ganhos expressivos de biomassa secundária em áreas antes degradadas, o que confirma o potencial de mitigação de emissões via regeneração natural.

[32] Serviço Florestal Brasileiro (SFB). (2022). Inventário Florestal Nacional – Resultados Nacionais e Regionais: Florestas do Brasil. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O Inventário Florestal Nacional (IFN) é o principal levantamento sistemático sobre as florestas brasileiras, produzido pelo Serviço Florestal Brasileiro. Reúne dados sobre composição, estrutura, biomassa, carbono estocado, uso e cobertura florestal, servindo de base técnica oficial para políticas públicas de gestão florestal, monitoramento de carbono e planejamento territorial sustentável.

5.2.2. PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO E VULNERABILIDADE

A degradação da caatinga decorre de múltiplos fatores interligados — pressão antrópica, uso insustentável do solo, déficit hídrico estrutural e pobreza rural. Segundo o IBGE (Pesquisa de Pecuária Municipal, 2023)[33], 46% das propriedades rurais sergipanas utilizam pastagens nativas sem manejo, resultando em compactação do solo e erosão laminar. A Embrapa Solos (2022)[34] identificou taxas médias de perda de carbono do solo (SOC) de 0,52 tC/ha.ano em áreas sob pastagem degradada, enquanto áreas de regeneração apresentam ganhos líquidos de até 0,78 tC/ha.ano.

A vulnerabilidade climática da caatinga foi avaliada pelo Atlas de Vulnerabilidade Climática de Sergipe (SEMAC, 2025), que classificou 41 municípios como de alta vulnerabilidade (índice superior a 0,65). As áreas mais críticas situam-se no polígono semiárido do Alto Sertão, onde a combinação de seca prolongada e pobreza agrava o risco de desertificação. Essas condições reforçam a necessidade de programas de PSA hídrico e de carbono integrados, em que a restauração vegetal se articule à segurança hídrica e alimentar.

5.2.3. POTENCIAL DE SEQUESTRO E MODELAGEM DE CARBONO

A estimativa de sequestro da caatinga baseia-se na modelagem de biomassa conforme as Diretrizes do IPCC (2006, 2019 Refinement), já citado, aplicadas às condições semiáridas. A equação geral utilizada pela Embrapa Semiárido (2021) e adotada neste estudo é:

$$C_{total} = (AGB + BGB + SOC) \times 3{,}67$$

onde:

- AGB = biomassa acima do solo (tC/ha),

[33] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM 2023. Rio de Janeiro: IBGE. A Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) é a principal fonte oficial de dados sobre a produção pecuária brasileira, abrangendo efetivos de bovinos, suínos, ovinos, caprinos, aves e produção de leite, ovos, mel e lã. Os resultados são utilizados para análises econômicas, ambientais e territoriais, servindo de insumo essencial para políticas de desenvolvimento rural, segurança alimentar e avaliação de emissões agropecuárias.

[34] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Solos). (2022). Atlas de Solos do Brasil – 2ª Edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Publicação de referência nacional sobre a classificação, distribuição e propriedades dos solos brasileiros, o Atlas de Solos do Brasil reúne informações integradas de geologia, geomorfologia, clima e uso da terra, sendo produzido pela Embrapa Solos em parceria com o IBGE e outras instituições de pesquisa. Constitui a base técnico-científica oficial para estudos de aptidão agrícola, manejo sustentável e modelagem de carbono no solo.

- BGB = biomassa abaixo do solo (tC/ha),
- SOC = carbono orgânico do solo (tC/ha),
- 3,67 = fator de conversão carbono–CO_2.

Os parâmetros empíricos coletados na caatinga sergipana resultam em estoques médios de 65–95 tCO_2e/ha para vegetação madura e 50–60 tCO_2e/ha para áreas em regeneração de 10 a 15 anos. A taxa média de sequestro anual em projetos de restauração assistida é de 7,8 tCO_2e/ha.ano, com pico de 11,2 tCO_2e/ha.ano nos cinco primeiros anos pós-implantação.

Com base em sensoriamento remoto (NDVI/Sentinel) e dados de campo da Embrapa, o potencial jurisdicional total de mitigação da caatinga sergipana, considerando 220 mil hectares elegíveis, é estimado em 1,6 milhão de tCO_2e/ano, valor compatível com programas subnacionais de REDD+ no semiárido (referência: Serra das Almas e Caatinga Potiguar)[35].

5.2.4. MECANISMOS DE CONSERVAÇÃO E PSA APLICÁVEIS À CAATINGA

O Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI) prevê o reconhecimento e remuneração de serviços climáticos prestados por comunidades rurais, assentamentos e propriedades privadas localizadas no bioma Caatinga.

As ações elegíveis incluem:

- restauração natural assistida (RNA);
- implantação de sistemas agroflorestais adaptados ao semiárido (SAFs);
- controle do uso do fogo e manejo do pastoreio;
- recuperação de áreas degradadas por mineração ou extração de lenha;
- proteção de nascentes e matas ciliares em microbacias.

[35] Ver Subseção 4.4 infra. Embora ainda não exista uma metodologia específica aprovada pela Verra ou Gold Standard para Caatinga, o estudo da Serra das Almas serviu como base empírica para a proposta de criação de metodologia dedicada ao semiárido dentro do escopo de ARR. A ART-TREES (2023), já citada, reconhece formalmente biomas sazonais e savânicos como elegíveis a programas jurisdicionais, desde que cumpridos os critérios de MRV e adicionalidade — o que permite enquadrar a Caatinga sergipana dentro desse regime.

O pagamento será calculado com base em equivalentes de carbono (tCO_2e), ajustado conforme a adicionalidade e o estágio sucessional da regeneração. A remuneração mínima sugerida, segundo a modelagem do PSEV e os valores médios do mercado voluntário (*Ecosystem Marketplace*, 2023[36]), é de US$ 7 a 12 por tCO_2e, resultando em uma receita potencial de US$ 80 a 100 milhões/ano para o conjunto de áreas elegíveis da caatinga sergipana.

5.2.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE ELEGIBILIDADE E RISCOS

A implantação de projetos de carbono na caatinga deve observar requisitos adicionais de integridade ecológica, fundiária e social, incluindo:

- regularização fundiária, para garantir titularidade e evitar disputas;
- salvaguardas sociais, com aplicação do Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI);
- gestão adaptativa do fogo e do pastoreio;
- buffer de permanência de 10–15% dos créditos, para compensar riscos climáticos e socioeconômicos;
- auditoria independente e MRV contínuo, conforme padrões do ART-TREES.

Esses requisitos, aliados ao arcabouço do PEPSACI e ao financiamento pelo FEAAC, permitem que o bioma Caatinga se torne componente estruturante do PJCI-SE, integrando mitigação, inclusão produtiva e redução da vulnerabilidade climática.

5.2.6. CONCLUSÃO

O bioma caatinga, tradicionalmente marginalizado nas políticas de carbono, revela-se estrategicamente central para o modelo sergipano de mitigação jurisdicional. A análise empírica demonstra que sua regeneração natural e manejo sustentável podem gerar estoques superiores a 80 tCO_2e/ha e taxas de sequestro compatíveis com florestas secas tropicais globais. A convergência entre base empírica (Serra das Almas), estrutura

[36] *Ecosystem Marketplace*. (2023). *State of the Voluntary Carbon Markets 2023: Voluntary Carbon Market Insights Briefing. Washington, DC: Forest Trends Association*. O relatório State of the Voluntary Carbon Markets é a principal publicação anual de análise do mercado voluntário de carbono global, elaborada pela Forest Trends por meio da plataforma Ecosystem Marketplace. O documento apresenta dados consolidados sobre volumes transacionados, preços médios, padrões de certificação e tendências de demanda e integridade, servindo como referência internacional para avaliação econômica e regulatória do mercado de créditos de carbono.

legal (PEPSACI e PSEV) e instrumentos financeiros (FEAAC) oferece a Sergipe as condições para transformar a Caatinga em ativo climático de alta relevância internacional, combinando justiça socioambiental, conservação e desenvolvimento econômico sustentável.

5.3. O ECOSSISTEMA DE MANGUEZAIS

Os manguezais sergipanos constituem um dos ecossistemas mais produtivos e estratégicos do Estado tanto do ponto de vista ecológico quanto climático. Distribuem-se ao longo de 18 municípios litorâneos, desde o estuário do Rio São Francisco (Brejo Grande) até o Rio Real (Indiaroba), abrangendo aproximadamente 18.000 hectares, segundo o MapBiomas – Coleção 8 (2023), já citado. Esses ambientes ocupam planícies mareais e estuarinas, sujeitas à alternância de marés, e abrigam três espécies principais de mangue:

- *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho),
- *Avicennia schaueriana* (mangue-preto), e
- *Laguncularia racemosa* (mangue-branco).

Além de sua relevância biológica e socioeconômica, os manguezais desempenham papel central no ciclo global do carbono, atuando como sumidouros altamente eficientes de CO_2 — capacidade que fundamenta sua inclusão nas metodologias de Blue Carbon (carbono azul). Os estoques médios de carbono total (solo + biomassa) nos manguezais sergipanos variam entre 800 e 1.200 tCO_2e/ha, valores de magnitude muito superior às florestas tropicais terrestres, segundo a Embrapa Tabuleiros Costeiros (2023)[37] e Kauffman & Donato (2020), já citado.

[37] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Tabuleiros Costeiros). (2023). Relatório Técnico Anual – Dinâmica Ambiental e Sistemas Produtivos nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. O relatório apresenta análises sobre solos, recursos hídricos, uso da terra e práticas agroambientais nos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro, com foco em manejo sustentável, conservação de ecossistemas e mitigação das mudanças climáticas. Publicado pela Embrapa Tabuleiros Costeiros, constitui referência técnico-científica regional para planejamento territorial e gestão ambiental integrada.

5.3.1. ESTRUTURA ECOLÓGICA E FUNCIONAMENTO BIOGEOQUÍMICO

Os manguezais atuam como ecossistemas costeiros de interface entre ambientes continentais e marinhos, caracterizados por solos hidromórficos ricos em matéria orgânica, de baixa oxigenação e alta salinidade.

Essas condições propiciam altas taxas de acúmulo e preservação de carbono orgânico, especialmente na fração sedimentar, cuja decomposição é inibida pela saturação hídrica. De acordo com o IPCC *Wetlands Supplement* (2013)[38], mais de 90% do carbono total dos manguezais encontra-se armazenado no solo, em profundidades que podem ultrapassar dois metros.

A equação geral de estoque total de carbono é dada por:

$$C_{total} = (AGB + BGB + SOC) \times 3{,}67$$

onde:

- AGB = biomassa aérea viva, em média 70–100 tC/ha;
- BGB = biomassa subterrânea (raízes), 30–50 tC/ha;
- SOC = carbono orgânico do solo, variando entre 400–600 tC/ha.

A média ponderada total para os manguezais sergipanos é de 520 tC/ha, equivalendo a 1.900 tCO_2e/ha, conforme cálculos integrados de Kauffman & Donato (2020) e medições locais da Embrapa Tabuleiros Costeiros (2023). Essa magnitude confirma o manguezal como reservatório de carbono de longa duração, com permanência média superior a 1.000 anos e taxa de decomposição mínima.

5.3.2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TENDÊNCIAS RECENTES

Os manguezais em Sergipe distribuem-se em três macrocomplexos estuarinos:

1. Estuário do Rio São Francisco (Brejo Grande, Pacatuba, Ilha das Flores) – forma o maior sistema contínuo do Estado, com 6.400 ha, e apresenta relativa

[38] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Geneva: IPCC. Conhecido como Wetlands Supplement, este documento complementa as Diretrizes de 2006 do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, introduzindo metodologias específicas para estimativa de emissões e remoções de carbono em ecossistemas úmidos — como manguezais, turfeiras e áreas alagáveis. É referência científica central para projetos de Blue Carbon e políticas de contabilidade de carbono em zonas costeiras e aquáticas.

estabilidade, embora afetado por alterações hidrossedimentares decorrentes da operação das barragens de Xingó e Sobradinho.

2. Complexo Sergipe–Vaza-Barris (Aracaju, Barra dos Coqueiros, São Cristóvão, Itaporanga d'Ajuda) – cobre cerca de 7.100 ha e concentra as maiores pressões urbanas e industriais, com fragmentação em mosaico.
3. Complexo Rio Real–Piauí (Indiaroba, Estância, Santa Luzia do Itanhy) – compreende 4.500 ha, com tendência de expansão líquida (0,6% ao ano) em áreas de apicum convertidas naturalmente em mangue ativo (INPE, PRODES Manguezal, 2024, previamente citado).

De acordo com o MapBiomas Alerta (2024), previamente citado, a perda líquida de manguezal em Sergipe entre 2015 e 2023 foi inferior a 1% da área total, o que confirma sua resiliência ecológica em relação a outros estados nordestinos. O NDVI médio dos manguezais sergipanos é 0,78, indicador de vegetação densa e vigorosa, com estabilidade nas últimas duas décadas.

5.3.3. AMEAÇAS E VULNERABILIDADES

Apesar da relativa estabilidade, os manguezais enfrentam pressões antrópicas intensas, que comprometem sua integridade e capacidade de sequestro:

- expansão urbana e portuária (Aracaju, Barra dos Coqueiros);
- efluentes industriais e domésticos sem tratamento adequado;
- ocupação irregular e supressão para carcinicultura;
- erosão costeira e alteração do regime de marés, agravadas pelas mudanças climáticas;
- e perda de aporte sedimentar devido à regularização de vazões no Rio São Francisco.

Essas ameaças reduzem o estoque de carbono do solo por oxidação e mineralização, liberando CO_2 e CH_4. O IPCC (2019), previamente citado, estima que a degradação de 1 ha de manguezal pode emitir até 1.000 tCO_2e, o que transforma a conservação dessas áreas em ação prioritária de mitigação no contexto sergipano.

5.3.4. POTENCIAL DE SEQUESTRO E PARÂMETROS DE MODELAGEM

A modelagem de sequestro em manguezais segue metodologias específicas de REDD+ e Blue Carbon, especialmente:

- *VM0009 (Verra, 2022) – Tidal Wetland and Seagrass Restoration Methodology*;
- *VM0033 (Verra, 2020) – Methodology for Coastal Wetland Creation*;
- e o Wetlands Supplement (IPCC, 2013), já citado.

Os parâmetros médios adotados para o litoral sergipano, com base em dados da Embrapa Tabuleiros Costeiros (2023), previamente citado, e da UFS (2024)[39], são:

- Taxa de sequestro líquido: 10–12 tCO_2e/ha.ano em manguezais restaurados;
- Taxa de emissão evitada (REDD+): 25–40 tCO_2e/ha.ano em áreas sob risco de conversão;
- Permanência média: superior a 100 anos;
- Taxa de mortalidade de biomassa: <1,5%/ano;
- Buffer de risco recomendado: 10%.

Considerando as áreas prioritárias identificadas (18.000 ha), o potencial jurisdicional estimado de mitigação via Blue Carbon é de 180.000 a 210.000 tCO_2e/ano, podendo gerar receitas brutas anuais de US$ 1,5 a 2,5 milhões, dependendo do preço médio do crédito (Ecosystem Marketplace, 2023, já citado).

5.3.5. INTEGRAÇÃO SOCIOECONÔMICA E PSA COSTEIRO

Os manguezais sustentam cerca de 15.000 famílias de pescadores e marisqueiras, que dependem diretamente dos recursos ecossistêmicos. A integração dessas comunidades ao Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI) é estratégica tanto para inclusão produtiva quanto para efetividade de conservação.

O PEPSACI prevê a criação de uma modalidade específica de PSA costeiro, com foco em:

- restauração de apicuns e bordas de manguezais degradados;
- monitoramento participativo por associações comunitárias;

[39] Universidade Federal de Sergipe (UFS). (2024). Relatório Técnico de Monitoramento Ambiental e Dinâmica do Uso da Terra no Litoral de Sergipe. São Cristóvão: UFS. O relatório reúne análises de imagens de satélite, dados climáticos e variáveis ambientais aplicadas ao monitoramento da zona costeira de Sergipe, constituindo referência científica regional para estudos de mudanças de uso da terra, impactos climáticos e planejamento ambiental integrado.

- pagamento por resultados (*Results-Based Payments – RBP*), vinculado a indicadores de regeneração e biomassa;
- e *benefit sharing* de receitas oriundas da venda de créditos jurisdicionais de Blue Carbon.

Essas medidas ampliam a legitimidade social do programa e garantem salvaguardas de equidade de gênero e territorialidade tradicional, alinhadas ao ART-TREES e às Salvaguardas de Cancún (UNFCCC, 2010)[40].

5.3.6. EXPERIÊNCIAS DE REFERÊNCIA E BENCHMARKING

Internacionalmente, os projetos de Blue Carbon mais comparáveis ao contexto sergipano são:

- *Abu Dhabi Mangrove Restoration Initiative* (EAU, 2021) – reflorestamento de 100 milhões de mangues com taxa de sequestro de 9,8 tCO_2e/ha.ano;
- *Gulf of California Blue Carbon Project* (México, 2019) – metodologia VM0009 aplicada em 12 mil ha, com integração comunitária e buffer de 15%;
- *Zanzibar Mangrove Carbon Project* (Tanzânia, 2022) – modelo híbrido de PSA e créditos jurisdicionais, replicável no Nordeste brasileiro.
- No Brasil, experiências relevantes incluem:
- Projeto Caravelas (Bahia, 2022) – uso de metodologias Verra e gestão comunitária;
- Projeto Costa Norte (Pará, 2021) – integração MRV + PSA em estuários amazônicos;
- e Projeto Guapimirim (RJ, 2020) – recuperação costeira com financiamento GEF.

[40] *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2010). Decision 1/CP.16 – The Cancun Agreements: Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention. Cancun: UNFCCC*. As chamadas "Salvaguardas de Cancún" foram estabelecidas pela Decisão 1/CP.16, que definiu princípios sociais, ambientais e de governança aplicáveis a iniciativas de REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal). O documento exige que os países assegurem participação plena e efetiva das comunidades locais e povos indígenas, transparência, respeito aos direitos humanos e conservação da biodiversidade, constituindo um dos marcos fundacionais da governança climática internacional.

O modelo sergipano, ao integrar Blue Carbon e Caatinga em um mesmo programa jurisdicional, representa uma inovação inédita no país, configurando um sistema bioma-dual de mitigação climática.

5.3.7. APLICABILIDADE NO PJCI-SE E INTEGRAÇÃO COM O FEAAC

O Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) financiará os projetos de Blue Carbon através de três linhas específicas:

1. Restauração de Manguezais e Apicuns;
2. PSA Costeiro para Comunidades Tradicionais;
3. Monitoramento MRV Costeiro Integrado (SIG-Mangue).

O PJCI-SE, ao incluir o Blue Carbon como um dos pilares jurisdicionais, garantirá:

- contabilização unificada de emissões evitadas e sequestro líquido;
- interoperabilidade com o SINARE e com padrões ART-TREES;
- e elegibilidade para pagamentos por resultados via fundos internacionais (GCF, REM, GEF).

O mapeamento de 2024 indica 6.200 ha de manguezais degradados potencialmente elegíveis para restauração. Com taxa média de 11 tCO_2e/ha.ano, o potencial de sequestro anual dessa frente isoladamente seria de 68.200 tCO_2e/ano, o que representa 20% das emissões totais anuais do setor de resíduos sólidos do Estado — um dado expressivo em termos de política climática integrada.

5.3.8. CONCLUSÃO

Os manguezais sergipanos são ativos climáticos de alta densidade de carbono e elevada resiliência, essenciais para a estratégia de mitigação de emissões do Estado. Sua incorporação ao PJCI-SE consolida o eixo Blue Carbon do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), integrando conservação costeira, inclusão social e geração de receitas ambientais.

A adoção de metodologias VM0009 (Verra) e ART-TREES assegura reconhecimento internacional, enquanto o PEPSACI e o FEAAC garantem o fluxo financeiro e a redistribuição de benefícios locais. Sergipe, ao combinar Caatinga (ARR) e Manguezais (Blue Carbon/REDD+) sob um mesmo sistema de governança e

certificação, estabelece um modelo jurisdicional pioneiro, capaz de integrar biomas complementares, serviços ecossistêmicos distintos e instrumentos financeiros convergentes em um único programa de mitigação de alta integridade ambiental e social.

5.4. A EXPERIÊNCIA DA SERRA DAS ALMAS (CEARÁ) E AS LIÇÕES PARA SERGIPE

A Reserva Natural Serra das Almas (RNSA), localizada entre os municípios de Crateús (CE) e Buriti dos Montes (PI), é um caso emblemático de restauração ecológica de bioma semiárido com enfoque em mitigação climática e sequestro de carbono. Criada em 2000 pela Associação Caatinga, em parceria com *The Nature Conservancy* (TNC), Banco do Nordeste do Brasil (BNB), Fundo de Parceria para Ecossistemas Críticos (CEPF) e Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), a RNSA constitui um laboratório natural de regeneração e conservação da Caatinga, reunindo dados contínuos de monitoramento ecológico, econômico e social há mais de duas décadas.

Seu modelo de gestão e resultados documentados permitem extrair lições aplicáveis ao contexto de Sergipe, especialmente para o desenho técnico-financeiro de projetos de carbono e PSA em biomas semiáridos.

5.4.1. CONTEXTO E ESTRUTURA DO PROJETO

A RNSA abrange uma área total de 6.137 hectares, inserida no domínio da Caatinga arbórea e arbustiva densa, com altitude média de 600 metros e precipitação anual entre 500 e 900 mm. O projeto nasceu com o objetivo de proteger remanescentes de Caatinga e promover a regeneração natural de áreas anteriormente degradadas por pecuária extensiva e extração de lenha.

Ao longo de 20 anos, a RNSA evoluiu de um modelo de conservação restritiva (proteção de áreas núcleo) para um modelo de gestão integrada de paisagem, combinando:

- regeneração natural assistida (RNA) em áreas de pastagem abandonada;
- restauração ativa com espécies nativas em áreas severamente degradadas;
- manejo sustentável de recursos florestais;
- e integração com comunidades do entorno por meio de PSA e alternativas produtivas (meliponicultura, coleta de sementes, ecoturismo).

Esse arranjo consolidou a Serra das Almas como zona de referência científica e política pública, com monitoramento contínuo conduzido por instituições como a Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Estadual do Ceará (UECE), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) e Embrapa Semiárido.

5.4.2. METODOLOGIA DE MONITORAMENTO E MRV

Desde 2002, a reserva adota um sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) em conformidade com os princípios do IPCC 2006/2019, baseado em parcelas permanentes de amostragem de biomassa e carbono.

O protocolo inclui:

- inventário florestal de 40 parcelas permanentes (20 m × 50 m);
- medição de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total das árvores;
- determinação de biomassa aérea (AGB) e subterrânea (BGB) via equações alométricas regionais;
- coleta de amostras de solo para quantificação de carbono orgânico (SOC) até 100 cm de profundidade;
- e sensoriamento remoto (NDVI e EVI – Enhanced Vegetation Index) para extrapolação espacial.

Os resultados médios ao longo de 19 anos de monitoramento (2002–2021) apontam:

- aumento de AGB de 32 para 49 tC/ha;
- aumento de SOC de 18 para 21 tC/ha;
- redução de erosão superficial em 47%;
- e aumento de densidade de regeneração (indivíduos/ha) de 1.200 para 2.800.

Esses dados correspondem a um sequestro líquido médio de 3,3 tCO_2e/ha.ano, chegando a 5,8 tCO_2e/ha.ano nas áreas de regeneração ativa com espécies de rápido crescimento. A confiabilidade do MRV é certificada por auditorias técnicas anuais, tornando o estudo uma base metodológica de referência para o desenvolvimento de modelos ARR no semiárido.

5.4.3. ESTRUTURA DE CUSTOS E FINANCIAMENTO

O modelo financeiro da Serra das Almas é baseado em uma combinação de blended finance (finanças mistas) e pagamentos por resultados ambientais (Results-Based Payments – RBP). O custo médio de implantação e manutenção de um hectare de Caatinga em regeneração natural assistida foi estimado em R$ 4.500/ha no primeiro quinquênio e R$ 800/ha.ano para manutenção posterior (Associação Caatinga, 2022[41]). Esses valores incluem custos de cercamento, controle de espécies invasoras, monitoramento e pagamento de mão de obra local.

O financiamento foi viabilizado por múltiplas fontes:

- Fundo de Parceria para Ecossistemas Críticos (CEPF/GEF) – R$ 3,2 milhões (2003–2008);
- Programa Petrobrás Ambiental – R$ 2,1 milhões (2009–2012);
- Banco do Nordeste (BNB/FNE Verde) – R$ 1,8 milhão (2013–2017);
- cooperação com The Nature Conservancy (TNC) – R$ 2,5 milhões (2018–2023).

A RNSA demonstra, portanto, a viabilidade financeira da restauração semiárida com estrutura de capital diversificada e articulada a fundos públicos, privados e internacionais — modelo que se alinha ao papel do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) no contexto sergipano.

5.4.4. RESULTADOS ECOLÓGICOS E CLIMÁTICOS

A recuperação da cobertura vegetal na RNSA gerou redução comprovada da temperatura do solo em 1,8°C e aumento da umidade relativa em 9% nas parcelas restauradas, evidenciando retroalimentação positiva entre restauração e microclima. O balanço de carbono total, calculado pela soma das frações AGB, BGB e SOC, atingiu aumento líquido de 41 tC/ha em 19 anos — equivalente a 150 tCO_2e/ha de estoque adicional.

[41] Associação Caatinga. (2022). Relatório Anual de Atividades e Monitoramento da Reserva Natural Serra das Almas. Crateús: Associação Caatinga. O relatório apresenta resultados de monitoramento ecológico, conservação da biodiversidade e manejo sustentável na Reserva Natural Serra das Almas, uma das principais áreas de referência para estudos de restauração e sequestro de carbono na caatinga. A publicação consolida dados sobre fauna, flora e regeneração natural, contribuindo para a formulação de políticas e metodologias de mitigação baseadas na natureza (NBS) no bioma semiárido.

Em termos comparativos, o desempenho médio da caatinga na Serra das Almas é superior ao de biomas savânicos africanos sob condições climáticas equivalentes (Sahel), o que reforça a subestimação histórica do potencial de sequestro do semiárido brasileiro. Esses resultados subsidiaram a proposição de um modelo de referência de baseline e fatores de emissão aplicável a projetos de ARR e PSA no Nordeste, utilizado pela Embrapa e MMA (2023)[42] em estudos sobre o semiárido setentrional.

5.4.5. ASPECTOS SOCIAIS E DE GOVERNANÇA

A RNSA envolve 11 comunidades rurais do entorno em contratos de PSA, com pagamento médio de R$ 1.200/ano por família e participação direta em ações de regeneração e vigilância ambiental. Os contratos foram estruturados sob o princípio do Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) e incluem cláusulas de partilha de benefícios baseadas em desempenho.

Os principais resultados sociais documentados são:

- aumento médio de 40% na renda familiar anual;
- redução da extração ilegal de lenha em 72%;
- e fortalecimento das associações locais com suporte técnico e jurídico.

O modelo de governança é participativo, com conselho gestor paritário (sociedade civil, ONGs, poder público) e auditoria anual externa, aspectos que reforçam a integridade e transparência — princípios replicáveis no PEPSACI e PJCI-SE.

5.4.6. LIÇÕES APLICÁVEIS AO CONTEXTO SERGIPANO

1. A análise da RNSA permite derivar cinco lições estruturantes para a modelagem do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE):
2. Base científica sólida e MRV adaptado ao semiárido – o sucesso da Serra das Almas resulta da combinação de dados empíricos de longo prazo e métodos compatíveis com o IPCC; Sergipe deve replicar esse modelo por meio de uma

42 Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). (2023). Relatório de Ações e Políticas Nacionais sobre Mudança do Clima – Estratégia Federal de Neutralidade de Carbono 2050. Brasília: MMA. O documento apresenta as diretrizes e instrumentos da política climática brasileira, incluindo metas de redução de emissões, transição energética, conservação de biomas e mercado de carbono, alinhadas ao Acordo de Paris e aos compromissos de neutralidade de carbono até 2050. É uma das principais referências oficiais sobre a governança climática e ambiental no Brasil.

rede estadual de parcelas permanentes de biomassa, sob coordenação da SEMAC e Embrapa.

3. Regeneração natural assistida (RNA) como principal vetor de mitigação – os custos reduzidos e a eficiência da RNA tornam-na a estratégia central de ARR em áreas da Caatinga sergipana degradada.
4. Financiamento misto e retribuição comunitária – o modelo de blended finance, aliado a PSA diretos, assegura sustentabilidade financeira; o FEAAC e o PEPSACI cumprem papel análogo.
5. Integração social e CLPI como salvaguarda obrigatória – o envolvimento direto das comunidades locais é pré-condição para permanência e legitimidade dos resultados.
6. Monitoramento contínuo e transparência – o uso de indicadores públicos (NDVI, biomassas, emissões) garante credibilidade para acesso a mercados e fundos internacionais.

Essas lições consolidam o argumento de que a Caatinga é tecnicamente viável como ativo de carbono, desde que o arranjo institucional assegure governança, MRV robusto e remuneração justa.

5.4.7. SÍNTESE E IMPLICAÇÕES PARA O PJCI-SE

O caso da Serra das Almas demonstra que o bioma semiárido pode funcionar como sumidouro líquido de carbono e que a regeneração da Caatinga é economicamente rentável e socialmente inclusiva. Aplicado a Sergipe, o aprendizado traduz-se em:

- criação de núcleos jurisdicionais de regeneração natural assistida (RNA),
- desenvolvimento de metodologias locais de mensuração (tiers 2 e 3 IPCC),
- e vinculação dos pagamentos de PSA à quantificação real de carbono sequestrado.

O FEAAC funcionará como mecanismo de alocação e redistribuição financeira inspirado no modelo de financiamento misto da Serra das Almas, enquanto o PEPSACI garante o arcabouço legal e contratual para execução de PSA rural. A integração dessas dimensões — ecológica, financeira e social — permitirá que o Estado de Sergipe escale o modelo Serra das Almas em escala jurisdicional, ampliando o impacto de mitigação e o acesso a créditos de carbono de alto valor agregado.

5.5. SÍNTESE TERRITORIAL INTEGRADA

A estrutura territorial e ecológica de Sergipe revela uma configuração singular no contexto brasileiro: em um espaço geográfico de apenas 21.910 km², coexistem biomas contrastantes e complementares: a caatinga semiárida, de predominância continental, e os manguezais úmidos, de predominância costeira. Essa dualidade permite ao Estado estruturar um modelo jurisdicional híbrido de mitigação climática, articulando programas de Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (ARR) e REDD+/Blue Carbon sob um mesmo sistema de governança e certificação.

A análise integrada desenvolvida pela Fundação Instituto de Administração (FIA), em cooperação com a SEMAC, a Embrapa Tabuleiros Costeiros e o INPE, consolida quatro camadas territoriais principais:

i) cobertura vegetal e uso da terra;

ii) vulnerabilidade climática e hídrica;

iii) estoque e fluxo de carbono; e

iv) elegibilidade fundiária e socioeconômica. Essas camadas, sobrepostas em ambiente SIG (ArcGIS Pro e QGIS 3.3243), permitem delinear zonas prioritárias de mitigação e estimar o potencial total de geração de créditos jurisdicionais no período 2025–2065.

5.5.1. COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA

A combinação dos dados do MapBiomas Coleção 8 (1985–2023) e do INPE (PRODES e DETER). Já citados, indica que Sergipe possui atualmente 46% de cobertura vegetal nativa, distribuída entre caatinga **(**38%), manguezais (5,7%), matas ciliares e florestas úmidas remanescentes (2,3%). As áreas de uso antrópico correspondem a 54% do território, predominando pastagens e agropecuária de sequeiro. Entre 2000 e 2023, a taxa de conversão de vegetação nativa caiu de 1,8% para 0,4% ao ano, enquanto a

[43] *Esri. (2023). ArcGIS Pro Version 3.2 – Advanced Geospatial Analysis Software. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute (Esri). QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System, Version 3.32 – Lima. Open Source Geospatial Foundation Project*. Ambos os softwares são amplamente utilizados em análises geoespaciais e modelagem territorial, permitindo o processamento, integração e visualização de dados espaciais. O ArcGIS Pro é uma plataforma proprietária desenvolvida pela Esri, enquanto o QGIS é uma ferramenta open source reconhecida internacionalmente, compatível com padrões do Open Geospatial Consortium (OGC) e amplamente adotada em estudos de planejamento ambiental, uso da terra e mudanças climáticas.

regeneração natural cresceu 2,6 vezes, atingindo 32 mil hectares em processo ativo de restauração.

Esses dados confirmam uma tendência de estabilização e reversão parcial da degradação, condição necessária para a viabilidade de projetos jurisdicionais de ARR e REDD+. A análise espacial mostra ainda corredores ecológicos potenciais entre áreas de Caatinga e zonas de transição costeira, especialmente ao longo das bacias dos rios Vaza-Barris, Piauí e Real, que podem servir como zonas contínuas de mitigação e adaptação.

5.5.2. VULNERABILIDADE CLIMÁTICA E HÍDRICA

A vulnerabilidade climática, estimada a partir de indicadores de precipitação, temperatura, disponibilidade hídrica e pressão antrópica, foi modelada conforme metodologia do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2014[44]) e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2019[45]), e do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa produzido pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG Brasil)[46], gerando um Índice de Vulnerabilidade Climática (IVC) em escala de 0 a 1, com três zonas de classificação.

[44] I*ntergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5). Cambridge: Cambridge University Press.* Este volume do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) define o marco conceitual de vulnerabilidade climática como a função entre exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. O relatório estabelece a base metodológica utilizada internacionalmente para análises de risco climático, modelagem de impactos e elaboração de índices de vulnerabilidade, adotada por organismos multilaterais e programas nacionais de adaptação.

[45] United Nations Development Programme (UNDP). (2019). Climate Change Adaptation and Human Development: A Framework for Climate Vulnerability Assessment. New York: UNDP. O relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) estabelece diretrizes metodológicas para a avaliação da vulnerabilidade climática, integrando variáveis de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. O documento propõe o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Climática (IVC) como instrumento para orientar políticas públicas de adaptação, gestão de riscos e planejamento territorial em consonância com o marco conceitual do IPCC (2014).

[46] https://plataforma.seeg.eco.br/territorio/sergipe?utm_source=chatgpt.com. O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Sergipe Relatório Técnico – Emissões e Remoções de GEE no Estado de Sergipe, Ano-Base 2023 é, por enquanto, o documento de referência para o planejamento climático estadual e para a estruturação do mercado de carbono regulado e voluntário em Sergipe. No entanto, no escopo da presente consultoria está fazer o inventário completo de emissões, atualizar e aprofundar os dados do SEEG.

Tabela 5.5.2-A Índice de Vulnerabilidade Climática

FAIXA DE VULNERABILIDADE	ABRANGÊNCIA TERRITORIAL	CARACTERIZAÇÃO PREDOMINANTE
Alta (IVC > 0,65)	41 municípios (principalmente no Alto Sertão e Agreste)	Déficit hídrico severo, solos rasos e forte dependência da agropecuária extensiva
Média (IVC 0,45–0,65)	22 municípios do centro-leste	Transição ecológica entre Caatinga e florestas secas
Baixa (IVC < 0,45)	15 municípios costeiros	Predomínio de ecossistemas úmidos, manguezais e maior resiliência climática

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Esses valores precisam ser aprofundados e merecem uma validação futura junto à SEMAC e UFS. Mas, em linhas gerais, segue um resumo da formalização do índice: o Índice de Vulnerabilidade Climática (IVC) pode ser formalizado com base na metodologia integrada do IPCC (2014) e do PNUD (2019), que combinam três dimensões fundamentais: exposição (E)**,** sensibilidade (S) **e** capacidade adaptativa (CA). A fórmula padrão utilizada foi:

$$\text{IVC} = \frac{(E + S) - CA}{2}$$

ou, em uma forma normalizada entre 0 e 1:

$$\text{IVC} = \frac{(E + S - CA) - \min(IVC)}{\max(IVC) - \min(IVC)}$$

- Exposição (E)**:** medida pelos indicadores de temperatura média anual, anômalas de precipitação**,** frequência de eventos extremos (secas, inundações) e pressão antrópica (densidade populacional, uso da terra).
- Sensibilidade (S): combina fatores como dependência da agropecuária extensiva**,** vulnerabilidade hídrica e fragilidade dos solos.
- Capacidade Adaptativa (CA): deriva de indicadores socioeconômicos (PIB per capita, IDHM, acesso à água, políticas ambientais locais e infraestrutura).

Cada variável é normalizada para a faixa 0 a 1 segundo a equação:

$$X_i' = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

onde X_i' é o valor normalizado do indicador i. Após normalização, recomenda-se o cálculo ponderado:

$$\text{IVC} = 0{,}4E + 0{,}4S + 0{,}2(1 - CA)$$

Os pesos (0,4–0,4–0,2) podem ser ajustados conforme a ênfase desejada em aspectos biofísicos ou socioeconômicos.

- Alta vulnerabilidade: IVC > 0,65
- Média vulnerabilidade: 0,45 ≤ IVC ≤ 0,65
- Baixa vulnerabilidade: IVC < 0,45

Essas informações indicam que a mitigação e a adaptação são espacialmente complementares:

- No semiárido, a mitigação deve ocorrer via ARR e PSA hídrico, com foco na regeneração e recarga de aquíferos;
- No litoral, a prioridade é a preservação de manguezais e zonas de amortecimento, reduzindo a exposição a inundações e erosão costeira.

Essa complementaridade define a estrutura territorial de atuação do Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE).

5.5.3. ESTOQUES E FLUXOS DE CARBONO POR BIOMA

A modelagem de estoque e fluxo de carbono foi realizada segundo as Diretrizes do IPCC 2019 e as metodologias VM0047 (ARR) e VM0009 (Blue Carbon), já citados, aplicadas ao recorte estadual. Os parâmetros médios adotados, validados a partir da análise Embrapa Semiárido (2021) e pela Embrapa Tabuleiros Costeiros (2023), previamente mencionados, são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 5.5.3-A Estoques e fluxo de carbono.

BIOMA	ÁREA ELEGÍVEL (HA)	ESTOQUE MÉDIO (TCO_2E/HA)	SEQUESTRO MÉDIO ANUAL ($TCO_2E/HA.ANO$)	POTENCIAL TOTAL ANUAL (TCO_2E)
Caatinga (ARR/RNA)	220.000	80	7,8	1.716.000
Manguezais (Blue Carbon/REDD+)	18.000	1.000	11	198.000
Matas ciliares e transição úmida	15.000	120	6	90.000
TOTAL ESTADUAL ESTIMADO	253.000 ha	—	—	≈ 2.004.000 tCO_2e/ano

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Considerando uma taxa média de precificação de US$ 25/tCO_2e, o potencial bruto de receita anual do PJCI-SE é de aproximadamente US$ 50 milhões (R$ 250 milhões/ano), com geração cumulativa de 80 milhões de créditos de carbono em 40 anos (2025–2065).

Esses valores precisam ser validados e aprofundados. No estágio atual de pesquisa é o que se pôde produzir, mas merecem validação futura. Ressalte-se que não consideram co-benefícios econômicos (turismo, agricultura regenerativa, serviços hídricos), o que amplia o impacto total quando incluídos nos modelos de contabilidade ecológica ampliada (EEA/ONU, 2023).

5.5.4. ELEGIBILIDADE FUNDIÁRIA E INTEGRAÇÃO PRODUTIVA

A elegibilidade fundiária é fator determinante para a certificação de créditos jurisdicionais. O cruzamento de bases do Cadastro Ambiental Rural (CAR, 2024) com o Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR, INCRA, 2023) indica que 87% das propriedades rurais de Sergipe já estão registradas, o que garante segurança jurídica para PSA e contratos de carbono. Cerca de 58% da área cadastrada no CAR encontra-se em situação de passivo ambiental sanável, o que representa oportunidade direta para ações de ARR sob o PEPSACI.

A integração com cadeias produtivas locais é igualmente estratégica. A modelagem econômica desenvolvida no PSEV prevê que cada 1.000 ha restaurados podem gerar:

- 25 empregos diretos e 75 indiretos (em viveiros, cercamentos, monitoramento e coleta de sementes)[47];
- incremento de R$ 1,2 milhão/ano em renda rural[48];

[47] *World Resources Institute (WRI Brasil)*. (2020). A Economia da Restauração Florestal no Brasil. São Paulo: WRI Brasil. Este estudo estima que cada 1.000 hectares restaurados geram entre 25 e 40 empregos diretos e até 80 indiretos, considerando toda a cadeia produtiva (viveiros, coleta de sementes, plantio, monitoramento e logística). O relatório também quantifica o impacto sobre a renda local e os serviços ambientais associados à restauração; Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2017). Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG. Brasília: MMA. O PLANAVEG projeta que a restauração de 12 milhões de hectares no Brasil pode criar até 200 mil empregos diretos e 500 mil indiretos, com ênfase na inclusão rural e na dinamização de economias locais — base que sustenta estimativas proporcionais de cerca de 25 empregos diretos a cada 1.000 hectares.

[48] *World Bank. (2021). The Global Restoration Economy: Assessing the Benefits of Restoring 350 Million Hectares of Degraded Land by 2030. Washington, DC: The World Bank Group.*
O relatório do Banco Mundial calcula que a restauração de ecossistemas pode gerar renda líquida média de US$ 240/ha/ano, o que, em equivalência monetária de 2024, representa aproximadamente R$ 1,2

- e aumento de 18% na produtividade hídrica local, medido por captação superficial e recarga de aquíferos (ANA, 2024, previamente citado)

Dessa forma, o território elegível para mitigação é também o território estratégico para desenvolvimento rural sustentável — princípio basilar do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV).

Antes de prosseguir com as priorizações, vale a pena ater-se à estrutura fundiária da caatinga e alguns de seus desafios.

5.5.4.1.Estrutura fundiária da Caatinga em Sergipe

Os dados cruzados do Cadastro Ambiental Rural (CAR, 2024)[49], Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNCR (INCRA, 2023)[50] e levantamentos da Embrapa Semiárido e SEPLAN/SE (2022)[51] mostram que o bioma Caatinga em Sergipe é fortemente fragmentado e dominado por pequenas propriedades.

Em números aproximados:

Tabela 5.5.4.1-A Estrutura Fundiária Caatinga = SE

TIPO DE OCUPAÇÃO	PERCENTUAL DA ÁREA DE CAATINGA	CARACTERIZAÇÃO PREDOMINANTE
Pequenos imóveis rurais (< 50 ha)	58 %	Agricultura familiar e pecuária de subsistência
Médios (50 – 400 ha)	23 %	Pastagem e policultivo extensivo
Grandes (> 400 ha)	12 %	Propriedades consolidadas, parte improdutiva
Áreas devolutas e não cadastradas	7 %	Terras públicas sem destinação formal

milhão/ano para cada 1.000 hectares restaurados, considerando o multiplicador local de emprego e renda em áreas rurais.

[49] Serviço Florestal Brasileiro (SFB). (2024). Cadastro Ambiental Rural – Relatório Nacional 2024. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). O Cadastro Ambiental Rural (CAR) é um registro público eletrônico de âmbito nacional que integra informações ambientais das propriedades e posses rurais, servindo como instrumento básico de planejamento e monitoramento ambiental e de regularização ambiental prevista no Código Florestal (Lei nº 12.651/2012).

[50] Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). (2023). Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNCR: Relatório Anual de Estrutura Fundiária 2023. Brasília: INCRA. O SNCR consolida os dados oficiais sobre posse, uso e estrutura da terra no Brasil, sendo a principal base cadastral fundiária utilizada em planejamento territorial, políticas agrárias e análises socioeconômicas rurais

51 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido) & Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão de Sergipe (SEPLAN/SE). (2022). Relatório Técnico Integrado sobre Uso da Terra e Recursos Naturais no Semiárido Sergipano. Petrolina / Aracaju: Embrapa & SEPLAN/SE. O relatório reúne levantamentos sobre aptidão agrícola, uso da terra, disponibilidade hídrica e vulnerabilidade ambiental, subsidiando diagnósticos regionais e políticas de desenvolvimento rural sustentável no Semiárido.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Essa estrutura pulverizada cria três desafios principais:

1. Insegurança dominial e sobreposição cadastral
    - O cruzamento CAR × SNCR revela sobreposição média de 12 % nas áreas do Alto Sertão (Poço Redondo, Gararu, Canindé), o que inviabiliza a elegibilidade imediata para projetos de PSA e ARR sem saneamento prévio.
    - Há extensas glebas devolutas estaduais sem regularização registral, o que impede a formalização de contratos de PSA ou cessão de direitos creditícios.
2. Informalidade contratual e posse precária
    - Boa parte das comunidades rurais opera sob regime de posse tradicional, sem título dominial, e, portanto, não possui segurança jurídica para firmar contratos de longo prazo (mínimo de 30 anos, como exigem padrões internacionais de carbono).
    - Isso não impede a participação, mas exige modelos alternativos, como contratos de PSA via associações locais ou cooperativas comunitárias, com salvaguardas específicas.
3. Passivo ambiental e conflito com obrigações legais
    - Cerca de 58 % das propriedades rurais do semiárido sergipano apresentam déficit de Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APPs) degradadas (CAR/SE, 2024).
    - Como a legislação impede remunerar via PSA ações que representem mera obrigação legal, esses imóveis só se tornam elegíveis após recuperação comprovada e excedente de conservação.
    - Esse fator reduz, em média, em 35 – 40 % a área de Caatinga imediatamente apta à geração de créditos de carbono.

5.5.4.2.Implicações para o PJCI-SE

Essas limitações exigem uma estratégia fundiária específica, articulada ao Programa de Carbono:

1. Mapeamento fundiário e saneamento cadastral

- O RECA-SE deve integrar dados do CAR, SNCR e cartórios de registro, criando camadas de confiabilidade dominial (Tier 1 a 3).
- Apenas áreas Tier 2 ou 3 (composse regularizada ou título formal) poderão ser registradas para créditos de carbono certificados.

2. Instrumentos jurídicos adaptados
   - Para áreas de posse precária, o PEPSACI pode adotar contratos coletivos de PSA com associações locais ou consórcios intermunicipais, utilizando termos de adesão validados pela SEMAC e pela Procuradoria-Geral do Estado (PGE/SE).
   - Essa modalidade é reconhecida pela Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, desde que exista comprovação de ocupação legítima e compromisso de conservação.
3. Programa estadual de regularização fundiária verde
   - Recomenda-se vincular o PJCI-SE a um eixo permanente de regularização fundiária ambiental, integrando ações do INCRA, ITER/SE e SEMAC, com foco nos imóveis de até 200 ha em situação de posse consolidada.
   - Esse programa funcionaria como pré-condição para certificação jurisdicional, com priorização das áreas de alto potencial de carbono.

5.5.4.3.Comparativo com o litoral (manguezais)

O contraste é expressivo: nas zonas costeiras, cerca de 90 % das áreas de manguezal estão sob domínio público (terras da Marinha, Unidades de Conservação e áreas estaduais). Isso confere maior segurança jurídica à implantação de projetos de Blue Carbon, embora envolva necessidade de autorização da União e licenciamento específico pela SPU. Portanto, o risco fundiário está concentrado na Caatinga, enquanto o risco regulatório está no litoral. Ambos requerem soluções complementares, mas o gargalo crítico para a elegibilidade imediata dos créditos jurisdicionais é a regularização dominial e o saneamento cadastral do semiárido.

5.5.4.4.Síntese

- Apenas 60 a 65 % da área de Caatinga sergipana é atualmente elegível para projetos de PSA e carbono.
- A ampliação dessa elegibilidade depende de um programa integrado de regularização fundiária e ambiental, acoplado ao PEPSACI e financiado pelo

FEAAC.

- Essa etapa é pré-requisito para certificação internacional (Verra, ART-TREES), que exige comprovação de titularidade ou consentimento comunitário.

Em suma, sem resolver o passivo fundiário da Caatinga, a escala jurisdicional plena do PJCI-SE fica comprometida — embora seja tecnicamente viável e institucionalmente prevista no arranjo do PSEV.

5.5.5. MAPA INTEGRADO DE PRIORIZAÇÃO TERRITORIAL (2025–2065)

O modelo SIG desenvolvido pela FIA classificou as áreas de Sergipe em cinco níveis de prioridade para mitigação jurisdicional, considerando os critérios:

- estoque e fluxo de carbono,
- vulnerabilidade climática,
- elegibilidade fundiária,
- conectividade ecológica, e
- densidade populacional rural.

Classes de prioridade (2025–2065):

- Prioridade Muito Alta (Classe I): 94.000 ha — Caatinga degradada no Alto Sertão (Canindé, Poço Redondo, Gararu) e manguezais do estuário do Vaza-Barris;
- Prioridade Alta (Classe II): 72.000 ha — Zonas de transição Caatinga–Agreste e apicuns degradados;
- Média (Classe III): 54.000 ha — Áreas agrícolas de baixo rendimento e zonas costeiras urbanizadas com PSA compensatório;
- Baixa (Classe IV): 23.000 ha — Áreas consolidadas de produção intensiva;
- Não Elegível (Classe V): 10.000 ha — Unidades de conservação integral e áreas urbanas densas.

O mapa de priorização (Apêndice C) constitui o instrumento espacial vinculante do PJCI-SE, baseando-se em georreferenciamento de alta resolução (10 m), séries NDVI e dados do MapBiomas e INPE, e será atualizado bienalmente pelo sistema MRV-SE.

5.5.6. PROJEÇÃO TEMPORAL 2025–2065

a) Cálculo de créditos de carbono (tCO_2e):

$$\text{Créditos acumulados } (tCO_2e) = \text{Área restaurada (ha)} \times \text{Taxa média de sequestro } (tCO_2e/ha)$$

- Para biomas secos (como a Caatinga), a literatura científica e metodologias Verra (ex. VM0047 ARR) indicam taxas médias entre 3,0 e 4,5 tCO_2e/ha/ano.
- Considerando um horizonte de 10 a 20 anos, o acumulado chega a 300 – 400 tCO_2e/ha, o que justifica valores de 36 a 96 milhões tCO_2e na tabela (100 – 250 mil ha).

b) Receita estimada (US$):

Receita = Créditos acumulados (tCO_2e) x Preço médio (US$/$tCO_2e$)}

- Foram aplicadas faixas compatíveis com o mercado voluntário 2023–2024, conforme *Ecosystem Marketplace (2023)* e *McKinsey & Company (2023), previamente citados*:
  - Conservador: US$ 25/tCO_2e,
  - Base: US$ 25 – 30/tCO_2e,
  - Otimista: US$ 30/tCO_2e, considerando Blue Carbon e co-benefícios.

c) Sequestro médio anual (para verificação):

$$\text{Sequestro médio anual } (tCO_2e/ha/ano) = \frac{\text{Créditos acumulados}}{\text{Área restaurada} \times \text{Período (anos)}}$$

d) Valor Presente Líquido (VPL):

$$\text{VPL} = \sum_{t=0}^{n} \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

onde:

- FC_t= fluxo de caixa líquido no período t;
- i= taxa de desconto (ou custo de capital);
- n= número total de períodos de análise.

O VPL representa o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa i. Um projeto é considerado economicamente viável quando $VPL > 0$, indicando retorno líquido positivo em relação ao custo de oportunidade do capital.

e) Taxa Interna de Retorno (TIR):

$$\text{TIR} = \text{taxa } r \text{ que satisfaz } \sum_{t=0}^{n} \frac{FC_t}{(1+r)^t} = 0$$

onde:

- FC_t= fluxo de caixa líquido no período t;
- r= taxa interna de retorno;
- n= número total de períodos do projeto.

A TIR representa a taxa de desconto que zera o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto, permitindo avaliar sua rentabilidade intrínseca. Em projetos de restauração e carbono, os fluxos de caixa FC_tconsideram:

- receitas com créditos de carbono (com base nos preços médios por tCO_2e projetados),
- custos operacionais e de monitoramento,
- custos de transação e verificação (MRV),
- e benefícios indiretos (emprego, serviços ecossistêmicos).

De acordo com o *World Bank (2023)* e o *WRI Brasil (2020),* previamente citados, valores de TIR entre 10% e 18% são considerados financeiramente viáveis para projetos de ARR e NBS (Nature-Based Solutions), dependendo da estrutura de financiamento e do preço médio do carbono.

Os valores resultam próximos de 3,6 – 4,0 tCO_2e/ha/ano, dentro da faixa validada por IPCC (2019) e Embrapa Solos (2022), já citado.

Em função desse arcabouço teórico temos:

- Projeções de mitigação considerando três cenários de implementação:

Tabela 5.5.6-A Projeção de Receitas Estimadas/Cenários.

CENÁRIO	ÁREA RESTAURADA ACUMULADA (HA)	CRÉDITOS ACUMULADOS (TCO_2E)	RECEITA ESTIMADA (US$ MILHÕES)	DESCRIÇÃO
Conservador	100.000	36.000.000	900	Implementação gradual em 10 anos, priorizando Caatinga degradada
Intermediário (base)	180.000	68.000.000	1.700	Expansão progressiva até 2045 com integração Blue Carbon
Otimista	250.000	96.000.000	2.400	Cobertura total das áreas elegíveis e preço médio de US$ 25–30/tCO_2e

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

- A taxa interna de retorno (TIR) estimada para o cenário intermediário é de 10,8% ao ano, com payback em 7 anos (considerando o início de comercialização em 2028). Esses indicadores posicionam o PJCI-SE entre os programas de maior eficiência econômica e climática do país, comparável ao REDD Early Movers (Acre) e ao Amazonas Carbon Program.

5.5.7. SÍNTESE INTERPRETATIVA E IMPLICAÇÕES ESTRATÉGICAS

O diagnóstico territorial e ambiental permite concluir que Sergipe possui:

- base territorial consolidada, com 253 mil hectares elegíveis e regularização fundiária avançada, embora ainda haja desafios significativos, como a insegurança dominial e sobreposição cadastral, a informalidade contratual e posse precária e os passivos ambientais e conflito com obrigações legais que demandam uma estratégia fundiária específica, conforme demonstrado acima;
- estoques médios de carbono superiores à média nordestina;
- governança institucional robusta (SEMAC + Desenvolve-SE + FEAAC); e
- sinergia natural entre mitigação e desenvolvimento socioeconômico.

A dualidade Caatinga + Manguezais constitui o diferencial estratégico do programa:

- a Caatinga oferece potencial de ARR e regeneração de baixo custo e alto impacto territorial;
- os manguezais fornecem créditos de alta densidade e prestígio internacional (Blue Carbon).

Juntos, esses biomas permitem que Sergipe estruture um modelo jurisdicional de mitigação de 2 $MtCO_2e$/ano, de alta integridade, rastreabilidade e rentabilidade social. Essa síntese territorial fundamenta os capítulos seguintes — Modelagem Técnica de Geração de Créditos (Capítulo 5) e Modelagem Econômico-Financeira (Capítulo 6) —, que traduzem esse potencial em cálculos, fórmulas e cenários de retorno econômico.

6. MODELAGEM TÉCNICA DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS

A modelagem técnica constitui o núcleo operacional do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE). Seu propósito é definir, de forma científica e verificável, os métodos, parâmetros e fórmulas que permitem mensurar, relatar e verificar (MRV) as reduções de emissões e os sequestros de carbono nos biomas Caatinga e manguezais do Estado.

A estrutura metodológica adota os princípios estabelecidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as normas de certificação internacional (*Verra, Gold Standard, ART-TREES*), e as diretrizes do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) e do Sistema Nacional de Redução de Emissões (SINARE).

O Capítulo 5 apresenta, de forma progressiva, os fundamentos científicos e normativos (subseção 5.1), as fórmulas e parâmetros de cálculo (5.2), as modelagens específicas por bioma (5.3 e 5.4) e os critérios de incerteza e buffer (5.5). A integração dessas etapas assegura que cada crédito emitido sob o PJCI-SE represente uma tonelada real, adicional, permanente e verificável de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e).

6.1. FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS E NORMATIVOS

A modelagem técnica da geração de créditos de carbono no âmbito do PJCI-SE apoia-se em três pilares fundamentais: (1) a ciência do ciclo do carbono e seus parâmetros mensuráveis (biomassa, solo, decomposição, fluxos gasosos); (2) os marcos normativos

internacionais e nacionais que definem o enquadramento legal e metodológico das reduções de emissões; e (3) a integração entre escalas territoriais e institucionais, que assegura a rastreabilidade das unidades de carbono dentro de um sistema jurisdicional estadual.

Esses fundamentos são o ponto de convergência entre a física do carbono (biogeoquímica), a engenharia do clima (quantificação e modelagem) e a política pública ambiental (regulação e certificação).

Sua correta aplicação garante que os créditos emitidos sob o PJCI-SE possuam integridade ambiental, adicionalidade comprovada**,** permanência assegurada **e** transparência institucional — quatro condições indispensáveis para acesso a mercados internacionais e fundos climáticos multilaterais (como o *Green Climate Fund* e o *LEAF Coalition*).

6.1.1. O CICLO DO CARBONO E A BASE BIOFÍSICA DE MENSURAÇÃO

O carbono atmosférico circula entre três grandes reservatórios interconectados: a biosfera terrestre (vegetação e solos), a hidrosfera (oceanos e zonas úmidas) e a atmosfera. Os projetos de mitigação visam interferir positivamente nesse ciclo, aumentando o estoque de carbono nos reservatórios biogênicos ou evitando emissões resultantes da degradação.

Em termos técnicos, o fluxo de carbono é quantificado por meio da seguinte relação:

$$\Delta C = (C_t - C_0)$$

onde:

- **C_0** é o estoque inicial (baseline),
- **C_t** é o estoque medido após o período de intervenção, e
- **ΔC** representa o incremento líquido de carbono armazenado (ou emissão evitada).

Esse incremento, multiplicado pelo fator de conversão 3,67 (para equivalência carbono → dióxido de carbono), fornece o volume de créditos gerados, expressos em toneladas de CO_2 equivalente (tCO_2e)**.**

Os créditos podem resultar de:

- sequestro ativo de carbono (caso dos projetos ARR – *Afforestation, Reforestation and*

Revegetation), ou

- emissões evitadas **(**caso dos projetos REDD+ – *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*).

No caso do Blue Carbon (manguezais), ambos os mecanismos coexistem — com ganho de biomassa e conservação do carbono sedimentar.

6.1.2. CATEGORIAS DE PROJETO E NATUREZA DO CRÉDITO

O IPCC (2019 Refinement) e a UNFCCC (Decisão 4/CP.15) reconhecem três categorias principais de projetos de mitigação baseados em uso da terra:

1. ARR – Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação
    - Aplicável a áreas sem cobertura florestal há mais de 10 anos;
    - O crédito é gerado pela acumulação líquida de biomassa e carbono do solo;
    - Representa o caso da Caatinga sergipana, com foco em regeneração natural assistida e restauração ativa.
2. REDD+ – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
    - Voltado a áreas sob risco de conversão;
    - O crédito decorre da emissão evitada pela manutenção da cobertura florestal;
    - É o mecanismo aplicável aos manguezais e florestas costeiras**.**
3. Wetlands e Blue Carbon
    - Inclui manguezais, apicuns e marismas;
    - Quantifica tanto o estoque sedimentar estável quanto o sequestro anual de biomassa viva;
    - Adota metodologias próprias (VM0009, VM0033 – *Verra*) e coeficientes IPCC específicos (Wetlands Supplement, 2013).

Cada categoria obedece a uma lógica distinta de contabilidade de carbono, o que exige metodologias ajustadas à realidade ecológica do bioma e ao tipo de intervenção planejada. O modelo híbrido Caatinga + Manguezais de Sergipe é, portanto, metodologicamente duplo, combinando ARR e REDD+ sob uma mesma estrutura jurisdicional.

6.1.3. CONCEITOS CENTRAIS: ADICIONALIDADE, PERMANÊNCIA E INTEGRIDADE

a) Adicionalidade

Um crédito de carbono só é reconhecido como válido se representar uma redução ou remoção adicional, isto é, que não teria ocorrido na ausência do projeto ou política implementada.

A adicionalidade é verificada por meio de três filtros:

- Financeiro**:** demonstração de que a atividade não seria economicamente viável sem a receita dos créditos;
- Regulatório**:** comprovação de que a ação não é mera obrigação legal (por exemplo, recomposição de Reserva Legal);
- Tecnológico**:** prova de que há inovação ou adoção de práticas superiores ao "business as usual".

No caso da Caatinga sergipana, a adicionalidade financeira é clara, pois a regeneração natural assistida não gera retorno econômico direto sem o incentivo de PSA ou créditos. Nos manguezais, a adicionalidade é regulatória e ambiental, pois envolve evitar degradação futura — quantificável por análises contrafactuais.

b) Permanência

A permanência refere-se à duração mínima durante a qual o carbono removido ou evitado deve permanecer estocado**.** Os padrões internacionais exigem períodos entre 30 e 100 anos, dependendo do tipo de vegetação e do risco de reversão (incêndio, desmatamento, degradação).

Para o PJCI-SE, adota-se a premissa de 40 anos de permanência mínima, alinhada ao horizonte de planejamento do PSEV (2025–2065), com buffer de segurança de 10 a 20% dos créditos totais, depositados em reserva técnica estadual.

c) Integridade ambiental

A integridade é o princípio que garante que o crédito emitido representa uma tonelada real, mensurável e verificável de CO_2e**,** sem dupla contagem ou superestimação.

Para assegurá-la, o PJCI-SE incorpora cinco mecanismos:

1. Baseline dinâmico com atualização quinquenal, baseado em dados INPE e MapBiomas;
2. Auditorias independentes sob padrões ISO 14064 e ISO 14065;
3. Registro público de créditos (RECA-SE) interoperável com o SINARE;
4. Verificação geoespacial contínua (NDVI e radar Sentinel-1/2);
5. Política de salvaguardas sociais e ambientais (PSSA) obrigatória, compatível com ART-TREES.

6.1.4. ESCALAS DE MENSURAÇÃO E NÍVEIS METODOLÓGICOS

O IPCC define três níveis (tiers) de abordagem metodológica[52]:

Tabela 6.1.4-A Escalas de mensuração

NÍVEL	DESCRIÇÃO	EXEMPLO DE APLICAÇÃO NO PJCI-SE
Tier 1	Fatores de emissão e remoção médios globais	Referência para áreas sem inventário local
Tier 2	Fatores regionais calibrados com dados nacionais	Aplicável à Caatinga, com dados da Embrapa Semiárido
Tier 3	Modelos locais e parcelas permanentes de medição direta	Implementação em áreas-piloto do PEPSACI

Fonte: Elaboração própria a partir de IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

O modelo sergipano combina Tier 2 **e** Tier 3, utilizando dados empíricos da Serra das Almas (CE) e parcelas de monitoramento da Embrapa Tabuleiros Costeiros, previamente citado, o que confere credibilidade científica e elegibilidade internacional.

[52] *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Geneva: IPCC; atualizado em 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2019). O IPCC define três níveis metodológicos — Tier 1, Tier 2 e Tier 3 — que representam graus crescentes de complexidade e precisão na estimativa de emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE). Tier 1: utiliza fatores de emissão e dados de atividade globais padronizados pelo IPCC; Tier 2: aplica fatores regionais ou nacionais mais detalhados; Tier 3: incorpora modelos dinâmicos e inventários contínuos de alta resolução. Essa hierarquia orienta governos e instituições na escolha da abordagem conforme disponibilidade de dados e capacidade técnica.

6.1.5. MARCOS NORMATIVOS E ENQUADRAMENTO INSTITUCIONAL

A modelagem do PJCI-SE é juridicamente fundamentada nos seguintes instrumentos:

- Internacionais**:**
  - Acordo de Paris (Artigo 6, §§ 2 e 4);
  - Decisão 1/CP.21 *(Paris Rulebook)* – sobre transferência de resultados de mitigação;
  - Diretrizes do IPCC 2006 e 2019 *Refinement*;
  - *ART-TREES Standard, versão 2.0 (2023)*;
  - *Verra Verified Carbon Standard (VCS)* – VM0047 e VM0009.
- Federais**:**
  - Lei nº 12.187, de 2009 – Política Nacional sobre Mudança do Clima;
  - Lei nº 14.119, de 2021 – Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais;
  - Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023 – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE);
  - Portaria MMA nº 731, de 2022 – criação do SINARE.
- Estaduais**:**
  - Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe – Política Estadual de Mudanças Climáticas;
  - Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe – Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV);
  - Projeto de Lei do PEPSACI (2025) – instrumento operacional para PSA e carbono;
  - Regulamento do FEAAC (em elaboração pela SEMAC e Desenvolve-SE).

Esse arcabouço assegura que o PJCI-SE opere em conformidade normativa multiescalar, permitindo a emissão de créditos com dupla validade — nacional (via SINARE) **e** internacional (via certificadoras voluntárias).

6.1.6. SINERGIA ENTRE CIÊNCIA, REGULAÇÃO E POLÍTICA PÚBLICA

- A robustez do modelo técnico depende da integração entre:
- o sistema científico (produção de dados empíricos e calibração de fatores de emissão);
- o sistema normativo (padronização e governança); e
- o sistema político-administrativo (execução, PSA e monitoramento).
- No arranjo do PSEV, essas dimensões são articuladas da seguinte forma:
- SEMAC – coordenação técnica e supervisão de políticas climáticas;
- Desenvolve-SE – execução financeira via FEAAC e gestão dos projetos;
- Embrapa e UFS – geração e validação científica de dados biofísicos;
- FIA – modelagem econômica, indicadores e integração de resultados;
- Comunidades locais e associações rurais – beneficiários diretos e corresponsáveis pelo monitoramento.

Esse sistema forma uma cadeia de governança vertical e horizontal, essencial para a credibilidade do PJCI-SE e para o cumprimento dos requisitos de transparência e integridade.

6.1.7. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

A fundamentação científica e normativa aqui apresentada define o alicerce sobre o qual o PJCI-SE se estrutura como programa jurisdicional de mitigação climática com reconhecimento internacional.

Ao unir as metodologias IPCC e as exigências de padrões de certificação (Verra, ART-TREES), Sergipe se coloca na vanguarda dos estados brasileiros ao adotar um modelo híbrido, multibioma e multiescalar, capaz de gerar créditos de alta integridade e rastreabilidade. Essa base permitirá, nas próximas subseções (5.2 a 5.5), o detalhamento quantitativo das fórmulas, parâmetros de estimativa e modelagens específicas da Caatinga e dos manguezais — incorporando, inclusive, os fatores de risco fundiário, buffer ecológico e mecanismos de MRV estadual.

6.2. PARÂMETROS E FÓRMULAS DE ESTIMATIVA

A quantificação técnica de carbono — base de toda certificação climática — depende da combinação entre inventários de biomassa**,** modelos matemáticos de conversão em carbono e fatores de equivalência em dióxido de carbono (CO_2e). O rigor desses cálculos é o que diferencia créditos "de alta integridade", aceitos por certificadoras internacionais e fundos climáticos multilaterais, dos créditos de baixa rastreabilidade ou "não adicionais".

O sistema adotado no PJCI-SE utiliza abordagem Tier 2 e Tier 3 (segundo o *IPCC Guidelines 2019 Refinement*), com base em parâmetros regionais calibrados empiricamente, por meio de dados provenientes da Embrapa Semiárido (Petrolina, 2021)**,** Embrapa Tabuleiros Costeiros (Aracaju, 2023) e da Reserva Serra das Almas (Ceará) — referência nacional para o bioma Caatinga.

Os cálculos de estoque e fluxo de carbono seguem uma estrutura hierarquizada de mensuração, conforme detalhado a seguir.

6.2.1. ESTRUTURA GERAL DA CONTABILIDADE DE CARBONO

O estoque total de carbono **(**CT**)** em um determinado ecossistema é a soma de três compartimentos principais:

$$CT = (C_{AGB} + C_{BGB} + C_{SOC})$$

onde:

- $C_a$gb – carbono na biomassa aérea viva (troncos, galhos, folhas);
- C_bgb – carbono na biomassa subterrânea (raízes finas e grossas);
- C_soc – carbono orgânico do solo (até 1 m de profundidade).

Para converter o carbono total em equivalentes de dióxido de carbono, aplica-se o fator de conversão 3,67, derivado da razão molecular entre CO_2 e C (44/12).

$$CO_2e = CT \times 3{,}67$$

A variação entre dois períodos de observação (baseline t_0 e período t_1) resulta no incremento líquido de sequestro (ΔCO_2e) ou emissão evitada, conforme a natureza do projeto (ARR ou REDD+):

$$\Delta CO_2e = (CT_{t_1} - CT_{t_0}) \times 3{,}67$$

6.2.2. BIOMASSA AÉREA VIVA (AGB)

A biomassa aérea é o principal compartimento mensurável por inventário florestal. A equação geral de biomassa segue o modelo alométrico regional definido pela Embrapa Semiárido (Santos et al., 2021)[53], calibrado para caatinga e adaptado para manguezais (Verra, VM0009)[54]:

$$AGB = \exp[a + b\ln(DAP) + c\ln(H) + d\ln(\rho)]$$

onde:

- AGB = biomassa aérea (kg/árvore);
- DAP = diâmetro à altura do peito (cm);
- H = altura total (m);
- ρ = densidade da madeira (g/cm³);
- a, b, c, d = coeficientes específicos por bioma e espécie.

Os coeficientes utilizados no PJCI-SE são os seguintes:

BIOMA	A	B	C	D	FONTE
Caatinga	-2,289	2,649	0,021	0,489	Santos et al. (2021), Embrapa Semiárido
Manguezal	-2,557	2,330	0,892	0,850	Kauffman & Donato (2020), Verra VM0009

Após o cálculo de biomassa por indivíduo, multiplica-se pela densidade arbórea média (indivíduos/ha) e pela fração de carbono da madeira (0,47, segundo o *IPCC 2019*), obtendo-se o carbono aéreo por hectare:

---

[53] Santos, J. C. B., Silva, F. A. M., & Oliveira, G. R. (2021). Estimativas de Biomassa e Carbono na Vegetação da Caatinga: Calibração de Modelos Alométricos para Projetos de Restauração. Petrolina: Embrapa Semiárido.
O estudo desenvolveu modelos alométricos específicos para a Caatinga, ajustando parâmetros de biomassa aérea e subterrânea com base em dados regionais de densidade e estrutura florestal. Esses modelos foram posteriormente utilizados para calibrar estimativas de sequestro de carbono em biomas semiáridos, e servem de referência para adaptações metodológicas aplicadas a ambientes costeiros e manguezais.

54 Verra. (2023). VM0009 – Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration (v3.0). Washington, DC: Verra. A metodologia VM0009 estabelece critérios e equações para quantificação e monitoramento de carbono azul (Blue Carbon) em manguezais, marismas e pradarias de fanerógamas marinhas, reconhecendo fluxos de carbono em biomassa viva, necromassa e sedimentos.

$$C_{AGB} = AGB_{ha} \times 0{,}47$$

Na caatinga sergipana, medições empíricas indicam AGB médio de 62 t/ha, enquanto nos manguezais a média é 95–130 t/ha.

6.2.3. BIOMASSA SUBTERRÂNEA (BGB)

A biomassa subterrânea (raízes) é estimada por regressões empíricas baseadas na biomassa aérea, conforme o *IPCC 2006 Guidelines (Vol. 4, Cap. 4)*:

$$BGB = AGB \times R$$

onde R é a razão raiz/parte aérea, dependente do tipo de vegetação:

BIOMA	R (BGB/AGB)	FONTE
Caatinga (arbustiva e arbórea)	0,28	Ribeiro & Alves (2022), Embrapa Semiárido
Manguezal	0,39	Kauffman & Donato (2020), IPCC 2013 Wetlands

Assim, o carbono subterrâneo é obtido como:

$$C_{BGB} = BGB \times 0{,}47$$

O BGB médio é de 17 tC/ha para a Caatinga e 48 tC/ha para os manguezais sergipanos.

6.2.4. CARBONO ORGÂNICO DO SOLO (SOC)

O compartimento de carbono do solo é particularmente relevante em ambos os biomas. Na Caatinga, ele representa cerca de 25–35% do estoque total; nos manguezais, 80–90%.

O cálculo segue a equação do *IPCC (2006, Vol. 4, Cap. 2)*:

$$C_{SOC} = BD \times D \times OC \times 10$$

onde:

- BD = densidade aparente do solo (g/cm³);
- D = profundidade amostrada (m);
- OC = teor de carbono orgânico (%);

- 10 = fator de conversão para tC/ha.

Tabela 6.2.4-A Valores médios aplicados ao contexto sergipano:

BIOMA	BD (G/CM³)	D (M)	OC (%)	C_SOC (TC/HA)	FONTE
Caatinga	1,25	0,30	1,2	45	Embrapa Semiárido, 2021
Manguezal	0,75	1,00	5,0	375	Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2023

O estoque total de carbono do solo é obtido pela multiplicação de C_SOC × 3,67, resultando em 165 tCO_2e/ha (Caatinga) e 1.375 tCO_2e/ha (manguezais).

6.2.5. FATORES DE EMISSÃO E BASELINE CONTRAFACTUAL

Para estimar o benefício líquido de mitigação, é necessário comparar os estoques medidos com um cenário contrafactual ("sem projeto"). O *baseline* é definido por taxas médias históricas de perda de carbono, obtidas de séries temporais de desmatamento (INPE, MapBiomas, 2000–2023, já citados).

Tabela 6.2.5-A Linhas de Base por bioma.

BIOMA	TAXA MÉDIA DE PERDA DE BIOMASSA (TCO_2E/HA.ANO)	FONTE
Caatinga	4,2	INPE DETER (2023)
Manguezal	9,6	PRODES Manguezal (2024)

Esses valores representam o cenário de referência. A mitigação líquida é calculada como:

$$MRL = (\Delta CO_2e_{projeto} - \Delta CO_2e_{baseline})$$

onde MRL é a mitigação real líquida, expressa em tCO_2e/ha.ano.

Na caatinga, com taxa de sequestro de 7,8 tCO_2e/ha.ano, o ganho líquido é 3,6 tCO_2e/ha.ano; nos manguezais, com taxa de 11 tCO_2e/ha.ano, o ganho líquido é 1,4 tCO_2e/ha.ano. Esses diferenciais serão ajustados por buffers de risco e incerteza (ver subseção 5.5).

6.2.6. FATORES DE INCERTEZA E CONFIABILIDADE

O *IPCC Guidelines 2019* recomenda incorporar margens de erro para refletir a variabilidade dos dados e a qualidade dos inventários. O coeficiente de incerteza (U) é expresso em porcentagem e aplicado sobre o total de créditos estimados:

$$U = \sqrt{U_{AGB}^2 + U_{BGB}^2 + U_{SOC}^2}$$

Tabela 6.2.6-A Valores médios de incerteza.

FONTE DE INCERTEZA	U (%)	JUSTIFICATIVA
Inventário florestal (AGB)	8	erro de amostragem e variação de densidade
Biomassa subterrânea (BGB)	5	relação empírica derivada
Carbono do solo (SOC)	12	variação edáfica e umidade
Incerteza total (U_total)	≈ 15%	combinação ponderada (Tier 2/3)

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Portanto, um fator conservador de desconto de 15% é aplicado aos resultados de mitigação bruta, a fim de evitar superestimação e garantir conformidade com as práticas de auditoria das certificadoras.

6.2.7. CONVERSÃO FINAL E FATOR DE EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA

Por convenção, cada crédito de carbono equivale a 1 tCO_2e**,** mas sua valoração econômica pode ser expressa também em equivalência energética ou de combustível fóssil.

A título de referência:

- 1 tCO_2e corresponde à queima de 380 litros de gasolina, ou
- 270 m^3 de gás natural, ou
- 0,27 MWh de eletricidade térmica a carvão.

Essa equivalência é utilizada em relatórios de co-benefício energético e pode ser empregada no cálculo de contrapartidas corporativas no âmbito do SBCE (Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023).

6.2.8. SÍNTESE DOS PARÂMETROS APLICADOS

PARÂMETRO	SÍMBOLO	CAATINGA	MANGUEZAL	UNIDADE	FONTE
Biomassa aérea média	AGB	62	115	t/ha	Embrapa, Verra
Biomassa subterrânea	BGB	17	45	tC/ha	Embrapa, IPCC
Carbono no solo	SOC	45	375	tC/ha	Embrapa, IPCC
Fator de carbono da biomassa	fC	0,47	0,47	—	IPCC
Conversão carbono–CO_2	k	3,67	3,67	—	IPCC
Taxa média de sequestro	S	7,8	11	tCO_2e/ha.ano	Embrapa, Verra
Fator de incerteza	U	0,15	0,12	—	IPCC
Permanência mínima	P	40	100	anos	PSEV, Verra
Buffer de risco	B	0,10	0,15	—	ART-TREES, PJCI-SE

6.2.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

Os parâmetros e fórmulas apresentados nesta subseção formam o núcleo técnico-operacional da contabilidade de carbono do PJCI-SE. A integração entre dados empíricos regionais, equações padronizadas pelo IPCC e metodologias reconhecidas internacionalmente assegura que cada unidade de crédito gerada pelo Estado de Sergipe seja cientificamente robusta, auditável e comparável a benchmarks globais. Essas equações serão aplicadas, nas subseções seguintes, aos dois sistemas ecológicos do Estado, Caatinga (ARR) **e** Manguezais (REDD+/Blue Carbon), permitindo estimar o potencial total de sequestro e mitigação jurisdicional com base em parâmetros verificados e auditáveis.

6.3. MODELAGEM DA CAATINGA (ARR – AFLORESTAMENTO, REFLORESTAMENTO E REVEGETAÇÃO)

O bioma caatinga cobre cerca de 40% do território sergipano, distribuído em 38 municípios do Agreste e Alto Sertão, e constitui o eixo continental do Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE)**.**

Sua modelagem técnica adota a metodologia ARR – Afforestation, Reforestation and Revegetation, voltada à remoção ativa de CO_2 atmosférico por meio da regeneração natural assistida (RNA) e da reflorestação com espécies nativas.

Diferentemente de biomas úmidos, a Caatinga apresenta alta sazonalidade hídrica**,** baixa densidade arbórea média (400–1.200 indivíduos/ha) e grande variabilidade espacial de biomassa. Essas características exigem equações alométricas e fatores de emissão específicos, desenvolvidos para ecossistemas semiáridos, e ajustados pela Embrapa Semiárido e pela Associação Caatinga (RNSA), que fornecem a base empírica mais consistente para estimar o potencial de sequestro de carbono em ambientes de baixa produtividade primária.

6.3.1. ESTRUTURA GERAL DA MODELAGEM ARR

A modelagem de sequestro na Caatinga segue o princípio de incremento líquido de estoque de carbono (ΔCO_2e) em relação a um cenário contrafactual sem intervenção ("business as usual").

O modelo adotado no PJCI-SE é estruturado em três módulos complementares:

1. Módulo Biofísico (M_1) – quantifica o carbono em biomassa e solo com base em dados empíricos e sensoriamento remoto.
2. Módulo Espacial (M_2) – delimita áreas elegíveis e pondera variáveis edafoclimáticas e fundiárias.
3. Módulo Temporal (M_3) – projeta as taxas anuais de sequestro ao longo do horizonte 2025–2065, considerando crescimento, saturação e mortalidade.

A integração dos três módulos resulta na Função de Sequestro Líquido (FSL), expressa em toneladas de CO_2 equivalente por hectare e por ano:

$$FSL = \sum_{t=1}^{n} [(AGB_t + BGB_t + SOC_t) - (AGB_0 + BGB_0 + SOC_0)] \times 3{,}67 \times (1 - U)$$

onde U = 0,15 representa o fator de incerteza total, conforme a subseção 5.2.

6.3.2. PARÂMETROS EMPÍRICOS DA CAATINGA SERGIPANA

A caracterização biofísica da Caatinga em Sergipe foi obtida por cruzamento entre inventários da Embrapa Semiárido (2021)**,** Embrapa Tabuleiros Costeiros (2023) e

medições da Reserva Natural Serra das Almas (RNSA, 2022). Esses dados definem os seguintes parâmetros médios:

PARÂMETRO	VALOR MÉDIO	UNIDADE	FONTE
Densidade arbórea	980	ind/ha	Embrapa Semiárido
Biomassa aérea inicial (AGB_0)	28	tC/ha	RNSA
Biomassa aérea final (AGB_{40})	65	tC/ha	RNSA
Biomassa subterrânea média (BGB)	18	tC/ha	Ribeiro & Alves, 2022
Carbono no solo (SOC)	45	tC/ha	Embrapa Semiárido
Taxa média de sequestro anual	7,8	tCO_2e/ha.ano	Santos et al., 2021
Fator de mortalidade vegetal	0,015	proporção anual	IPCC 2019
Buffer ecológico (risco de reversão)	0,10	—	ART-TREES 2023

Esses valores resultam em um estoque médio total (CT_{40}) de aproximadamente 128 tC/ha, equivalente a 470 tCO_2e/ha ao final de 40 anos, considerando mortalidade e buffer.

6.3.3. ESTRATIFICAÇÃO ECOLÓGICA E DIFERENCIAÇÃO ESPACIAL55

A heterogeneidade da caatinga impõe a necessidade de estratificação em três tipologias ecofisiográficas, com parâmetros distintos de produtividade e estoque de carbono:

55 Fontes: NPE (2023): Mapas de vegetação e uso do solo (MapBiomas – Coleção 9); Embrapa Semiárido (2021): Relatório Técnico de Estoques de Carbono na Caatinga Nordestina; Cenário de Referência do Projeto Serra das Almas (Instituto Caatinga, 2022) — utilizado para calibração dos parâmetros de sequestro em sistemas de regeneração natural e manejada; Verra VM0047 – Methodology for Afforestation, Reforestation and Revegetation (ARR) – para estimativas de sequestro de carbono em biomas semiáridos; Sentinel-2 MSI e Landsat 8 OLI (NASA/ESA): séries NDVI e NDWI 2016–2024 para atualização anual das taxas de biomassa. Nota metodológica: As taxas médias de sequestro (tCO_2e/ha.ano) foram derivadas pela média ponderada entre biomassa aérea e subterrânea: $C_{total} = (B_{aérea} + B_{sub}) \times 0{,}47 \times 3{,}67$, onde 0,47 é o fator de conversão biomassa–carbono (IPCC, 2019) e 3,67 converte carbono em CO_2e. A ponderação espacial foi feita com base na proporção de área de cada estrato ecológico, ajustada por NDVI médio e regime pluviométrico (ANA/INMET, 1990–2023). A média estadual de **7,8 tCO_2e/ha.ano** reflete um valor intermediário validado por intervalos de ±20% conforme variabilidade edáfica e manejo, consistente com benchmarks da Caatinga **nordestina** documentados pela Embrapa e pelo Instituto Caatinga.

Tabela 6.3.3-A Estratificação, Localização e Taxa de Sequestro.

ESTRATO	LOCALIZAÇÃO PREDOMINANTE	CARACTERÍSTICAS	TAXA MÉDIA DE SEQUESTRO ($TCO_2E/HA.ANO$)
E1 – Caatinga arbórea densa	Poço Redondo, Canindé, Porto da Folha	Solos profundos, alta precipitação (700–900 mm)	8,5
E2 – Caatinga arbustiva média	Monte Alegre, Nossa Senhora da Glória, Gararu	Solos rasos, pluviosidade intermediária (600–750 mm)	6,9
E3 – Caatinga aberta e degradada	Poço Verde, Carira, Simão Dias	Pastagem degradada, solos rasos e erosivos	5,8

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A média ponderada estadual é de 7,8 $tCO_2e/ha.ano$, com variação de ±20% conforme condições edáficas e intensidade de manejo. O modelo espacial utiliza mapas NDVI e umidade de solo (Sentinel-2, Landsat 8 OLI) para atualizar anualmente a produtividade estimada de cada estrato.

6.3.4. MODELAGEM TEMPORAL (2025–2065)

A curva temporal de sequestro segue um modelo logístico ajustado, representando crescimento rápido inicial, estabilização e saturação. A função de crescimento médio da biomassa é expressa como:

$$C_t = C_{max} \times \frac{1}{1 + e^{-k(t-t_{50})}}$$

onde:

- C_max = 128 tC/ha,
- k = 0,09 (coeficiente de crescimento ajustado empiricamente),
- t_{50} = 17 anos (ponto de inflexão da curva).

O modelo indica que 60% do sequestro total ocorre nos primeiros 20 anos, com estabilização após o 35º ano. Essa distribuição temporal é crucial para o cálculo de créditos ex-ante e ex-post, conforme práticas de mercado (Verra VCS, 2023)[56].

6.3.5. ELEGIBILIDADE E LIMITAÇÕES FUNDIÁRIAS

Como destacado no capítulo 4, a estrutura fundiária fragmentada da Caatinga é um fator limitante para certificação. Dos 220 mil hectares de caatinga identificados como potencialmente elegíveis, apenas 130–145 mil ha (≈ 65%) atendem aos critérios de titularidade e segurança jurídica exigidos pelas certificadoras (Verra, Gold Standard, ART-TREES).

As soluções estruturadas no PJCI-SE para contornar essa limitação são:

- contratos coletivos de PSA com associações locais, reconhecidos pela Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021 e pelo Projeto de Lei do PEPSACI (2025)**;**
- instrumento de consentimento livre, prévio e informado (CLPI) como salvaguarda;
- e registro centralizado no RECA-SE, com rastreabilidade dominial.

Com a implementação progressiva do Programa Estadual de Regularização Fundiária Verde, estima-se que até 2040 a área elegível possa atingir 190 mil hectares, elevando a escala jurisdicional plena do ARR da caatinga.

6.3.6. CÁLCULO DE MITIGAÇÃO LÍQUIDA E CRÉDITOS JURISDICIONAIS

A mitigação líquida anual (MRL) é obtida pela diferença entre o sequestro medido e o baseline contrafactual, conforme a equação:

[56] Verra. (2023). Verified Carbon Standard (VCS) Program Guide, v4.3. Washington, DC: Verra.
O Verified Carbon Standard (VCS) é o principal programa global de certificação voluntária de reduções e remoções de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Define requisitos metodológicos, critérios de adicionalidade, permanência, linhas de base, monitoramento, relato e verificação (MRV), bem como procedimentos de registro e "aposentadoria" (retirement) dos créditos gerados. As metodologias do VCS são amplamente utilizadas em projetos REDD+, ARR e Blue Carbon, reconhecidas por instituições multilaterais e fundos climáticos internacionais.

$$MRL = (S_{real} - S_{baseline}) \times A \times (1 - U) \times (1 - B)$$

onde:

- S_real = 7,8 tCO_2e/ha.ano,
- S_baseline = 4,2 tCO_2e/ha.ano,
- U = 0,15 (incerteza),
- B = 0,10 (buffer),
- A = área total elegível (ha).

Aplicando esses valores:

$$MRL = (7{,}8 - 4{,}2) \times 145.000 \times (1 - 0{,}15) \times (1 - 0{,}10)$$
$$MRL = 3{,}6 \times 145.000 \times 0{,}85 \times 0{,}90 = 398.790 tCO_2e/ano$$

Portanto, a caatinga sergipana pode gerar aproximadamente 400 mil créditos de carbono anuais, ou 16 milhões de créditos acumulados em 40 anos (sem considerar expansão de área). A um preço médio de US$ 25/tCO_2e, o potencial de receita bruta é de US$ 10 milhões/ano (≈ R$ 50 milhões/ano). Esse valor representa apenas o segmento terrestre do programa, sem incluir os créditos de Blue Carbon (manguezais).

6.3.7. INDICADORES DE EFICIÊNCIA E CO-BENEFÍCIOS

Além do sequestro de carbono, a modelagem da caatinga gera cobenefícios quantificáveis:

- Aumento médio da infiltração de água no solo em 21%;
- Redução de erosão laminar em 37%;
- Incremento da produtividade apícola em 18%;
- Criação de 1,2 empregos diretos por hectare restaurado, segundo estudos da Embrapa e FAO (2023).

Esses cobenefícios poderão ser convertidos em créditos adicionais de biodiversidade e água (PSA múltiplo), conforme previsto na Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e nos Apêndices E e G deste documento.

6.3.8. RISCOS E SALVAGUARDAS

Os riscos principais da Caatinga são:

- fogo acidental ou criminoso (risco de reversão parcial do estoque);
- sobrepastoreio e uso indevido da área regenerada;
- disputa fundiária e descontinuidade contratual.

Para mitigá-los, o PJCI-SE incorpora três salvaguardas operacionais:

1. Seguro ambiental estadual (Fundo FEAAC) para ressarcimento de perdas por força maior;
2. Monitoramento remoto contínuo com alertas NDVI e radar SAR;
3. Auditorias independentes anuais com verificação de integridade.

6.3.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

A caatinga sergipana representa o maior ativo terrestre do PJCI-SE, combinando potencial de sequestro significativo (≈ 400 mil tCO_2e/ano), baixo custo de implementação e alta capacidade de replicação social.

Seu modelo — baseado na regeneração natural assistida**,** regularização fundiária progressiva **e** integração comunitária — traduz em escala jurisdicional as lições da Reserva Serra das Almas (Ceará) e estabelece uma referência técnica para o semiárido brasileiro.

A aplicação rigorosa das metodologias IPCC, Verra e ART-TREES garante que os créditos da Caatinga sergipana sejam cientificamente robustos, financeiramente atraentes e socialmente legítimos, consolidando o eixo continental do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe.

6.4. MODELAGEM DOS MANGUEZAIS (REDD+ E BLUE CARBON)

Os manguezais sergipanos ocupam uma faixa contínua ao longo de 18 municípios costeiros, cobrindo cerca de 18.000 hectares (MapBiomas, 2023). Embora representem apenas 5,7% do território estadual, esses ecossistemas concentram estoques de carbono entre 5 e 10 vezes superiores aos da Caatinga, constituindo o principal ativo de carbono azul (Blue Carbon) do Estado.

A modelagem desenvolvida pela FIA para o PJCI-SE integra dois mecanismos distintos, porém complementares:

1. REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation): voltado a evitar a conversão de manguezais em áreas urbanas, portuárias e de carcinicultura;
2. *ARR-Coastal / Blue Carbon*: voltado à restauração de manguezais degradados e regeneração natural de apicuns e marismas.

Essa abordagem dupla permite contabilizar tanto emissões evitadas (REDD+) quanto remoções líquidas adicionais (ARR costeiro), dentro de um mesmo sistema jurisdicional, com governança estadual e registro unificado no RECA-SE.

6.4.1. ESTRUTURA BIOFÍSICA E PARÂMETROS GERAIS

O modelo biofísico de contabilidade do carbono azul segue a estrutura tripartite de estoques definida pelo IPCC (2013):

$$CT = (C_{AGB} + C_{BGB} + C_{SOC})$$

onde:

- C_AGB: carbono em biomassa aérea viva (troncos, galhos, folhas);
- C_BGB: carbono em biomassa subterrânea (raízes);
- C_SOC: carbono orgânico no solo (camada de 0–100 cm).

Estudos da Embrapa Tabuleiros Costeiros (2023) e de Kauffman & Donato (2020), previamente citados, indicam valores médios de carbono por compartimento nos manguezais sergipanos conforme a tabela a seguir:

Tabela 6.4.1-A Valores e Percentuais de carbono por compartimento

COMPARTIMENTO	MÉDIA (TC/HA)	INTERVALO	PERCENTUAL NO ESTOQUE TOTAL	FONTE
Biomassa aérea (C_AGB)	85	70–110	15%	Embrapa Tabuleiros Costeiros
Biomassa subterrânea (C_BGB)	40	30–60	7%	IPCC Wetlands (2013)
Carbono no solo (C_SOC)	450	350–550	78%	Kauffman & Donato (2020)
Total (CT)	575 tC/ha	—	100%	—

O estoque total equivale a 2.110 tCO_2e/ha (575 × 3,67), valor que posiciona os manguezais entre os ecossistemas mais densos do planeta em carbono, comparáveis aos pântanos tropicais do Sudeste Asiático.

6.4.2. MODELAGEM DE EMISSÕES EVITADAS (REDD+)

A porção do programa baseada em REDD+ destina-se a quantificar as emissões que seriam liberadas caso os manguezais fossem convertidos ou degradados.

O *baseline* (cenário de referência) foi estimado com base na série histórica do INPE PRODES Manguezal (2000–2023), que indica uma taxa média de perda de 0,14% ao ano**,** equivalente a 25 ha/ano. Considerando emissões médias de 1.000 tCO_2e/ha liberadas por degradação (IPCC 2019; Donato et al., 2011), o *baseline* anual de emissões evitáveis é de 25.000 tCO_2e/ano.

A equação de mitigação para REDD+ é dada por:

$$E_{evitada} = (A_{base} \times E_{fator}) \times (1 - R)$$

onde:

- A_base = área sob risco de desmatamento (ha);
- E_fator = emissões potenciais por hectare (tCO_2e/ha);
- R = taxa de risco residual após implementação das medidas (estimada em 0,15).

Assim:

$$E_{evitada} = 25 \times 1.000 \times (1 - 0{,}15) = 21.250 \text{ } tCO_2e/ano$$

Portanto, a mitigação anual via REDD+ nos manguezais de Sergipe é estimada em ≈ 21 mil tCO_2e/ano, valor que se acumula à remoção líquida obtida por restauração (ver item 5.4.3).

6.4.3. MODELAGEM DE SEQUESTRO ATIVO (BLUE CARBON)

O sequestro líquido de carbono em manguezais restaurados resulta do acúmulo simultâneo de biomassa e carbono sedimentar. O modelo segue a metodologia VM0009 (Verra, 2022), previamente citada, adaptada às condições locais.

$$S = (\Delta AGB + \Delta BGB + \Delta SOC) \times 3{,}67 \times (1 - U)$$

onde U = 0,12 representa o fator de incerteza médio.

Os parâmetros adotados para Sergipe são:

Tabela 6.4.3-A Premissas para modelagem de sequestro

INDICADOR	VALOR MÉDIO	UNIDADE	FONTE
Incremento de AGB	2,5	tC/ha.ano	Embrapa Tabuleiros Costeiros (2023)
Incremento de BGB	1,0	tC/ha.ano	Kauffman & Donato (2020)
Incremento de SOC	1,5	tC/ha.ano	IPCC Wetlands Supplement (2013)
Fator de carbono → CO_2	3,67	—	IPCC
Incerteza (U)	0,12	—	IPCC 2019

$$S = (2{,}5 + 1{,}0 + 1{,}5) \times 3{,}67 \times (1 - 0{,}12) = 17{,}4 \times 0{,}88 = 15{,}3 \text{ tCO}_2\text{e/ha.ano}$$

Assim, cada hectare de manguezal restaurado sequestra em média 15,3 tCO_2e/ano. Considerando 6.200 ha de áreas degradadas mapeadas (MapBiomas 2023), o potencial de remoção é:

$$15{,}3 \times 6.200 = 95.000 \text{ tCO}_2\text{e/ano}$$

Somando-se as 21.000 tCO_2e/ano de emissões evitadas via REDD+, o potencial total anual do componente Blue Carbon é de aproximadamente 116.000 tCO_2e.

6.4.4. MODELAGEM ESPACIAL E PRIORIZAÇÃO TERRITORIAL

A delimitação espacial das áreas de intervenção costeira foi realizada por meio de análise multicritério em ambiente SIG (ArcGIS Pro), com base em cinco camadas temáticas:

1. NDVI e índice de umidade de vegetação (Sentinel-2, 2023);
2. Distância da linha de costa e gradiente altimétrico (<5 m);
3. Cobertura de uso antrópico (MapBiomas, 2023);
4. Vulnerabilidade à erosão e salinização (ANA, 2024);
5. Presença de comunidades tradicionais (IBGE, 2023).

Os resultados definem três zonas de priorização:

Tabela 6.4.4-A Priorização

ZONA	MUNICÍPIOS PRINCIPAIS	EXTENSÃO (HA)	TIPO DE INTERVENÇÃO
Z1 – Conservação REDD+	Aracaju, Barra dos Coqueiros	7.500	Proteção e monitoramento
Z2 – Restauração Blue Carbon	Estância, Indiaroba, Santa Luzia	6.200	Recuperação ativa e natural
Z3 – Uso sustentável / PSA costeiro	Itaporanga, São Cristóvão	4.300	Regeneração assistida e manejo comunitário

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Essas zonas constituem a base territorial do eixo costeiro do PJCI-SE, correspondendo à totalidade das áreas aptas à certificação.

6.4.5. COEFICIENTES DE PERMANÊNCIA E BUFFER

A permanência do carbono sedimentar em manguezais é excepcional: o IPCC (2013) estima vida média superior a 1.000 anos para depósitos anaeróbios intactos. Entretanto, para fins de certificação e comparabilidade jurisdicional, o PJCI-SE adota um horizonte de 100 anos de permanência mínima**,** com buffer técnico de 15% destinado à reserva estadual de risco (FEAAC).

$$C_{líquido} = (C_{bruto}) \times (1 - B)$$

onde B = 0,15, resultando em um desconto médio de 15% sobre o total de créditos gerados.

6.4.6. INTEGRAÇÃO COM O MRV E RECA-SE

O sistema MRV-SE para manguezais utiliza ferramentas de monitoramento satelital e inspeções de campo:

- Imagens Sentinel-1 (radar) **e** Sentinel-2 (óptico) para detectar mudanças na cobertura vegetal e umidade superficial;
- Análises NDVI, NDWI e EVI para quantificar vigor e regeneração;
- Inventário in situ bianual com medição de DAP e altura média;
- Registro contínuo no RECA-SE, interoperável com o SINARE.

Cada unidade de crédito é vinculada a um identificador geográfico único (ID-GEO)**,** o que garante rastreabilidade total e evita dupla contagem. O RECA-SE também armazenará metadados de auditoria e buffer, assegurando transparência pública.

6.4.7. BENEFÍCIOS ECOLÓGICOS E SOCIOECONÔMICOS

Além da mitigação climática, os manguezais sergipanos proporcionam co-benefícios quantificados:

Tabela 6.4.7-A Benefícios ecológicos e socioeconômicos.

INDICADOR	VARIAÇÃO MÉDIA PÓS-RESTAURAÇÃO	FONTE
Aumento da biodiversidade de peixes e crustáceos	+22%	UFS, 2024
Redução de erosão costeira	-35%	ANA, 2023
Aumento da produtividade pesqueira artesanal	+18%	SEAP, 2024
Participação feminina em PSA costeiro	41%	SEMAC, 2025
Valor médio de PSA por família	R$ 2.400/ano	PEPSACI, 2025

Esses resultados reforçam o valor socioambiental do Blue Carbon, que combina conservação, inclusão produtiva e empoderamento de comunidades tradicionais — especialmente marisqueiras e pescadores artesanais.

6.4.8. POTENCIAL ECONÔMICO E GERAÇÃO DE RECEITAS

O cálculo do potencial econômico segue o mesmo princípio do módulo Caatinga, considerando preço médio de US$ 25/tCO_2e e taxas de desconto de 15%. Assim:

Receita (Blue Carbon) = 116.000 × 25 × (1 - 0,15) = US$ 2,46 milhões/ano

Combinando os componentes REDD+ e ARR costeiro, o horizonte de 40 anos (2025–2065) resulta em:

US$ 2,46 × 40 = US$ 98,4 milhões

Em valores atualizados (taxa de câmbio R$ 5,00/US$), o valor acumulado equivale a R$ 492 milhões, sem considerar valorização de preço ou multiplicadores socioeconômicos.

6.4.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

O modelo de Blue Carbon **e** REDD+ costeiro consolida o segundo pilar ecológico do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE). Com

base em dados da Embrapa, IPCC e Verra, o Estado dispõe de um sistema de contabilidade robusto e auditável, capaz de gerar 116 mil créditos de carbono anuais, com permanência secular **e** altos co-benefícios ecológicos e sociais. O componente costeiro apresenta baixo risco de reversão, alta densidade de carbono e forte conexão com políticas de inclusão produtiva e de gênero.

Sua integração ao Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) e ao PEPSACI garante governança financeira e social compatível com padrões internacionais, permitindo que Sergipe se destaque como o primeiro estado brasileiro a integrar Caatinga e Manguezais em um programa jurisdicional de mitigação climática unificado.

6.5. INCERTEZAS, BUFFER E SISTEMA MRV

A credibilidade de qualquer programa de créditos de carbono depende da consistência estatística dos dados, da gestão transparente do risco de reversão e da verificação independentemente dos resultados.

O PJCI-SE foi estruturado para atingir esses três objetivos de forma integrada, estabelecendo um sistema de monitoramento e auditoria que assegura que cada crédito jurisdicional represente uma tonelada real, mensurável e permanente de CO_2 equivalente (tCO_2e).

O sistema combina três componentes complementares:

1. Controle de incertezas e variabilidade (Tier 2 e 3 IPCC);
2. Mecanismo estadual de buffer de risco (FEAAC/RECA-SE);
3. Sistema de MRV jurisdicional interoperável com o SINARE e padrões internacionais.

6.5.1. CONTROLE DE INCERTEZAS E QUALIDADE DOS DADOS

A incerteza é inerente à modelagem de carbono e decorre de erros de medição, amostragem e variação ecológica. O *IPCC (2019 Refinement)* recomenda quantificar e propagar essas incertezas por meio de análises de variância e intervalos de confiança (95%), de modo que o valor final represente uma estimativa conservadora.

O coeficiente de incerteza total (U_total) foi calculado com base nas margens associadas a cada compartimento de carbono:

Tabela 6.5.1-A Fatores de Incerteza.

FONTE DE INCERTEZA	SÍMBOLO	FAIXA TÍPICA (%)	FONTES
Biomassa aérea (AGB)	U_1	8–10	IPCC, Embrapa
Biomassa subterrânea (BGB)	U_2	5–7	IPCC
Carbono do solo (SOC)	U_3	10–15	Embrapa Tabuleiros Costeiros
Processos de decomposição e mortalidade	U_4	3–5	ART-TREES
Incerteza combinada (Tier 2/3)	U_total	12–17	IPCC (2019)

A incerteza combinada é obtida pela equação de propagação de erros independentes:

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2}$$

Aplicando os valores médios (U_1=0,09; U_2=0,05; U_3=0,12; U_4=0,04):

$$U_{total} = \sqrt{0,09^2 + 0,05^2 + 0,12^2 + 0,04^2} \approx 0,16$$

Portanto, a margem conservadora adotada é de 16%, aplicada como desconto sobre o total de créditos brutos estimados em cada ciclo quinquenal.

Essa margem garante conformidade com as práticas de verificação da Verra e ART-TREES, que exigem que o volume líquido certificado seja sempre igual ou inferior ao valor estatisticamente mínimo (95% de confiança).

6.5.2. TIPOLOGIA DE RISCOS E ESTRUTURA DO BUFFER

O buffer de risco é o mecanismo de segurança que assegura a permanência dos créditos emitidos, prevenindo perdas decorrentes de eventos não controláveis (força maior) ou falhas operacionais.

O PJCI-SE adota a estrutura de *"Reserva Técnica de Carbono"* definida no Regulamento do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), inspirada nos modelos do ART-TREES e do Verified Carbon Standard (Verra).

a) Tipologia de risco

Os riscos são classificados em quatro grupos:

Tabela 6.5.2-A Tipologia e riscos.

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	PROBABILIDADE	MITIGAÇÃO
Natural	incêndios, secas extremas, pragas	Média	Buffer + seguro ambiental
Antropogênico	desmatamento, sobrepastoreio, invasão de área	Alta (Caatinga), baixa (manguezal)	Monitoramento remoto e PSA comunitário
Fundiário	disputas de posse e cancelamento contratual	Alta	Regularização e contratos coletivos
Metodológico	erro de medição, inconsistência MRV	Baixa	Auditorias independentes e padronização IPCC

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

b) Percentuais de buffer

Com base na matriz de risco, o percentual de reserva de créditos varia conforme o bioma:

Tabela 6.5.2-B Percentuais de Reserva

BIOMA	BUFFER (%)	JUSTIFICATIVA
Caatinga (ARR)	10	vulnerabilidade fundiária e risco de fogo
Manguezal (Blue Carbon/REDD+)	15	eventos climáticos extremos e erosão costeira
Média jurisdicional ponderada	12,5	combinando áreas terrestres e costeiras

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O buffer é aplicado diretamente sobre o total de créditos anuais e depositado no Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), em conta vinculada e auditável.

c) Estrutura operacional do buffer

1. Reserva Técnica Estadual (RTE): mantida no FEAAC, com créditos equivalentes a 12,5% do total emitido anualmente;

2. Reserva de Risco Jurisdicional (RRJ): mecanismo interno de compensação entre projetos subnacionais;
3. Seguro Ambiental Complementar: cobertura contratual de perdas não compensáveis via buffer (eventos de força maior).

A RTE deverá ser atualizada a cada cinco anos, com base em auditoria independente e parecer técnico da SEMAC e Desenvolve-SE.

6.5.3. SISTEMA DE MONITORAMENTO, RELATO E VERIFICAÇÃO (MRV)

O MRV-SE é o eixo de rastreabilidade técnica e institucional do PJCI-SE. Ele integra dados de inventários de campo, sensoriamento remoto e cadastros fundiários, em uma arquitetura híbrida (territorial + digital), articulada em três níveis:

Tabela 6.5.3-A MRV

NÍVEL	ESCOPO	RESPONSÁVEL PRIMÁRIO	FREQUÊNCIA
MRV-Local (projetos e comunidades)	coleta de dados de biomassa, solo e PSA	Associações, cooperativas, consultorias locais	Semestral
MRV-Setorial (bacias e biomas)	consolidação e validação regional	SEMAC, Embrapa, UFS	Anual
MRV-Jurisdicional (Estado)	agregação de dados, emissão e registro de créditos	SEMAC, Desenvolve-SE, FIA	Quinquenal

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O fluxo operacional do sistema é descrito a seguir.

a) Monitoramento (M)

Inclui:

- Inventários florestais e sedimentares padronizados (parcelas permanentes de 20×50 m);
- Sensoriamento remoto multiespectral (NDVI, EVI, NDWI, SAR);
- Monitoramento climático (precipitação, temperatura, umidade) via rede ANA/INMET;
- Verificação fundiária com atualização CAR/SNCR;
- Cadastro georreferenciado no RECA-SE.

b) Relato (R)

O relato técnico é elaborado com periodicidade anual, contendo:

- Série temporal de sequestro e emissões evitadas;
- Análise de consistência estatística;
- Mapas e relatórios georreferenciados;
- Conciliação de PSA pagos e créditos emitidos.

Os relatórios serão públicos e publicados no Portal Verde Sergipe, assegurando transparência.

c) Verificação (V)

A verificação é executada por entidades acreditadas sob padrões ISO 14065 e ART-TREES.
As auditorias são obrigatórias a cada ciclo de cinco anos e compreenderão:

- Revisão metodológica e amostral;
- Conferência de dados MRV-Local e MRV-Setorial;
- Certificação do volume líquido de créditos.

Os resultados são homologados pelo Conselho Gestor do FEAAC, registrados no RECA-SE e sincronizados com o SINARE.

6.5.4. INTEROPERABILIDADE COM SISTEMAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

O RECA-SE será integrado a três plataformas externas:

1. SINARE (Sistema Nacional de Redução de Emissões) – registro oficial brasileiro, obrigatório para emissão e rastreabilidade;
2. Verra VCS Registry – para certificação e comercialização voluntária internacional;
3. ART-TREES Platform – para reconhecimento de reduções jurisdicionais e pagamento por resultados (*Results-Based Payments*).

A integração será viabilizada via API (*Application Programming Interface*) padronizada, garantindo interoperabilidade, rastreabilidade e atualização automática de dados.

6.5.5. GOVERNANÇA E SALVAGUARDAS DO MRV

A governança do MRV estadual seguirá estrutura participativa com instâncias técnicas e deliberativas:

- Câmara Técnica de MRV e Integridade Ambiental (CT-MRV)**:** composta por representantes da SEMAC, Desenvolve-SE, Embrapa, UFS, sociedade civil e setor privado;
- Comissão de Salvaguardas Sociais e Ambientais (CSSA)**:** responsável por verificar o cumprimento de critérios de equidade, CLPI e direitos territoriais;
- Comitê de Transparência e Dados Climáticos**:** supervisiona a publicação e auditoria de dados no RECA-SE.

Essas instâncias garantem controle social e científico, além de alinhar o programa às Salvaguardas de Cancún (UNFCCC, 2010) e ao Protocolo de Salvaguardas do ART-TREES (2023)**.**

6.5.6. AUDITORIA, REAVALIAÇÃO E ATUALIZAÇÃO DE METODOLOGIAS

As metodologias e fatores de emissão utilizados no PJCI-SE serão revisados a cada cinco anos, conforme novas publicações científicas e atualizações do IPCC. O ciclo de revisão seguirá a lógica de melhoria contínua:

1. Ano 0: implementação e auditoria inicial;
2. Ano 5: atualização de fatores de biomassa e solo;
3. Ano 10: revisão dos modelos alométricos;
4. Ano 20: reavaliação integral do sistema de MRV e buffer.

Essa dinâmica assegura a evolução metodológica e o alinhamento do Estado às melhores práticas internacionais.

6.5.7. SÍNTESE OPERACIONAL

Tabela 6.5.7-A Síntese operacional

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	PERIODICIDADE	RESPONSÁVEL
Incerteza total (U_total)	Margem de erro estatístico 16%	Revisão quinquenal	SEMAC/FIA
Buffer de risco	Reserva técnica de 12,5%	Atualização anual	FEAAC
MRV	Coleta, validação e verificação	Contínua	SEMAC, Embrapa, auditores
Auditoria externa	Certificação independente	A cada 5 anos	Entidades ISO/ART-TREES
Registro e interoperabilidade	Sincronização RECA-SE ↔ SINARE ↔ Verra	Contínua	Desenvolve-SE

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

6.5.8. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

O sistema de incertezas, buffer e MRV define o padrão de integridade e rastreabilidade do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE). Ao aplicar margens conservadoras (U = 16%), reservas técnicas robustas (12,5%) e verificação independente certificada, Sergipe adota um modelo plenamente compatível com as exigências internacionais de mercados de carbono de alta integridade.

O arranjo institucional – com o FEAAC como garantidor financeiro, o RECA-SE como registro central e o MRV-SE como sistema técnico – consolida a capacidade do Estado de emitir, gerir e comercializar créditos jurisdicionais com confiabilidade científica e jurídica, reforçando a convergência entre política climática, governança ambiental e finanças sustentáveis.

7. MODELAGEM ECONÔMICO-FINANCEIRA

O desempenho econômico do PJCI-SE depende da capacidade de internalizar os benefícios climáticos, expressos em toneladas de CO_2 evitadas ou sequestradas, em fluxos financeiros tangíveis e previsíveis. A modelagem econômico-financeira traduz os resultados técnicos do Capítulo 5 (sequestro e emissões evitadas) em valores monetários, considerando custos diretos, encargos administrativos, receitas projetadas e riscos associados.

A estrutura financeira do programa é blended (finanças mistas), integrando recursos públicos e privados, com base em quatro vetores principais:

1. Investimento público direto, via orçamento estadual e federal;
2. Financiamento climático internacional, via fundos multilaterais e mecanismos de pagamento por resultados (RBP);
3. Parcerias privadas e investimentos corporativos em compensação de emissões;
4. Receita própria proveniente da venda jurisdicional de créditos de carbono e PSA.

7.1. ESTRUTURA DE CUSTOS E FONTES DE FINANCIAMENTO

A estrutura de custos foi definida a partir de benchmarks nacionais (Embrapa, TNC, Funbio, GEF, REM-Acre) e internacionais (World Bank, UNEP, Verra), ajustados ao contexto ecológico e socioeconômico de Sergipe. Ela é composta por custos diretos de campo**,** custos institucionais e administrativos**,** custos de monitoramento e verificação (MRV) **e** margens de contingência.

Os custos médios de implementação por bioma variam substancialmente devido à densidade de biomassa, acessibilidade e tipo de intervenção.

7.1.1. ESTRUTURA DE CUSTOS DIRETOS

Os custos diretos incluem todas as despesas de implantação, manutenção e restauração até o primeiro ciclo produtivo (cinco anos). Os valores a seguir refletem médias regionais atualizadas para 2025, expressas em reais (R$).

Tabela 7.1.1-A Custos diretos: como foram aferidos.

ITEM	CAATINGA (R$/HA)	MANGUEZAL (R$/HA)	OBSERVAÇÕES
Diagnóstico inicial e CAR georreferenciado	220	180	Cadastro e geoprocessamento
Cercamento e isolamento da área	850	—	Predominante em áreas terrestres
Controle de espécies invasoras	250	320	Mão de obra local
Plantio e insumos (mudas, viveiros, sementes)	1.150	1.400	Espécies nativas regionais
Mão de obra direta e assistência técnica	1.200	1.350	Contratação comunitária
Monitoramento e relatórios técnicos	450	650	MRV e auditoria local
Equipamentos e transporte	330	480	Logística e insumos
Capacitação e PSA inicial	600	800	Pagamento às famílias participantes
Subtotal	5.050	5.180	—
Contingência (10%)	505	518	Risco climático e operacional
Total médio por hectare (R$/ha)	5.555	5.698	—

Custo médio consolidado de R$ 5.600/ha (US$ 1.120/ha) resulta da média ponderada entre as referências acima, ajustada por:

$$\text{Custo médio ponderado} = \frac{(R\$4.500 + R\$6.000)}{2}$$
$$\approx R\$5.250 + 7\% \text{ (atualizaćão monetária 2023–2024)} = R\$5.600/ha$$

Essa média reflete **c**ustos diretos e indiretos de restauração em escala piloto (ARR e Blue Carbon) no contexto brasileiro, compatíveis com as estimativas do World Bank (2023) e da Embrapa Solos (2022), anteriormente citados para projetos de Soluções Baseadas na Natureza (*Nature-Based Solutions – NBS*).

Assim, o custo médio consolidado é de aproximadamente R$ 5.600/ha, equivalente a US$ 1.120/ha (taxa de câmbio R$ 5,00/US$). Esses valores estão alinhados

aos custos reportados em programas equivalentes, como o Projeto Serra das Almas (R$ 4.500/ha) **e o** Projeto Costa Norte (Pará, R$ 6.000/ha)[57].

7.1.2. CUSTOS ADMINISTRATIVOS E INSTITUCIONAIS

O componente administrativo compreende as despesas de gestão, governança, comunicação e auditoria, proporcionalmente menores à medida que o programa escala territorialmente.

Tabela 7.1.2-A Custos administrativos e institucionais

ITEM	PERCENTUAL DO CUSTO TOTAL	VALOR ESTIMADO (R$/HA)
Governança e coordenação (SEMAC, Desenvolve-SE, FIA)	15%	840
Comunicação e engajamento comunitário	5%	280
Auditorias e verificação independente	4%	225
Fundo de reserva técnico-operacional (FEAAC)	6%	335
Total administrativo e institucional	30%	1.680

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O custo total consolidado (direto + administrativo) atinge R$ 7.280/ha, ou cerca de US$ 1.456/ha.

57 Instituto Associação Caatinga. (2022). Relatório Técnico do Projeto Serra das Almas: Avaliação Econômica da Restauração Ecológica no Semiárido Cearense. Fortaleza: Associação Caatinga / Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF). O Projeto Serra das Almas, implementado no bioma Caatinga, apresenta custo médio de R$ 4.500/ha, obtido pela soma dos dispêndios diretos com implantação, manutenção e monitoramento (insumos, mão de obra, cercamento, coleta de sementes e viveiros). O cálculo considera custos anuais atualizados e amortizados ao longo de 10 anos de manejo ativo; Verra. (2023). *VM0047 – Afforestation, Reforestation and Revegetation (ARR) Methodology v1.1. Washington, DC*: Verra. Para estimativas de projetos voluntários, os custos totais por hectare seguem a estrutura metodológica da Verra, que inclui: Custos de implantação (preparo de solo, plantio, mudas e insumos); Custos operacionais e administrativos (gestão local, treinamento e fiscalização); Custos de MRV (Monitoring, Reporting and Verification), incluindo auditoria de campo, sensoriamento remoto e verificação de terceira parte; Custos de certificação e transação, como taxas de registro e aposentadoria de créditos (*retirement fees*). Carbonext. (2023). Estudo Técnico de Custos de Implementação e Monitoramento – Projeto Costa Norte (PA). São Paulo: Carbonext. O Projeto Costa Norte, desenvolvido em áreas de manguezais e florestas tropicais úmidas, indica custo médio de R$ 6.000/ha, calculado com base em planilhas orçamentárias de campo, contratos de serviços ambientais locais e custos logísticos de acesso e monitoramento remoto.

Considerando uma média de 10.000 ha/ano restaurados ou conservados, o custo operacional anual estimado é de R$ 72,8 milhões[58]. O valor de R$ 7.280/ha (≈ US$ 1.456/ha) é derivado do custo médio direto (R$ 5.600/ha) acrescido de 30% de encargos administrativos e logísticos, segundo a fórmula:

Custo total = Custo direto x (1 + 0,30) = 5.600 x1,30 = 7.280 R$/ha

Considerando 10.000 ha/ano de restauração ou conservação, o custo operacional anual estimado é:

10.000 ha/ano x 7.280 R$/ha = 72,8 milhões R$/ano

7.1.3. CUSTO DE MRV E CERTIFICAÇÃO

O custo de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) inclui inventários de campo, sensoriamento remoto, auditorias externas e atualização do registro RECA-SE. O modelo adotado no PJCI-SE estima o custo anual de MRV em R$ 18,00 por crédito emitido, valor competitivo frente à média de US$ 4,00–5,00 por crédito observada em padrões Verra e Gold Standard.

Tabela 7.1.3-A Custo de Certificação

ELEMENTO MRV	CUSTO UNITÁRIO MÉDIO (R$)	UNIDADE	FREQUÊNCIA	OBSERVAÇÕES
Inventário florestal e sedimentar	110.000	/campanha	Anual	20 parcelas por bioma

[58] W*orld Bank. (2023). The Economics of Nature-Based Solutions: Cost Structures and Investment Models for Restoration Projects. Washington, DC: World Bank Group.* De acordo com o Banco Mundial (2023)**,** o custo total consolidado por hectare em projetos de Soluções Baseadas na Natureza (Nature-Based Solutions – NBS) **i**nclui custos diretos de implantação**,** custos administrativos**,** monitoramento e verificação (MRV) **e** custos de transação e certificação. A proporção média observada é de **77%** custos diretos **e** 23% custos administrativos e de governança, o que eleva o custo total em cerca de **30%** em relação ao custo direto isolado; *Embrapa Solos. (2022). Manual de Referência para Restauração Ecológica e Estimativa de Custos no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.* O documento detalha metodologias de cálculo de custos operacionais por hectare, abrangendo desde o preparo do solo e aquisição de mudas até o monitoramento e manutenção anual. Para biomas tropicais e semiáridos, o custo médio consolidado varia entre **R**$ 6.500 e R$ 7.500/ha, conforme extensão, topografia e densidade de plantio. Os valores são coerentes com parâmetros internacionais utilizados pelo World Bank**,** WRI Brasil (2020) **e** Verra (2023, VM0047 – ARR Methodology**)** para projetos de restauração e carbono florestal no Brasil.

ELEMENTO MRV	CUSTO UNITÁRIO MÉDIO (R$)	UNIDADE	FREQUÊNCIA	OBSERVAÇÕES
Imagens satelitais e processamento SIG	65.000	/ano	Anual	NDVI, SAR e NDWI
Auditoria independente	240.000	/ciclo	Quinquenal	Certificação internacional
Operação e manutenção RECA-SE	350.000	/ano	Contínua	Interoperabilidade SINARE
Custo médio MRV (2025–2030)	≈ R$ 2,2 milhões/ano	—	—	—

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Custo total MRV=Custo inventário + Custo satélite / SIG + Custo auditoria + Custo manutenção registro

e

Custo unitário (R$/crédito) = Custo total anual MRV/Créditos anuais emitidos

onde, para o período 2025–2030, o custo médio de ≈ R$ 2,2 milhões/ano resulta da soma ponderada:

- Inventário florestal e sedimentar: R$ 110.000/campanha;
- Imagens e processamento SIG (NDVI, SAR, NDWI): R$ 65.000/ano;
- Auditoria independente quinquenal: R$ 240.000/ciclo;
- Operação e manutenção RECA-SE: R$ 350.000/ano.

O valor total anual é então dividido pelo volume médio de ≈ 120.000 tCO_2e/ano, resultando em custo de R$ 18,00/crédito, considerado competitivo e em conformidade com as melhores práticas internacionais de MRV estabelecidas pelo IPCC (2019 Refinement), Verra (2023) e Gold Standard (2023),[59].

[59] Além de: Gold Standard Foundation. (2023). Gold Standard for the Global Goals – Requirements, v1.3. Geneva: Gold Standard Foundation; Verra. (2023). Verified Carbon Standard (VCS) Program Guide, v4.3. Washington, DC: Verra. Ambos os padrões — Verra (VCS) e Gold Standard (GS) — estabelecem diretrizes detalhadas para Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), incluindo auditorias de campo, sensoriamento remoto, inventários florestais e verificação independente por entidades acreditadas (SGS, DNV, SCS Global, Bureau Veritas). Os custos médios relatados em programas certificados variam entre US$ 4,00 e US$ 5,00 por crédito emitido, dependendo da complexidade do projeto e da frequência de

7.1.4. ESTRUTURA CONSOLIDADA DE CUSTOS POR BIOMA E HORIZONTE DE 40 ANOS

A projeção de custos acumulados para o horizonte 2025–2065 incorpora taxas médias de inflação e atualização de preço de insumos (2% a.a.). Os valores a seguir estão expressos em milhões de reais (R$).

Tabela 7.1.4-A Estrutura de custos consolidada

COMPONENTE	CAATINGA	MANGUEZAL	TOTAL (R$ MILHÕES)
Custos diretos de campo	690	102	792
Custos administrativos	207	31	238
MRV e auditorias	78	14	92
Contingência (10%)	97	15	112
Total acumulado (2025–2065)	1.072	162	1.234

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O investimento total projetado para 40 anos é, portanto, R$ 1,23 bilhão, valor distribuído entre fases de expansão e consolidação.

7.1.5. FONTES DE FINANCIAMENTO

A estrutura de financiamento do PJCI-SE é “blended” (mista), articulando recursos de múltiplas origens.

As principais fontes previstas são:

a) Fontes públicas

1. Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) – principal instrumento de financiamento, abastecido por:
    - receitas de créditos jurisdicionais vendidos;
    - compensações ambientais e climáticas de empreendimentos (Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe);

verificação; Instituto Tecnológico de Pesquisas de Sergipe (ITPS-SE) & Desenvolve-SE. (2025). Modelo de Custo e Procedimento MRV – Programa Jurisdicional de Créditos de Carbono de Sergipe (PJCI-SE). Aracaju: Governo do Estado de Sergipe. O modelo jurisdicional adotado pelo PJCI-SE estima o custo anual de R$ 18,00 por crédito de carbono (tCO_2e), calculado a partir da composição de custos diretos e administrativos associados às etapas de MRV

- transferências orçamentárias da SEMAC e Desenvolve-SE;
- convênios com a União e o BNDES Fundo Clima.

2. Orçamento Climático Estadual (OCE-SE)**:** dotação específica a partir de 2026, vinculada a 0,5% da Receita Corrente Líquida (RCL), estimada em R$ 160 milhões anuais (SEFAZ/SE, 2024).
3. Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC/MMA): linha de crédito subsidiada para projetos de PSA e carbono.

b) Fontes privadas

1. Parcerias empresariais de compensação voluntária (Net-Zero): companhias do setor energético, logístico e financeiro (Petrobras, Neoenergia, Braskem, VLI, entre outras).
   - Expectativa de captar R$ 25–40 milhões/ano via acordos de compra antecipada (*forward agreements*).
2. Financiamento ESG e títulos verdes: emissão de *Green Bonds e Sustainability-Linked Bonds* pelo Estado de Sergipe e Desenvolve-SE.
   - Meta: captar US$ 100 milhões em 10 anos com lastro em créditos jurisdicionais.

c) Fontes internacionais

1. Fundo Verde para o Clima (GCF): elegibilidade para *Results-Based Payments* (US$ 5/tCO_2e).
2. Iniciativa REM (REDD Early Movers): pagamento por desempenho estadual.
3. *Global Environment Facility (GEF) e UNDP-GCF Small Grants*: apoio técnico e institucional.
4. ART-TREES / LEAF Coalition: mercado jurisdicional com compradores institucionais (Amazon, Nestlé, Unilever).

Essas fontes compõem uma estrutura de financiamento resiliente e diversificada, capaz de garantir sustentabilidade financeira multidecenal ao programa.

7.1.6. ESTRUTURA DE GOVERNANÇA FINANCEIRA

O fluxo financeiro do PJCI-SE será centralizado no FEAAC, com o seguinte arranjo institucional:

Receitas → FEAAC → Fundo de Reserva Técnica (Buffer)

↓

Desenvolve-SE

↓

(i) Projetos de Campo (Caatinga, Manguezal)

(ii) PSA Direto às Comunidades

(iii) Custos de MRV e Auditorias

O FEAAC manterá contas segregadas por bioma e fonte de recurso, permitindo auditoria financeira e técnica anual. A Desenvolve-SE atuará como unidade gestora executiva, contratando operadores financeiros e técnicos mediante plano aprovado pelo Conselho Gestor do Fundo (SEMAC, SEFAZ, sociedade civil, setor privado e academia).

7.1.7. SÍNTESE DE CUSTOS E VIABILIDADE

- Custo médio por crédito gerado: considerando custo total R$ 1,23 bilhão e geração projetada de 80 milhões tCO_2e, o custo unitário é de R$ 15,40/tCO_2e (≈ US$ 3,08/tCO_2e).
- Preço médio de mercado (2025): US$ 25/tCO_2e.
- Margem bruta projetada**:** US$ 21,92/tCO_2e, o que demonstra alta viabilidade econômica.

Em cenários conservadores, o retorno líquido do investimento supera 10% ao ano, conforme detalhado na subseção 6.3 (indicadores financeiros).

7.1.8. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

A estrutura de custos e financiamento do PJCI-SE foi desenhada para assegurar equilíbrio econômico, previsibilidade e escala**.** Com custo médio de R$ 5.600/ha e sistema de financiamento híbrido (público-privado), o programa apresenta viabilidade fiscal e financeira robusta e compatibilidade com padrões internacionais de transparência.

A centralização financeira via FEAAC, associada ao RECA-SE e ao sistema MRV estadual, garante rastreabilidade integral de recursos e resultados. Essa arquitetura

transforma Sergipe em referência nacional de governança financeira em carbono jurisdicional, viabilizando políticas de mitigação e inclusão produtiva de longo prazo.

7.2. PRECIFICAÇÃO E PROJEÇÕES DE RECEITA

O valor econômico de um crédito de carbono resulta de três dimensões complementares: (i) integridade ambiental (qualidade do crédito); (ii) liquidez de mercado (demanda e oferta global); e (iii) co-benefícios sociais e ecológicos associados.

O PJCI-SE posiciona-se no segmento "premium" do mercado voluntário, devido à combinação de:

- abordagem jurisdicional (abrangência estadual e auditoria integrada);
- integração de biomas de alta integridade (Caatinga e Manguezais);
- e co-benefícios verificados (PSA, biodiversidade, inclusão produtiva).

Esses fatores permitem que os créditos sergipanos alcancem valores acima da média global, com diferenciação entre o componente Caatinga (ARR) e o Blue Carbon (manguezais).

7.2.1. REFERENCIAIS DE PREÇO E BENCHMARKS INTERNACIONAIS

A *Ecosystem Marketplace* (2023), já citada anteriormente, reportou que o preço médio global dos créditos voluntários variou conforme o tipo de projeto:

Tabela 7.2.1-A Referenciais de preço

CATEGORIA DE CRÉDITO	PREÇO MÉDIO GLOBAL (US$/TCO₂E)	VARIAÇÃO ANUAL (2022–2023)	FONTE
Reflorestamento / ARR	13,8	+24%	Ecosystem Marketplace
REDD+ (Evitação de emissões florestais)	11,2	+18%	Ecosystem Marketplace
Blue Carbon (Manguezais e Zonas Úmidas)	25,4	+31%	World Bank, 2023
Jurisdicional / ART-TREES	20,0	—	IETA, 2023

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A média ponderada global em 2024 situou-se em US$ 17,6/tCO₂e, mas os créditos jurisdicionais com co-benefícios socioambientais podem atingir US$ 25–

35/tCO₂e**,** faixa considerada "*premium tier*" pelos compradores institucionais (Nestlé, Amazon, Microsoft, Delta Airlines).

O modelo de precificação adotado pelo PJCI-SE utiliza três cenários macroeconômicos, com projeções até 2065:

Tabela 7.2.1-B Cenários

CENÁRIO	FAIXA INICIAL (2025)	CRESCIMENTO ANUAL REAL	FAIXA FINAL (2065)	DESCRIÇÃO
Conservador	US$ 15	2,0%	US$ 33	mercado estabilizado, predominância de créditos voluntários
Base	US$ 25	3,0%	US$ 81	consolidação de mercados híbridos e regulação nacional (SBCE)
Otimista	US$ 35	4,0%	US$ 166	forte valorização após 2040, escassez de créditos de alta integridade

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Os preços foram projetados em termos reais (descontada a inflação internacional), com taxa de desconto de 5% ao ano aplicada às receitas futuras.

7.2.2. ESTRUTURA DE VALORIZAÇÃO DOS CRÉDITOS POR COMPONENTE

A estrutura de precificação do Programa Jurisdicional de Créditos de Carbono de Sergipe (PJCI-SE) baseia-se em parâmetros de permanência, integridade e adicionalidade, conforme os padrões Verra (VCS) **e** ART-TREES e práticas consolidadas do mercado internacional.

O fator de valorização (1,0–1,3) é derivado da metodologia de ajuste de preço por risco e integridade ambiental**,** aplicada em programas jurisdicionais e de projeto, seguindo a fórmula:

Preço ajustado (US$/tCO₂e)=Preço base x Fator de valorização

onde o preço base reflete médias observadas em relatórios do *Ecosystem Marketplace (2023)* e o fator de valorização traduz a combinação de:

- Permanência do carbono (duração do estoque em anos);
- Integridade do crédito (nível de verificação, adicionalidade e co-benefícios);
- Risco de reversão (variável por bioma e metodologia).

Assim, projetos de Blue Carbon (manguezais) e REDD+ Costeiro recebem maior fator de valorização (1,1–1,3) devido à alta integridade e longevidade (>100 anos), enquanto projetos ARR na Caatinga mantêm fator base (1,0), refletindo horizonte de permanência menor (~40 anos).

Os valores de mercado utilizados **(**US$ 18–40/tCO_2e) alinham-se aos intervalos médios reportados por Verra (2023)**,** ART-TREES (2023) **e** World Bank (2023), já citados anteriormente para créditos de alta integridade em biomas tropicais.

Cada componente do PJCI-SE apresenta características próprias de risco, permanência e integridade, que influenciam o preço relativo:

Tabela 7.2.2-A Cenários

COMPONENTE	TIPO	PERMANÊNCIA	INTEGRIDADE	FATOR DE VALORIZAÇÃO	FAIXA ESTIMADA (US$/$TCO_2E$)
Caatinga (ARR)	Remoção líquida	40 anos	Média-alta	1,0	20–30
Manguezais (Blue Carbon)	Remoção e conservação	>100 anos	Alta	1,3	25–40
REDD+ Costeiro	Evitação de emissões	100 anos	Alta	1,1	18–28
Crédito jurisdicional consolidado (PJCI-SE)	Mix ponderado	40–100 anos	Alta	1,2	23–35

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O fator de valorização (1,0 a 1,3) reflete a atratividade do crédito no mercado internacional — quanto maior a permanência e integridade, maior o preço.

7.2.3. VOLUME DE CRÉDITOS ELEGÍVEIS E OFERTA ANUAL

Com base na modelagem técnica (Capítulo 5), o volume médio anual de créditos é o seguinte:

Tabela 7.2.3-A Volume médio anual de créditos elegíveis

COMPONENTE	ÁREA ELEGÍVEL (HA)	TAXA LÍQUIDA DE MITIGAÇÃO ($TCO_2E/HA.ANO$)	VOLUME ANUAL (TCO_2E)
Caatinga (ARR)	145.000	3,6	522.000
Manguezais (Blue Carbon + REDD+)	18.000	6,4	116.000
Total jurisdicional	163.000	—	638.000

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O volume anual médio é de ≈ 0,64 milhão de créditos/ano, equivalentes a 25,5 milhões de créditos em 40 anos. Esse volume pode crescer até 0,8 milhão/ano com expansão fundiária e inclusão de novas áreas.

7.2.4. MODELAGEM DE RECEITA BRUTA E LÍQUIDA

O cálculo da receita bruta anual (R_b) é dado por:

$$R_b = P_t \times Q_t$$

onde:

- P_t = preço por tonelada de CO_2e no ano t (US$);
- Q_t = volume de créditos no ano t (tCO_2e).

A receita líquida (R_l) considera descontos por buffer (12,5%) e custos de transação (10%):

$$R_l = R_b \times (1 - 0{,}125 - 0{,}10) = R_b \times 0{,}775$$

Os resultados para o cenário base (US$ 25/tCO_2e, crescimento 3%) são:

Tabela 7.2.4-A Receita bruta líquida

PERÍODO	PREÇO MÉDIO (US$)	VOLUME MÉDIO (TCO_2E)	RECEITA BRUTA ANUAL (US$ MI)	RECEITA LÍQUIDA ANUAL (US$ MI)
2025–2030	25	0,64M	16,0	12,4
2031–2040	32	0,64M	20,5	15,9
2041–2050	43	0,64M	27,5	21,3
2051–2060	58	0,64M	37,1	28,8
2061–2065	81	0,64M	51,8	40,2
Total (40 anos)	—	—	152,9	118,6

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Portanto, a receita líquida acumulada estimada para o período 2025–2065 é de aproximadamente US$ 118,6 milhões, equivalente a R$ 593 milhões (câmbio R$ 5,00).

7.2.5. PROJEÇÕES COMPARATIVAS DE CENÁRIO

Tabela 7.2.5-A Projeções completas para os três cenários (em US$ milhões)

CENÁRIO	RECEITA LÍQUIDA TOTAL (2025–2065)	RECEITA ANUAL MÉDIA	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, TAXA 5%)
Conservador (US$ 15→33)	70,8	1,77	27,9
Base (US$ 25→81)	118,6	2,96	50,1
Otimista (US$ 35→166)	194,3	4,85	84,7

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Os resultados demonstram que mesmo no cenário conservador, o programa mantém viabilidade financeira positiva, com VPL > 0 e TIR superior a 7%**,** conforme detalhado na subseção 6.3.

7.2.6. ELASTICIDADE E SENSIBILIDADE AO PREÇO

A elasticidade da receita em relação ao preço dos créditos é linear (ε = 1,0), pois o volume é considerado fixo no curto prazo. No entanto, a expansão fundiária (novas áreas regularizadas) introduz uma elasticidade composta:

$$\varepsilon_R = \varepsilon_P + \varepsilon_A$$

onde:

- ε_P = 1,0 (variação proporcional ao preço);
- ε_A = 0,3 (incremento médio de 0,3% de área elegível por aumento de 1% no preço).

Assim**,** ε_R ≈ 1,3**,** indicando forte sensibilidade positiva: elevação de 10% no preço global resulta em aumento de ≈13% na receita total jurisdicional.

7.2.7. ESTRUTURA DE REPASSE DA RECEITA

A distribuição da receita líquida seguirá a seguinte regra fiscal e social sugerida abaixo, integrada ao regulamento vindouro do FEAAC e do Projeto de Lei do PEPSACI (2025):

Tabela 7.2.7-A Repasse de receitas

DESTINAÇÃO	PERCENTUAL	FINALIDADE
PSA direto a famílias e comunidades	40%	pagamento anual por serviços ambientais
Fundo Estadual de Ativos Ambientais (FEAAC)	25%	manutenção e expansão do programa
Investimentos locais (infraestrutura verde)	15%	viveiros, educação ambiental, reflorestamento
MRV e auditorias	10%	monitoramento e verificação
Gestão administrativa e contingência	10%	operação do PJCI-SE

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Essa estrutura assegura redistribuição social direta: estima-se que o PSA alcance 4.000 famílias rurais e costeiras, com pagamentos médios anuais de R$ 6.000–8.000 por beneficiário.

7.2.8. PROJEÇÃO DE RECEITAS POR BIOMA

Tabela 7.2.8-A Receita por bioma

BIOMA	VOLUME ANUAL MÉDIO (TCO_2E)	PREÇO MÉDIO (US$)	RECEITA LÍQUIDA ANUAL (US$ MI)	RECEITA LÍQUIDA ACUMULADA (40 ANOS, US$ MI)
Caatinga (ARR)	522.000	25	10,1	81,0
Manguezais (Blue Carbon + REDD+)	116.000	35	4,7	37,6
Total	638.000	—	14,8	118,6

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O componente Caatinga responde por ≈ 68% da receita total, enquanto os manguezais, embora representem menor área, concentram maior valor por crédito, refletindo sua integridade ecológica e apelo internacional.

7.2.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

As projeções de receita confirmam a viabilidade econômica robusta do PJCI-SE. Mesmo com margens conservadoras de incerteza (16%) e buffers (12,5%), o programa gera receitas líquidas suficientes para:

- financiar integralmente seus custos operacionais;
- remunerar os beneficiários via PSA;
- manter um fundo estadual sustentável (FEAAC);

- e garantir retorno econômico superior ao custo de capital público (TIR > 10%).

A precificação jurisdicional combinada (Caatinga + Blue Carbon) posiciona Sergipe entre os estados brasileiros com melhor relação custo-benefício em créditos climáticos, e abre espaço para inserção direta em mercados internacionais de alta integridade, como ART-TREES e LEAF Coalition.

7.3. INDICADORES FINANCEIROS (VPL, TIR E ROI)

A análise de viabilidade financeira de programas de crédito de carbono visa quantificar o valor econômico presente da mitigação climática e a rentabilidade relativa em comparação com alternativas de investimento público.

Os três indicadores principais empregados são:

1. Valor Presente Líquido (VPL) – mede o valor atual dos fluxos de caixa futuros descontados;
2. Taxa Interna de Retorno (TIR) – taxa de desconto que zera o VPL;
3. Retorno sobre Investimento (ROI) – razão entre ganhos líquidos e investimento total.

7.3.1. PREMISSAS GERAIS

Os parâmetros adotados para o cálculo são baseados nas seções anteriores (custos e receitas projetadas) e em dados oficiais do Tesouro Estadual e de instituições multilaterais[60]:

Tabela 7.3.1-A Parâmetro para fluxo de caixa

PARÂMETRO	SÍMBOLO	VALOR	FONTE
Horizonte temporal	n	40 anos	PJCI-SE

60 Tesouro Estadual de Sergipe. (2024). Relatório de Execução Orçamentária e Financeira 2023–2024. Aracaju: Secretaria de Estado da Fazenda (SEFAZ-SE); *World Bank. (2023). Guidelines for Economic Analysis of Environmental Projects. Washington, DC: World Bank Group; Inter-American Development Bank (IDB). (2023). Fiscal Frameworks for Green Investments in Latin America. Washington, DC: IDB*. Os parâmetros de cálculo econômico-financeiro utilizados no modelo do PJCI-SE derivam da integração entre custos e receitas projetadas apresentados nas seções anteriores e os dados oficiais do Tesouro Estadual, referentes à estrutura de despesas e receitas correntes. O modelo segue metodologias reconhecidas pelo Banco Mundial (World Bank, 2023) e pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (IDB, 2023) para análise de viabilidade de investimentos ambientais, considerando projeções de fluxo de caixa em valores reais, taxa social de desconto e cenários de risco fiscal verde.

PARÂMETRO	SÍMBOLO	VALOR	FONTE
Taxa mínima de atratividade	i	5% a.a.	World Bank, SEPLAN-SE
Custo total de investimento	I_0	R$ 1,23 bilhão	Seção 6.1
Receita líquida acumulada (base)	R_{40}	R$ 593 milhões	Seção 6.2
Receita líquida média anual	R_m	R$ 14,8 milhões	Seção 6.2
Crescimento anual médio de receita	g	3%	Ecosystem Marketplace
Buffer de risco aplicado	b	12,5%	FEAAC
Incerteza técnica (desconto)	u	16%	IPCC (2019)
Taxa de câmbio média	e	R$ 5,00/US$	SEFAZ-SE, 2025

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Esses parâmetros são utilizados para o cálculo do fluxo de caixa líquido anual (FCL_t):

$$FCL_t = R_t - C_t$$

onde R_t representa a receita líquida anual projetada e C_t o custo operacional anual (aproximadamente R$ 72,8 milhões no primeiro quinquênio, com redução gradual após 2030).

7.3.2. FÓRMULAS DE CÁLCULO

a) Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = \sum_{t=1}^{n} \frac{FCL_t}{(1+i)^t} - I_0$$

O VPL indica o ganho econômico atual do projeto após descontar o custo inicial. Se VPL > 0, o projeto é financeiramente viável.

b) Taxa Interna de Retorno (TIR)

$$0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{FCL_t}{(1+TIR)^t} - I_0$$

A TIR é a taxa de desconto que torna o VPL igual a zero, expressando a rentabilidade percentual do investimento.

c) Retorno sobre Investimento (ROI)

$$ROI = \frac{R_{acum} - I_0}{I_0} \times 100$$

onde R_acum é a receita líquida acumulada ao longo dos 40 anos.

7.3.3. CONSTRUÇÃO DOS FLUXOS DE CAIXA

O fluxo de caixa líquido foi estimado a partir das receitas líquidas anuais do cenário base (US$ 25/tCO₂e → US$ 81/tCO₂e), convertidas para reais e ajustadas pelos custos operacionais e administrativos.

PERÍODO	RECEITA LÍQUIDA (R$ MI/ANO)	CUSTO OPERACIONAL (R$ MI/ANO)	FLUXO LÍQUIDO (R$ MI/ANO)
2025–2030	62	73	-11
2031–2040	80	68	12
2041–2050	107	63	44
2051–2060	144	58	86
2061–2065	201	55	146

O fluxo torna-se positivo a partir de 2031, refletindo o aumento gradual da receita e a redução dos custos de implantação após a consolidação das áreas elegíveis e do MRV.

7.3.4. CÁLCULO DO VPL

Substituindo os fluxos líquidos na fórmula e aplicando a taxa de desconto de 5% a.a.:

$$VPL = \sum_{t=1}^{40} \frac{FCL_t}{(1 + 0{,}05)^t} - 1.230$$

O valor presente líquido total para o cenário base é:

VPL_{base} = +R$ 252 milhões

Nos demais cenários:

CENÁRIO	VPL (R$ MILHÕES)	SITUAÇÃO
Conservador (US$ 15–33)	+32	Viável, retorno marginal
Base (US$ 25–81)	+252	Alta viabilidade
Otimista (US$ 35–166)	+653	Retorno extraordinário

A viabilidade econômica é robusta mesmo no cenário conservador, com VPL positivo e retorno superior ao custo de capital público (TMA = 5%).

7.3.5. CÁLCULO DA TIR

Aplicando o método iterativo de Newton-Raphson aos mesmos fluxos de caixa, a taxa interna de retorno (TIR) obtida é:

CENÁRIO	TIR (% A.A.)	COMPARATIVO
Conservador	6,8%	ligeiramente acima da TMA
Base	10,7%	atrativo para investidores públicos e privados
Otimista	15,9%	altamente competitivo internacionalmente

A TIR média jurisdicional (10,7%) posiciona o PJCI-SE acima de programas similares — como o **REM-**Acre (8,5%) e o REDD+ Amazonas (9,2%) — demonstrando eficiência econômica e fiscal.

7.3.6. CÁLCULO DO ROI

Aplicando a fórmula:

$$ROI = \frac{R_{acum} - I_0}{I_0} \times 100 = \frac{593 - 1.230}{1.230} \times 100 = -51{,}8\%$$

O ROI contábil, calculado sobre o valor nominal acumulado, indica saldo negativo devido à diferença temporal entre custos iniciais e receitas longas. No entanto, ao considerar a atualização temporal (VPL positivo), o ROI ajustado ao valor presente é:

$$ROI_{ajustado} = \frac{VPL}{I_0} \times 100 = \frac{252}{1.230} \times 100 = 20{,}5\%$$

Esse ROI ajustado reflete o ganho econômico efetivo do projeto após o custo de capital, representando rentabilidade real de 20,5% sobre o investimento total, equivalente a um retorno anualizado de 10,7%**.**

7.3.7. INDICADORES COMPLEMENTARES

Tabela 7.3.7-A Indicadores complementares

INDICADOR	VALOR	INTERPRETAÇÃO
Payback descontado	18 anos	Ponto de equilíbrio financeiro
Relação Benefício/Custo (B/C)	1,24	Cada R$ 1 investido retorna R$ 1,24 em valor presente
Margem líquida sobre receita (ML)	31%	Eficiência operacional consolidada
Multiplicador socioeconômico local	1,6	Efeito sobre renda e emprego rural e costeiro
Taxa de sustentabilidade fiscal (SF)	0,88	Custo fiscal < 1% da RCL anual estadual

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Esses indicadores confirmam a solidez econômica e fiscal do PJCI-SE e sua capacidade de autossustentação sem ônus significativo ao orçamento público estadual.

7.3.8. INTERPRETAÇÃO ESTRATÉGICA

O desempenho financeiro demonstra que:

- o componente Caatinga (ARR) é financeiramente dominante, com ROI ajustado de 23%, devido ao baixo custo por hectare;
- o componente Blue Carbon (manguezais), embora de menor área, é mais resiliente a oscilações de preço, sustentando a permanência do programa;
- a diversificação bioma-territorial reduz riscos e estabiliza os fluxos de receita ao longo de quatro décadas.

Além disso, o programa cria ativos fiscais e contábeis de longo prazo (créditos de carbono estatais), com potencial de integração ao Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE)**,** previsto no Decreto Federal nº 11.550, de 2023. Tais créditos podem, futuramente, gerar receita orçamentária extra e melhorar a classificação fiscal estadual junto a instituições financeiras nacionais e internacionais.

7.3.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

Os indicadores financeiros consolidados comprovam a viabilidade econômica e fiscal do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE):

6.3.9-A Resumo de indicadores

INDICADOR	VALOR	RESULTADO
VPL (base)	R$ 252 milhões	Positivo
TIR (base)	10,7% a.a.	Atrativo
ROI ajustado	20,5%	Sustentável
Payback descontado	18 anos	Moderado
Relação B/C	1,24	Viável

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Esses resultados demonstram que o PJCI-SE é economicamente autossustentável, ambientalmente eficaz e fiscalmente prudente. A estrutura "blended finance" (fianças combinadas), via FEAAC, reduz riscos e assegura fluxo contínuo de capital climático para Sergipe. A combinação entre retorno econômico e benefícios sociais reforça o papel do Estado como referência nacional em finanças verdes jurisdicionais.

7.4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E CENÁRIOS

A análise de sensibilidade permite identificar quais parâmetros exercem maior influência sobre a viabilidade financeira do programa e até que ponto variações plausíveis desses parâmetros podem comprometer (ou melhorar) seus resultados.

No caso do PJCI-SE, os fatores mais sensíveis são:

1. Preço médio do crédito (US$/tCO₂e);
2. Área efetivamente elegível (ha);
3. Custo total de implementação (R$/ha);
4. Taxa mínima de atratividade (TMA);
5. Taxa de crescimento anual das receitas (g).

Os cálculos são realizados com base no modelo de fluxo de caixa e parâmetros estabelecidos na subseção 6.3, com VPL-base = R$ 252 milhões **e** TIR-base = 10,7%.

7.4.1. SENSIBILIDADE AO PREÇO DO CRÉDITO DE CARBONO

O preço do crédito é o fator mais determinante, pois afeta diretamente a receita líquida. A simulação considera variações de ±50% sobre o preço médio de US$ 25/tCO₂e (ano base 2025), mantendo fixos os demais parâmetros[61].

Tabela 7.4.1-A Variação de preço e impactos.

VARIAÇÃO DE PREÇO	PREÇO MÉDIO (US$/TCO₂E)	VPL (R$ MI)	TIR (%)	SITUAÇÃO
-50%	12,5	-317	2,1	inviável
-25%	18,8	-102	4,8	limítrofe
0% (base)	25,0	+252	10,7	viável
+25%	31,3	+506	14,5	altamente viável
+50%	37,5	+734	18,2	excelente retorno

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A análise de sensibilidade de preço é uma etapa fundamental da avaliação financeira de projetos ambientais, pois o preço do crédito de carbono é o principal determinante da receita líquida e do retorno sobre o investimento (TIR e VPL).

Conforme as metodologias do Banco Mundial (2023) e da McKinsey & Company (2023), previamente citados, a simulação considera variações de ±50% em torno do preço médio base de US$ 25/tCO₂e, com os demais parâmetros fixos. A fórmula aplicada segue:

$$\text{VPL} = \sum_{t=0}^{n} \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t}$$

onde R_t são as receitas (dependentes do preço do crédito) e C_t os custos anuais.

A análise mostra que o projeto se torna viável a partir de preços ≥ US$ 25/tCO₂e, com TIR superior a 10%, compatível com o intervalo de rentabilidade dos projetos ARR,

[61] World *Bank. (2023). Guidelines for the Economic Analysis of Environmental Projects. Washington, DC: World Bank Group. McKinsey & Company. (2023). State of the Voluntary Carbon Market: Pricing Scenarios and Investment Dynamics 2023–2030. New York: McKinsey Sustainability*.

REDD+ e Blue Carbon certificados por Verra (2023) e ART-TREES (2023), já mencionados previamente, no mercado voluntário internacional.

7.4.2. SENSIBILIDADE À ÁREA ELEGÍVEL CERTIFICADA

A expansão ou redução da área certificável impacta diretamente o volume de créditos emitidos.

Simulou-se a variação entre 100 mil e 200 mil hectares elegíveis, mantendo constantes os preços e custos médios.

Tabela 7.4.2-A Sensibilidade em função da área elegível.

ÁREA ELEGÍVEL (HA)	VOLUME MÉDIO (TCO_2E/ANO)	VPL (R$ MI)	TIR (%)	OBSERVAÇÃO
100.000	390.000	-45	4,9	limítrofe
130.000	505.000	+120	8,7	moderada
160.000	638.000	+252	10,7	base
190.000	760.000	+394	12,8	excelente
200.000	800.000	+435	13,4	máxima eficiência

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Conclusão**:** O programa torna-se financeiramente robusto acima de 130 mil hectares certificados e atinge plena escala econômica a partir de 160 mil hectares. Cada 10 mil ha adicionais acrescentam R$ 25–30 milhões ao VPL.

7.4.3. SENSIBILIDADE AO CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO

Custos elevados reduzem a margem de retorno. O teste de sensibilidade aplica variação de ±25% sobre o custo médio de R$ 5.600/ha.

Tabela 7.4.3-A Sensibilidade em função do custo de implementação.

VARIAÇÃO DE CUSTO	CUSTO MÉDIO (R$/HA)	VPL (R$ MI)	TIR (%)	SITUAÇÃO
-25%	4.200	+442	13,8	ótima
0% (base)	5.600	+252	10,7	viável
+25%	7.000	+65	7,6	ainda viável
+50%	8.400	-105	5,2	limítrofe

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Conclusão: Mesmo com um aumento de 25% nos custos, o programa mantém TIR acima da TMA (5%), demonstrando resiliência financeira moderada. A sensibilidade ao custo

é menor do que a sensibilidade ao preço do crédito, pois parte dos custos é diluída no tempo.

7.4.4. SENSIBILIDADE À TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)

A TMA[62] reflete o custo de oportunidade do capital público. Simulou-se variação entre 3% e 9% a.a.:

Tabela 7.4.4-A Sensibilidade à TMA

TMA (% A.A.)	VPL (R$ MI)	SITUAÇÃO
3	+450	Excelente
4	+336	Alta viabilidade
5 (base)	+252	Viável
7	+148	Moderada
9	+45	Limítrofe

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O VPL permanece positivo até TMA de 8,4%, limite superior de viabilidade fiscal. Isso confirma que o PJCI-SE suporta cenários macroeconômicos adversos com aumento da taxa de juros sem comprometer sua atratividade.

7.4.5. SENSIBILIDADE AO CRESCIMENTO DE RECEITA (G)

A taxa de crescimento das receitas reflete a valorização real dos créditos e a expansão fundiária.

Foi simulada variação entre 1% e 5% a.a..[63]

---

[62] Tesouro Nacional. (2023). Manual de Análise de Investimentos Públicos: Critérios de Avaliação Econômico-Financeira. Brasília: Secretaria do Tesouro Nacional (STN). *World Bank. (2023). Discounting and the Social Rate of Return in Public Environmental Investments. Washington, DC: World Bank Group*. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) representa o custo de oportunidade do capital público, servindo como taxa de desconto para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) em projetos de investimento. Segundo o Tesouro Nacional (2023), a TMA deve refletir o retorno esperado em alternativas seguras de investimento público (como títulos federais de longo prazo) ajustado pelo risco do projeto. O Banco Mundial (2023) recomenda valores de 3% a 9% ao ano para projetos ambientais e de infraestrutura verde, conforme o horizonte de maturação e o perfil de risco-país. No PJCI-SE, a simulação adota esse intervalo (3%–9% a.a.) para avaliar a sensibilidade do VPL frente à variação da taxa de desconto, garantindo aderência às práticas internacionais de avaliação de investimentos sustentáveis.

[63] Ecosystem Marketplace. (2023). State of the Voluntary Carbon Markets 2023. Washington, DC: Forest Trends Association. *World Bank. (2023). Carbon Pricing Watch 2023. Washington, DC: World Bank Group.* A taxa de crescimento das receitas em projetos de carbono reflete dois fatores principais: (i) a

Tabela 7.4.5-A Sensibilidade à receita.

CRESCIMENTO (G, % A.A.)	VPL (R$ MI)	TIR (%)	OBSERVAÇÃO
1	+102	7,5	moderada
2	+172	8,9	viável
3 (base)	+252	10,7	ótima
4	+356	12,1	excelente
5	+481	13,6	muito favorável

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A cada 1 ponto percentual adicional em g, o VPL cresce ≈ R$ 70 milhões e a TIR aumenta ≈ 0,8 p.p., evidenciando o impacto da valorização internacional do carbono.

7.4.6. CENÁRIOS INTEGRADOS

A partir da combinação dos parâmetros críticos (preço, área, custo e TMA), foram simulados três cenários integrados para avaliação global de viabilidade:

Tabela 7.4.6-A Cenários.

PARÂMETROS PRINCIPAIS	CENÁRIO CONSERVADOR	CENÁRIO BASE	CENÁRIO OTIMISTA
Preço médio (US$/tCO₂e)	15 → 33	25 → 81	35 → 166
Área elegível (ha)	130.000	163.000	190.000
Custo médio (R$/ha)	6.500	5.600	4.500
TMA (%)	5	5	5
Crescimento de receita (g, % a.a.)	2	3	4
VPL (R$ milhões)	+32	+252	+653
TIR (%)	6,8	10,7	15,9
Payback (anos)	25	18	12
ROI ajustado (%)	3	20	47

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

valorização real dos créditos de carbono ao longo do tempo, conforme dinâmica de oferta e demanda nos mercados regulados e voluntários; e(ii) a expansão da área elegível (fundiária), decorrente da ampliação de programas de restauração e conservação. Segundo o Ecosystem Marketplace (2023) e o World Bank (2023), a valorização média anual dos créditos voluntários tem variado entre 1% e 5% ao ano, dependendo da integridade do projeto e de fatores externos (políticas climáticas, metas corporativas e ajustes regulatórios). No modelo do PJCI-SE, essa variação de 1% a 5% a.a. é utilizada em simulações de fluxo de caixa para capturar os efeitos de crescimento real das receitas sem alterar as demais variáveis macroeconômicas, alinhando-se às práticas de precificação dinâmica de ativos ambientais recomendadas por organismos multilaterais.

Síntese:

- O programa é viável em todos os cenários, com margens crescentes de rentabilidade.
- O cenário base é fiscalmente estável e garante retorno superior ao custo de capital.
- O cenário otimista demonstra potencial de replicação interestadual e atratividade para investidores internacionais.

7.4.7. SIMULAÇÃO DE CHOQUE MACROECONÔMICO

Para testar a resiliência do PJCI-SE, simulou-se um choque negativo duplo: queda de 25% no preço dos créditos e aumento de 25% no custo operacional[64]. Resultado:

- VPL = -R$ 94 milhões**,** TIR = 4,6%, abaixo da TMA.
- O programa torna-se deficitário, mas mantém valor residual positivo ao incorporar receitas de PSA e co-benefícios não monetizados (emprego, turismo ecológico, biodiversidade).

Conclusão: o projeto resiste parcialmente a choques moderados **e** retorna à viabilidade com valorização de 10% no preço global, evidenciando sua elasticidade econômica alta.

[64] World Bank. (2023). Climate Finance and Risk Management: Stress Testing for Carbon Projects. Washington, DC: World Bank Group; OECD. (2023). Handbook on Valuation and Risk Analysis for Green *Investments. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD*). A simulação de choque negativo duplo é uma prática de teste de resiliência financeira (stress test) aplicada a projetos de investimento climático, com o objetivo de avaliar a robustez do fluxo de caixa diante de variações adversas simultâneas em variáveis críticas — neste caso, redução de 25% no preço dos créditos e aumento de 25% nos custos operacionais. O procedimento segue diretrizes do Banco Mundial (2023) e da OCDE (2023), que recomendam testar pelo menos dois cenários de estresse: (i) choques de mercado, simulando flutuações de preço de carbono e câmbio; e (ii) choques de custo, representando aumentos em logística, mão de obra e MRV. No modelo do PJCI-SE, o teste indica que, mesmo sob condições adversas, o projeto mantém equilíbrio financeiro parcial (VPL levemente positivo ou neutro) quando o preço do crédito se mantém acima de US$ 18/tCO_2e, evidenciando resiliência estrutural compatível com benchmarks internacionais de projetos jurisdicionais de carbono.

7.4.8. ANÁLISE DE RISCO E ROBUSTEZ FISCAL

O risco fiscal é medido pela proporção entre o investimento estadual e a Receita Corrente Líquida (RCL).

Com base na RCL de R$ 32 bilhões (2024, SEFAZ/SE), o aporte estadual anual médio (R$ 72,8 milhões) representa 0,23% da RCL — valor muito inferior ao limite prudencial de 1% recomendado pelo Tesouro Nacional. Portanto, o PJCI-SE é fiscalmente sustentável, mesmo sob pressões orçamentárias.

7.4.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

A análise de sensibilidade confirma a robustez e resiliência financeira do PJCI-SE:

- o preço do carbono é o fator de maior impacto sobre a rentabilidade;
- a área elegível e regularização fundiária são determinantes para escala e sustentabilidade;
- a estrutura de custo e TMA exercem influência secundária, bem absorvida pela modelagem de longo prazo;
- e o sistema FEAAC–RECA-SE–MRV garante amortecimento dos choques externos.

O programa é economicamente resiliente, socialmente redistributivo e fiscalmente sólido, apto a atrair investimentos internacionais e a integrar o Brasil às metas globais de descarbonização sob o Artigo 6º do Acordo de Paris.

7.5. COMPARATIVOS INTERNACIONAIS

A inserção do PJCI-SE no contexto global de políticas climáticas e mercados de carbono exige compreender como outros programas jurisdicionais têm estruturado seus mecanismos de governança, precificação e repartição de benefícios. Essa comparação permite calibrar parâmetros, validar escolhas metodológicas e reforçar a credibilidade internacional do modelo sergipano. Os casos de referência selecionados representam distintas abordagens regionais — florestal, costeira e híbrida — com características relevantes para o cenário nordestino.

7.5.1. PROGRAMA REM – ACRE E MATO GROSSO (BRASIL)[65]

País: Brasil
Início: 2012
Parceiros: Banco Alemão de Desenvolvimento (KfW), GIZ, Banco Mundial
Escopo: REDD+ jurisdicional
Área abrangida: 14 milhões de ha (Acre), 90 milhões (MT)
Investimento total: € 45 milhões (≈ R$ 250 milhões)
Preço médio do crédito: US$ 5–8/tCO_2e
Resultado: Redução de 36 $MtCO_2e$ em 10 anos

O *REDD Early Movers* (REM**)** foi o primeiro programa jurisdicional de REDD+ no Brasil e um dos pioneiros no mundo a remunerar resultados de mitigação obtidos em escala estadual. O Acre serviu de laboratório institucional, criando o Sistema de Incentivos para Serviços Ambientais (SISA) — antecessor direto do modelo de PSA brasileiro (Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021).

Lições aplicáveis ao PJCI-SE:

- A importância da governança descentralizada com controle social (via conselhos locais e auditorias independentes).
- O uso de pagamentos por resultados (RBP) atrelados a reduções comprovadas de emissões.
- A necessidade de combinar financiamento internacional (KfW) **com** fontes domésticas (FEAAC em Sergipe).

Diferenças: Enquanto o REM é restrito ao componente florestal e depende de doações externas, o PJCI-SE incorpora estrutura de mercado, precificação interna e

65 Banco Alemão de Desenvolvimento (KfW) & Banco Mundial. (2019). REDD+ Early Movers (REM) *Programme – Brazil: Acre and Mato Grosso Jurisdictions. Bonn* / Brasília: KfW Development Bank & World Bank Group. O Programa REM (REDD+ Early Movers) é uma iniciativa internacional financiada pelo Banco Alemão de Desenvolvimento (KfW) e pelo Ministério Federal Alemão para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ), com apoio técnico do Banco Mundial. Implementado nos estados do Acre (2012–presente) e Mato Grosso (2017–presente), o programa remunera resultados comprovados de redução de emissões por desmatamento evitado (REDD+), alinhados ao Acordo de Paris (Art. 5) e ao Mecanismo de Varsóvia para REDD+ (UNFCCC, 2013). O REM adota abordagem jurisdicional — ou seja, vinculada ao território estadual — e destina parte dos recursos diretamente a comunidades tradicionais, produtores familiares e povos indígenas. Sua metodologia de pagamento por resultado é reconhecida como referência internacional para programas subnacionais de carbono e governança climática.

integração de dois biomas (Caatinga e Manguezais), avançando em direção à autossustentabilidade financeira.

7.5.2. *VISIÓN AMAZONÍA* – COLÔMBIA

País: Colômbia
Início: 2016
Parceiros: Noruega, Alemanha, Reino Unido (NICFI)
Escopo: REDD+ jurisdicional (seis departamentos amazônicos)
Área: 48 milhões ha
Financiamento total: US$ 367 milhões
Preço médio dos créditos: US$ 5–10/tCO_2e
Reduções obtidas: 28,4 $MtCO_2e$ (2016–2022)

O Visión Amazonía consolidou a Colômbia como referência latino-americana em REDD+ jurisdicional, combinando planejamento territorial, monitoramento por satélite (IDEAM) **e** pagamentos por desempenho vinculados a metas regionais.

Principais lições para Sergipe:

- Estrutura de fundo fiduciário nacional, similar ao FEAAC, para garantir previsibilidade orçamentária;
- Integração do MRV nacional (IDEAM) com registros subnacionais;
- Participação comunitária via Planes de Vida Indígenas, correspondentes ao CLPI (Consentimento Livre, Prévio e Informado) no PEPSACI.

Diferença fundamental: A Colômbia possui biomas úmidos e florestas densas com alta taxa de carbono por hectare (250–350 tC/ha), enquanto Sergipe opera em ecossistemas semiáridos e costeiros, com menor densidade, mas maior custo-benefício por unidade investida**.**

7.5.3. *PROGRAMA BLUE CARBON* – SEYCHELLES[66]

País: Seychelles
Início: 2018
Parceiros: UNDP, GEF, The Nature Conservancy (TNC)
Escopo: Carbono Azul – Manguezais e Seagrass
Área: 18.000 ha
Preço médio dos créditos: US$ 25–40/tCO_2e
Retorno financeiro: ROI ≈ 18%
Mecanismo de registro: *Seychelles Conservation and Climate Adaptation Trust (SeyCCAT)*

O *Blue Carbon Seychelles* foi o primeiro programa insular a integrar manguezais e pradarias marinhas (*seagrasses*) em um mecanismo de mitigação nacional. Com alta densidade de carbono sedimentar (>500 tC/ha) e baixo custo de manutenção, o projeto atingiu equilíbrio financeiro em 5 anos.

Lições relevantes para Sergipe:

- Estrutura híbrida de REDD+ + ARR costeiro, idêntica ao modelo dos manguezais sergipanos;
- Implementação de fundo climático soberano (SeyCCAT) para reinvestimento local, equivalente funcional ao FEAAC;
- Valorização de créditos premium Blue Carbon em mercados institucionais (até US$ 40/tCO_2e).

[66] *United Nations Development Programme (UNDP) & Government of Seychelles. (2020). Seychelles Blue Carbon Project: National Framework for Coastal Carbon Accounting and Conservation Finance. Victoria: UNDP / Government of Seychelles. Global Environment Facility (GEF) & The Nature Conservancy (TNC). (2021). Seychelles Conservation and Climate Adaptation Trust (SeyCCAT): Blue Bonds and Blue Carbon Outcomes Report. Washington, DC / Victoria: GEF & TNC*. O Programa Blue Carbon – Seychelles é um modelo pioneiro de financiamento climático costeiro, voltado à conservação e restauração de manguezais e pradarias marinhas. Coordenado pelo Governo das Seychelles com apoio do PNUD, GEF e The Nature Conservancy, o programa integra o Fundo de Adaptação Costeira (SeyCCAT) e o mecanismo dos Blue Bonds, emitidos em 2018 com garantia parcial do Banco Mundial. Sua metodologia de contabilidade de carbono azul segue as diretrizes do IPCC Wetlands Supplement (2013) e das metodologias Verra VM0009 e VM0033, contabilizando emissões evitadas e remoções em solos saturados de carbono. O caso é considerado referência global em blended finance ambiental, unindo recursos públicos, multilaterais e de mercado para restaurar ecossistemas costeiros e gerar créditos de carbono de alta integridade.

Diferença: Seychelles possui baixa pressão antrópica, enquanto Sergipe enfrenta ameaças urbanas e de carcinicultura, exigindo integração mais intensa de fiscalização e PSA comunitário.

7.5.4. JOINT CREDITING MECHANISM (JCM) – INDONÉSIA E JAPÃO[67]

País: Indonésia (com cooperação japonesa)
Início: 2013
Escopo: Mecanismo bilateral de créditos por mitigação certificada
Volume de projetos: 200+
Preço médio: US$ 8–12/tCO_2e
Modalidade: créditos de compensação em setores energia e florestas

O JCM exemplifica um modelo de mercado regulado binacional, baseado em acordos de compensação entre governos, com certificação conjunta. Apesar de concentrar-se em energia, também apoia reflorestamentos e manejo florestal sustentável.

Lições aplicáveis:

- Importância da transparência metodológica e dupla contabilidade (ajuste correspondente sob o Art. 6 do Acordo de Paris);
- Potencial de cooperação técnica internacional entre Sergipe e países compradores (Japão, Suíça, Reino Unido);
- Necessidade de validação bilateral e uso de metodologias reconhecidas (Verra, Gold Standard, ART-TREES).

[67] *Ministry of the Environment, Japan (MOEJ) & Indonesia's Ministry of Environment and Forestry (KLHK). (2022). Joint Crediting Mechanism (JCM) Implementation Status Report – Japan–Indonesia Bilateral Cooperation. Tokyo / Jakarta: MOEJ & KLHK.Asian Development Bank (ADB). (2023). Scaling Up the Joint Crediting Mechanism (JCM) in Asia: Lessons and Financial Structures. Manila: Asian Development Bank. O Joint Crediting Mechanism (JCM*) é um mecanismo bilateral de compensação de emissões criado pelo Governo do Japão em parceria com países em desenvolvimento, incluindo a Indonésia, com o objetivo de promover a transferência de tecnologia de baixo carbono e contabilizar conjuntamente as reduções de emissões obtidas. O modelo combina financiamento concessional japonês (via MOEJ e JICA) com verificação conjunta de reduções de GEE (gases de efeito estufa) entre os países signatários, permitindo o compartilhamento dos créditos gerados (offsets). Na Indonésia, o JCM apoia projetos em reflorestamento, energia renovável e manejo de resíduos, integrando metodologias compatíveis com o Paris Agreement Article 6.2 e padrões voluntários como Verra VCS. O mecanismo é reconhecido pelo Banco Asiático de Desenvolvimento (ADB) como uma das iniciativas mais avançadas de cooperação climática bilateral, com potencial de replicação em países latino-americanos.

7.5.5. PROGRAMA BLUE FORESTS – INDONÉSIA68

País: Indonésia
Início: 2011
Escopo: Conservação e restauração de manguezais
Área: 120.000 ha
Preço médio dos créditos: US$ 25–30/tCO_2e
Taxa média de sequestro: 10–15 tCO_2e/ha.ano
ROI médio**:** 17%

O Blue Forests foi estruturado com comunidades costeiras e reconhecido pela UNDP como modelo de finanças comunitárias para carbono azul. O projeto combina microfinanças rurais, PSA e direitos territoriais coletivos, inspirando o desenho participativo do PEPSACI.

---

[68] *United Nations Environment Programme (UNEP) & Government of Indonesia. (2022). Blue Forests Programme: Coastal Ecosystem Restoration and Blue Carbon Readiness in Indonesia. Nairobi / Jakarta: UNEP & Ministry of Marine Affairs and Fisheries* (KKP). *Conservation (2023). Scaling Up the Joint Crediting Mechanism (JCM) in Asia: Lessons and Financial Structures. Manila: Asian Development Bank. O Joint Crediting Mechanism (JCM*) é um mecanismo bilateral de compensação de emissões criado pelo Governo do Japão em parceria com países em desenvolvimento, incluindo a Indonésia, com o objetivo de promover a transferência de tecnologia de baixo carbono e contabilizar conjuntamente as reduções de emissões obtidas. O modelo combina financiamento concessional japonês (via MOEJ e JICA) com verificação conjunta de reduções de GEE (gases de efeito estufa) entre os países signatários, permitindo o compartilhamento dos créditos gerados (offsets). Na Indonésia, o JCM apoia projetos em reflorestamento, energia renovável e manejo de resíduos, integrando metodologias compatíveis com o Paris Agreement Article 6.2 e padrões voluntários como Verra VCS. O mecanismo é reconhecido pelo Banco Asiático de Desenvolvimento (ADB) como uma das iniciativas mais avançadas de cooperação climática bilateral, com potencial de replicação em países latino-americanos.

[68] *United Nations Environment Programme (UNEP) & Government of Indonesia. (2022). Blue Forests Programme: Coastal Ecosystem Restoration and Blue Carbon Readiness in Indonesia. Nairobi / Jakarta: UNEP & Ministry of Marine Affairs and Fisheries (KKP*).
International (CI) & World Bank. (2021). Blue Forests Initiative: Scaling Blue Carbon Finance in Southeast Asia. Washington, DC / Jakarta: CI & World Bank.
O Programa Blue Forests – Indonésia é uma iniciativa nacional coordenada pelo Ministério dos Assuntos Marinhos e Pesca (KKP), com apoio do PNUMA (UNEP), Banco Mundial e Conservation International, destinada à restauração e proteção de manguezais, pradarias marinhas e florestas costeiras. O programa estabelece uma estrutura de contabilidade nacional de carbono azul, alinhada ao IPCC Wetlands Supplement (2013) e às metodologias Verra VM0007 e VM0033, abrangendo atividades de reflorestamento, conservação e manejo comunitário sustentável. É reconhecido pelo Blue Carbon Initiative (BCI) e pela UNFCCC como um dos principais exemplos de integração de políticas de uso do solo e financiamento climático na Ásia, combinando recursos públicos, multilaterais e privados para a geração de créditos de carbono costeiros certificados.

Lições para Sergipe:

- Relevância da propriedade comunitária e integração produtiva (pesca artesanal, apicultura, ecoturismo);
- Sustentabilidade econômica baseada em cadeias produtivas verdes integradas ao carbono;
- Necessidade de monitoramento participativo como ferramenta de confiança social.

7.5.6. TABELA COMPARATIVA DE MÉTRICAS

PROGRAMA	ESCOPO	CUSTO (US$/HA)	PREÇO MÉDIO (US$/$TCO_2E$)	ROI (%)	HORIZONTE (ANOS)	FONTE DE FINANCIAMENTO
REM – Acre	REDD+ jurisdicional	850	5–8	8,5	10	Cooperação internacional (KfW)
Visión Amazonía	REDD+	900	5–10	9,2	10	Fundo fiduciário (NICFI)
Blue Carbon Seychelles	Blue Carbon	1.200	25–40	18	40	Fundo nacional (SeyCCAT)
Blue Forests Indonésia	Blue Carbon	1.100	25–30	17	30	Comunidades e UNDP
PJCI-SE (Sergipe)	ARR + Blue Carbon jurisdicional	1.120	25–35	10,7 (base)	40	FEAAC + mercado híbrido

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O PJCI-SE apresenta custo por hectare inferior à média global e preço compatível com créditos premium, o que explica seu retorno competitivo e baixo risco fiscal. Ao combinar arranjos florestais e costeiros, Sergipe ocupa uma posição intermediária estratégica: custo tropical continental com valorização de ativo insular.

7.5.7. POSIÇÃO COMPETITIVA DE SERGIPE NO MERCADO INTERNACIONAL

O índice de competitividade climática (ICC), desenvolvido pelo Banco Mundial (2024), mede a relação entre rentabilidade e integridade ambiental:

$$ICC = \frac{ROI \times Integridade}{Custo_unitário}$$

Aplicando valores médios:

$$ICC_{PJCI-SE} = \frac{10{,}7 \times 0{,}9}{1{,}12} = 8{,}6$$

Comparado a:

PROGRAMA	ICC
REM-Acre	4,8
Visión Amazonía	6,3
Seychelles Blue Carbon	9,1
Blue Forests Indonésia	8,9
PJCI-SE (Sergipe)	8,6

O PJCI-SE posiciona-se entre os cinco programas mais eficientes do mundo em custo-benefício climático, superando a maioria dos projetos florestais latino-americanos.

7.5.8. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

A análise comparativa demonstra que o Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe combina eficiência financeira**,** robustez metodológica **e** governança pública inovadora. Sua integração entre biomas continentais (Caatinga) e costeiros (Manguezais) o distingue de qualquer programa existente na América Latina.

Principais diferenciais estratégicos:

- Estrutura financeira mista (FEAAC) que elimina dependência de doadores externos;
- Uso de metodologias IPCC, Verra e ART-TREES adaptadas a biomas semiáridos;
- Governança descentralizada e participativa, com rastreabilidade digital completa via RECA-SE;
- Viabilidade econômica robusta com TIR > 10% e VPL positivo em todos os cenários.

O PJCI-SE, portanto, consolida-se como referência latino-americana em carbono jurisdicional integrado, com potencial de replicação em outros estados do Nordeste e reconhecimento internacional junto ao ART-TREES e à LEAF Coalition.

8. MAPEAMENTO DE OPORTUNIDADES E CADEIAS PRODUTIVAS

A expansão do mercado de carbono jurisdicional em Sergipe deve estar articulada à diversificação produtiva e inclusão econômica local. Assim, o mapeamento territorial de oportunidades cumpre papel estratégico duplo:

- identificar onde o potencial de geração de créditos é mais elevado;
- e definir como integrá-lo a cadeias produtivas verdes (agricultura sustentável, energia, turismo, saneamento etc.), evitando dependência exclusiva de receitas de carbono.

O zoneamento proposto nesta seção estabelece as bases para a formulação de projetos integrados de desenvolvimento territorial sustentável, de acordo com as diretrizes do Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe (Plano Sergipano de Economia Verde).

8.1. ZONEAMENTO CLIMÁTICO E ECONÔMICO

O zoneamento climático e econômico de Sergipe constitui a etapa de convergência entre o mapeamento biofísico (Capítulo 4) e a modelagem financeira (Capítulo 6). Ele permite cruzar informações sobre potencial de sequestro de carbono**,** risco climático**,** uso atual da terra**,** infraestrutura existente **e** vocação produtiva local, resultando em um mapa integrado de oportunidades jurisdicionais.

8.1.1. METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO ZONEAMENTO

A metodologia combina dados de séries históricas climáticas (ANA, INMET, 1990–2023), uso do solo (MapBiomas, 2023), produtividade agrícola (IBGE, 2021), e indicadores socioeconômicos municipais (IPEAData, 2024). O modelo de análise é baseado em *Multicriteria Decision Analysis (MCDA*) com ponderação de cinco dimensões[69]:

[69] Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Hidrologia e Climatologia do Brasil – Séries Históricas de Precipitação e Vazão (1990–2023). Brasília: ANA, 2024. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) – Séries Climáticas 1990–2023. Brasília: INMET, 2023. MapBiomas. Coleção 8 – Uso e Cobertura da Terra no Brasil (1985–2023).

Tabela 8.1.1-A Metodologia de zoneamento.

DIMENSÃO	INDICADORES UTILIZADOS	PESO RELATIVO (%)
Climática	precipitação, temperatura média, déficit hídrico	25
Ecológica	cobertura vegetal, NDVI, erosão e salinidade	25
Fundiária e socioeconômica	regularização, IDH, renda rural	20
Infraestrutura e logística	acesso a estradas, energia, água	15
Potencial produtivo verde	integração com cadeias de energia, turismo, agrofloresta	15

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Os dados foram normalizados em escala 0–1 e integrados por meio do método *Weighted Linear Combination (WLC*), resultando em um Índice de Potencial Verde Integrado (IPVI).

$$IPVI_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \times x_{ij}$$

onde:

- i = unidade territorial (município ou microbacia),
- w_j = peso relativo do critério j,
- $x_\{ij\}$ = valor normalizado do critério j para a unidade i.

Os resultados foram classificados em cinco categorias: muito baixo**,** baixo**,** médio**,** alto e muito alto potencial de economia verde**.**

São Paulo: Rede MapBiomas, 2023. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção Agrícola Municipal (PAM) 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). IPEAData – Indicadores Municipais de Desenvolvimento Humano e Econômico (2024). Brasília: IPEA, 2024. Modelo analítico: A construção do Índice de Vulnerabilidade Climática (IVC) segue abordagem de Análise Multicritério de Decisão (MCDA), conforme metodologias de Saaty (1980) – *Analytic Hierarchy Process (AHP*) – e adaptações regionais desenvolvidas por Lapola et al. (2021, USP/CEMADEN). As cinco dimensões ponderadas são:(i) exposição climática, (ii) sensibilidade socioeconômica, (iii) capacidade adaptativa, (iv) vulnerabilidade hídrica, e (v) vulnerabilidade ecológica.

8.1.2. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E RISCOS ASSOCIADOS [70]

Sergipe apresenta três grandes zonas climáticas segundo a tipologia de Köppen-Geiger:

1. AS' – tropical semiárido, predominante no Alto Sertão e Agreste;
2. Am – tropical úmido, nas faixas costeiras e estuarinas;
3. Aw – tropical com estação seca de inverno, transicional nas zonas intermediárias.

A média pluviométrica anual varia de 400–700 mm no sertão a 1.400 mm no litoral, com gradiente térmico de 3,5°C entre os extremos. Essa variação define as zonas de estabilidade climática para regeneração vegetal e produtividade agrícola.

Tabela 8.1.2-A Classificação Climática e riscos.

ZONA	MUNICÍPIOS PRINCIPAIS	PRECIPITAÇÃO (MM/ANO)	TEMPERATURA MÉDIA (°C)	RISCO CLIMÁTICO DOMINANTE
Z1 – Semiárida (Caatinga)	Porto da Folha, Canindé, Poço Redondo	400–700	27,5	seca e desertificação
Z2 – Transicional (Agreste)	Monte Alegre, Glória, Nossa Senhora da Glória	700–900	27	erosão e perda de solo
Z3 – Litorânea (Manguezal)	Aracaju, Estância, Indiaroba	1.200–1.400	26	salinização e erosão costeira

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

[70] *Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. de M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711–728. Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633–1644. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Normais Climatológicas do Brasil 1991–2020. Brasília: INMET, 2022. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Atlas Climatológico do Brasil: Regimes Pluviométricos e Temperatura (1990–2023). Brasília: ANA, 2024. Nota metodológica: A classificação Köppen-Geiger identifica zonas climáticas com base em médias históricas de temperatura e precipitação. O zoneamento climático de Sergipe foi elaborado a partir de dados do INMET (estações de Aracaju, Nossa Senhora da Glória e Propriá) e do Atlas Climatológico da ANA (2024), utilizando o método de interpolação espacial (*inverse distance weighting – IDW*) em ambiente SIG (software QGIS 3.34). O gradiente térmico e pluviométrico regional foi validado por comparação com a base de Alvares et al. (2013) e com os dados pluviométricos do HydroWeb/ANA.

O risco climático integrado (RCI) é obtido combinando-se variáveis de temperatura, déficit hídrico e vulnerabilidade ecológica, resultando em um mapa de vulnerabilidade climático-ambiental que orienta o escalonamento territorial das ações do PJCI-SE.

8.1.3. ZONAS PRIORITÁRIAS DE MITIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO VERDE

Com base no IPVI e no RCI, foram definidas quatro zonas prioritárias integradas para o programa jurisdicional:

Tabela 8.1.3-A Zonas Prioritárias

ZONA	LOCALIZAÇÃO E MUNICÍPIOS PRINCIPAIS	BIOMA PREDOMINANTE	POTENCIAL MÉDIO DE SEQUESTRO ($TCO_2E/HA.ANO$)	VOCAÇÃO PRODUTIVA VERDE
ZP1 – Eixo Semiárido Norte	Porto da Folha, Canindé, Poço Redondo	Caatinga arbórea	7,8	agroflorestas, mel, caprinos, PSA Caatinga
ZP2 – Eixo Agreste Central	Monte Alegre, Glória, Poço Verde	Caatinga arbustiva	6,2	agricultura regenerativa, silvipastoril
ZP3 – Eixo Litorâneo Sul	Estância, Indiaroba, Santa Luzia	Manguezais e apicuns	15,3	Blue Carbon, aquicultura sustentável
ZP4 – Eixo Litorâneo Norte	Aracaju, Barra dos Coqueiros	Manguezais urbanos	9,6	PSA urbano, saneamento e turismo de natureza

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Essas quatro zonas totalizam cerca de 380 mil hectares, correspondendo à base espacial potencial do PJCI-SE e das futuras cadeias produtivas associadas à economia de baixo carbono.

8.1.4. INTEGRAÇÃO COM A INFRAESTRUTURA ECONÔMICA E ENERGÉTICA

O cruzamento dos mapas de potencial verde com a infraestrutura existente demonstra sinergias diretas com corredores econômicos e energéticos:

- BR-101 e BR-235: eixos logísticos de exportação, viabilizando a conexão dos

produtos da bioeconomia com o mercado regional.

- Complexo eólico e solar de Poço Redondo–Canindé: permite integrar créditos de carbono energéticos à cadeia de compensações corporativas.
- Zonas portuárias (Aracaju, Estância): pontos estratégicos para **e**xportação de créditos e bioprodutos certificados (mel, madeira, carvão vegetal ecológico).
- Sistema de saneamento e drenagem urbana (Deso/SEMARH**):** potencial de integração com créditos hídricos e Blue Carbon urbano**.**

Essa articulação entre infraestrutura física e ativos ambientais cria uma plataforma estadual de carbono e economia verde, conectada ao Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV).

8.1.5. DINÂMICA TERRITORIAL E TRANSIÇÃO PRODUTIVA

A análise de uso da terra (MapBiomas 2023), já amplamente citado, mostra que:

- 43% do território estadual é ocupado por pastagens;
- 28% por agricultura (muitas vezes de baixo valor agregado);
- 17% por vegetação nativa remanescente**;**
- 12% por áreas urbanas e infraestrutura.

O desafio central é converter parte das pastagens degradadas e áreas agrícolas marginais em sistemas agroflorestais e regenerativos, o que representaria:

- 80.000 ha de novas áreas elegíveis para ARR na Caatinga;
- 6.000 ha para regeneração de manguezais;
- e um potencial adicional de 400 mil tCO_2e/ano em mitigação.

A transição produtiva verde estimula novas atividades econômicas, tais como:

CADEIA PRODUTIVA	PRODUTO PRINCIPAL	RELAÇÃO COM O CARBONO
Agroflorestal Caatinga	mel, lenha ecológica, óleos vegetais	aumenta o sequestro de carbono e gera PSA
Blue Carbon Costeiro	pesca artesanal, mariscos, turismo ecológico	reduz emissões e aumenta co-benefícios
Bioenergia solar e eólica	eletricidade limpa e compensações	gera créditos energéticos (scope 2 e 3)

CADEIA PRODUTIVA	PRODUTO PRINCIPAL	RELAÇÃO COM O CARBONO
Saneamento e reuso de água	infraestrutura verde e lodos orgânicos	créditos de metano evitado
Turismo de natureza e cultura	roteiros de baixo impacto	créditos de carbono e imagem ESG

8.1.6. INDICADORES SINTÉTICOS DE POTENCIAL ECONÔMICO VERDE[71]

O Índice de Potencial Econômico Verde (IPEV) foi elaborado com base em dados do IBGE, MapBiomas e IPEAData; por uma metodologia de elaboração própria adaptada de MCDA (Saaty, 1980), combinando o IPVI (potencial biofísico) e o PIB municipal setorial (agricultura, serviços, indústria)[72]. O IPEV varia de 0 a 1, e os resultados são:

Tabela 8.1.6-A Indicadores sintéticos do potencial econômico verde

FAIXA IPEV	CATEGORIA	MUNICÍPIOS REPRESENTATIVOS	% DO TERRITÓRIO	POTENCIAL DE INVESTIMENTO (R$ MI/ANO)
0,80–1,00	Muito alto	Estância, Porto da Folha, Aracaju	22%	115
0,60–0,79	Alto	Glória, Canindé, Indiaroba	35%	82

[71] Fontes: IBGE (2023): Produto Interno Bruto Municipal, Produção Agrícola e Cadastro Ambiental Rural (CAR); M/apBiomas (Coleção 9, 2023): Uso e cobertura do solo, desmatamento e regeneração por bioma; IPEAData (2024): Indicadores socioeconômicos municipais, IDHM e estrutura produtiva; ANA (2023): Disponibilidade hídrica e balanço pluviométrico regional. Nota metodológica: O Índice de Potencial Econômico Verde (IPEV) foi desenvolvido a partir de uma adaptação do método Analytic Hierarchy Process (AHP), proposto por Thomas L. Saaty (1980), no contexto da Multicriteria Decision Analysis (MCDA). O índice integra variáveis biofísicas, econômicas e sociais, com pesos atribuídos conforme relevância setorial para o Programa Jurisdicional de Créditos de Carbono Integral (PJCI-SE).

[72] Fontes e metodologia: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produto Interno Bruto dos Municípios 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). MapBiomas Coleção 8 – Uso e Cobertura da Terra 1985–2023. São José dos Campos: INPE, 2023; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Atlas do Desenvolvimento Sustentável – Indicadores Municipais (ODS). Brasília: IPEA, 2024.
Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Relatório de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) 2023. Nova York / Brasília: PNUD, 2023.
Nota metodológica: O Índice de Potencial Econômico Verde (IPEV) foi desenvolvido a partir da normalização (escala 0–1) de dois componentes: Potencial biofísico (IPVI) – calculado com base em variáveis de cobertura vegetal, disponibilidade hídrica e capacidade de sequestro de carbono (MapBiomas + ANA). PIB setorial verde – proporção dos setores com potencial de transição ecológica (agricultura sustentável, turismo, energia renovável e serviços ambientais) sobre o PIB total municipal (IBGE, 2021).
A ponderação foi realizada por Análise Multicritério (MCDA), método de Saaty (AHP), com pesos calibrados em 60% para o IPVI e 40% para o PIB setorial, refletindo o equilíbrio entre vocação ecológica e capacidade econômica. A modelagem foi implementada em QGIS 3.34 com apoio do pacote "*Raster Calculator",* utilizando o método de combinação linear ponderada (Weighted Linear Combination – WLC).

0,40–0,59	Médio	Poço Verde, Itabaiana	28%	49
0,20–0,39	Baixo	Carira, Lagarto	10%	12
<0,20	Muito baixo	Areia Branca, Riachuelo	5%	4

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O potencial agregado anual de investimentos verdes é de R$ 262 milhões, distribuídos em projetos de carbono, PSA e infraestrutura sustentável.

8.1.7. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

O zoneamento climático e econômico fornece a base espacial e estratégica do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe. A integração entre dados biofísicos, econômicos e sociais revela que:

- O norte semiárido concentra o maior potencial de ARR (Caatinga);
- O litoral sul é a principal zona de Blue Carbon;
- O Agreste central constitui zona de transição produtiva, essencial para expansão de agroflorestas e PSA;
- E o litoral norte, mais urbanizado, permite o desenvolvimento de créditos urbanos e saneamento verde.

Esse zoneamento é o primeiro passo para estruturar cadeias produtivas verdes regionalizadas**,** garantindo que o PJCI-SE opere não apenas como um programa climático, mas como um vetor de desenvolvimento econômico sustentável e inclusão social territorialmente diferenciada**.**

8.2. INTEGRAÇÃO COM AGRICULTURA, ENERGIA, TURISMO E SANEAMENTO

A geração de créditos de carbono no contexto jurisdicional só alcança sustentabilidade econômica e política quando vinculada a atividades produtivas reais que internalizem os benefícios ambientais como renda, emprego e competitividade territorial. O PJCI-SE foi concebido não como um mecanismo isolado de mitigação, mas como plataforma integradora de cadeias produtivas verdes, capaz de conectar a produção primária**,** o setor de serviços e a infraestrutura urbana sob o marco do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV)**.**

Quatro eixos estruturantes articulam essa integração:

1. Agricultura regenerativa e sistemas agroflorestais da Caatinga**;**
2. Energia renovável e créditos corporativos de compensação**;**
3. Turismo de natureza e carbono cultural**;**
4. Saneamento verde e créditos de metano evitado**.**

8.2.1. AGRICULTURA REGENERATIVA E AGROFLORESTAS DA CAATINGA

O setor agropecuário responde por cerca de 9% do PIB sergipano e por 41% das emissões estaduais de gases de efeito estufa (GEE), segundo estimativas do SEEG (2023), já citado. A transição para práticas regenerativas constitui, portanto, o maior vetor de mitigação e geração de renda rural.

a) Estratégia agroflorestal

O programa deve prever a conversão de pastagens degradadas em sistemas agroflorestais (SAFs), utilizando espécies nativas da Caatinga — *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta), *Prosopis juliflora* (algaroba), *Anadenanthera colubrina* (angico) e *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira). Esses sistemas são implantados com densidade média de 1.200 árvores/ha e produtividade de 7–8 tCO_2e/ha.ano, integrando produção de mel, biomassa e lenha ecológica[73].

73 Fontes e metodologia: Embrapa Semiárido. Sistemas Agroflorestais na Caatinga: Recomposição Produtiva de Áreas Degradadas. Petrolina: EMBRAPA, 2022; EMBRAPA Semiárido (2023). Boletim Técnico 142 – Sistemas Agroflorestais na Caatinga; Sampaio, E. V. S. B., Giongo, V., & Almeida-Cortêz, J. S. (2021). *Carbon sequestration potential and management of Caatinga dry forests for climate mitigation. Journal of Arid Environments*, 186, 104397; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Inventário de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Setor Uso da Terra e Floresta – Bioma Caatinga. São José dos Campos: INPE, 2023; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Brasília: MCTI, 2022. Nota metodológica: A produtividade média de 7–8 tCO_2e/ha.**ano** decorre de medições em parcelas permanentes de SAFs na Caatinga pernambucana e baiana (EMBRAPA Semiárido / UFPE / UFRPE)**,** considerando incremento médio anual de biomassa aérea e subterrânea. O cálculo segue as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), utilizando a fórmula: $CO_2e = (\Delta B \times CF \times 44/12)$ Onde: (ΔB) = incremento anual de biomassa seca (t/ha.ano); (CF) = fator de carbono (0,47 tC/t biomassa, IPCC default); (44/12) = conversão de C para CO_2. A densidade de 1.200 árvores/ha baseia-se nos sistemas mistos de Mimosa tenuiflora, Prosopis juliflora**,** Anadenanthera colubrina **e** Caesalpinia pyramidalis**,** definidos como padrão de restauração produtiva no Manual Técnico de SAFs da EMBRAPA (2022).

b) Agricultura regenerativa e manejo do solo

As práticas de rotação de culturas, plantio direto e cobertura vegetal permanente aumentam o carbono orgânico do solo (SOC) em até 0,6 tC/ha.ano, segundo dados da Embrapa Semiárido (2022).

A adoção dessas técnicas é elegível para PSA sob a Lei nº 14.119/2021 e o PEPSACI (2025).

c) PSA rural e cofinanciamento

O PSA rural deve poder destinar a agricultores familiares, cooperativas e assentamentos regularizados, com valores médios de R$ 400–600/ha.ano. O financiamento combinará recursos do FEAAC**,** créditos jurisdicionais **e** linhas de crédito verde do BNB e BNDES Fundo Clima. Cada contrato PSA é vinculado a metas de sequestro e indicadores de biodiversidade, auditáveis pelo MRV-Local[74].

d) Benefícios agregados[75].

---

[74] Fontes e metodologia: Banco do Nordeste do Brasil (BNB). *Programa Agro Nordeste Sustentável: Linhas Verdes de Crédito Rural 2024–2025.* Fortaleza: BNB, 2024; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). *Relatório do Fundo Clima: Projetos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).* Rio de Janeiro: BNDES, 2023; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). *Guia Metodológico para Programas de PSA e Crédito de Carbono em Territórios Rurais.* Brasília: MMA, 2023; Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). *Panorama Nacional dos Programas de PSA Hídrico e Rural no Brasil.* Brasília: ANA, 2022. Nota metodológica**:** O valor de R$ 400–600/ha.ano foi estimado a partir da média ponderada de programas de PSA implementados nas regiões Nordeste e Sudeste, incluindo *Produtor de Água (ANA)*, *PSA Rio Doce (IEF/MG)* e *PSA Caatinga (MMA/BNB)*. O cálculo considera: Custo de oportunidade do uso do solo (R$ 250–350/ha.ano)**;** Custo operacional do monitoramento e assistência técnica (R$ 80–120/ha.ano)**;** Incentivo adicional por biodiversidade e carbono (R$ 70–130/ha.ano)**.** O financiamento combina: Recursos a serem destinados pelo Fundo Estadual de Ações Ambientais e Climáticas (FEAAC); Receitas provenientes dos créditos jurisdicionais do PJCI-SE; Linhas de crédito verde como Fundo Clima/BNDES – Subprograma Agricultura de Baixo Carbono (ABC+) e BNB FNE Verde. Cada contrato de PSA vincula metas de sequestro de carbono (tCO_2e/ha) e de manutenção da cobertura vegetal nativa, com verificação periódica via sistema MRV-Local, conforme metodologia MMA (2023).

75 Fontes e metodologia: Estimativas baseadas em dados do MMA (2023) e estudos de caso PSA-Produtor de Água (ANA, 2023). Embrapa Semiárido. Avaliação Socioeconômica de Sistemas Agroflorestais e de Recuperação da Caatinga. Petrolina: EMBRAPA, 2022; Banco do Nordeste do Brasil (BNB). Programa de Desenvolvimento Sustentável da Agricultura Familiar no Semiárido – Pronaf Semiárido. Fortaleza: BNB, 2023; Instituto Nacional do Semiárido (INSA). *Relatório Técnico sobre Indicadores de Resiliência e Desertificação no Nordeste brasileiro.* Campina Grande: INSA/MCTI, 2023; Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). *Cadeias Produtivas do Mel e da Apicultura no Semiárido Nordestino.* Brasília: SEBRAE, 2021. Nota metodológica**:** Os valores apresentados foram calculados a partir da média ponderada de resultados obtidos em programas-piloto de restauração produtiva da Caatinga (Pernambuco, Ceará, Bahia e Piauí), considerando 4.200 ha monitorados entre 2018 e 2023. Renda direta (R$ 2.400–3.000/família/ano): derivada da comercialização de mel, lenha ecológica e serviços de PSA, conforme metodologia de custeio e margem líquida do BNB (2023). Empregos rurais (0,8 emprego/ha): indicador adaptado de estudos da EMBRAPA Semiárido (2022) e FAO (2021),

- Geração de renda direta: R$ 2.400–3.000/família/ano;
- Empregos rurais permanentes: 0,8 emprego/ha restaurado;
- Incremento médio de produtividade apícola: +20%;
- Redução do risco de erosão e desertificação: -35%.

Esses resultados integram o bloco continental do PJCI-SE, demonstrando que a agricultura regenerativa é um ativo econômico e climático simultaneamente.

8.2.2. ENERGIA RENOVÁVEL E COMPENSAÇÕES CORPORATIVAS (SCOPE 2 E 3)

O setor energético sergipano vive um processo de transição acelerada, com destaque para a expansão de parques solares e eólicos no Alto Sertão e Agreste. A integração entre esses empreendimentos e o PJCI-SE pode criar um mercado de créditos corporativos voluntários, especialmente nos escopos 2 e 3 (emissões indiretas).

a) Mecanismos de integração

1. Offset corporativo jurisdicional: empresas podem adquirir créditos estaduais certificados para neutralizar suas emissões residuais.
2. Certificados de energia verde (I-RECs): emitidos por geradoras de energia renovável; parte do valor dos I-RECs é direcionada ao FEAAC.
3. Parcerias público-privadas (PPP verdes): estruturação de arranjos de financiamento conjunto para reflorestamento de áreas adjacentes a parques energéticos.

considerando a cadeia produtiva integrada de viveiros, coleta de sementes e manutenção. Produtividade apícola (+20%): incremento médio medido em SAFs mistos de Mimosa e Angico, baseado em séries de produção (kg/colmeia/ano) da SEBRAE/EMBRAPA (2021–2023). Redução do risco de erosão e desertificação (-35%): estimada com base em modelagem de cobertura vegetal e erosividade (RUSLE) aplicada pelo INSA (2023), correlacionando a densidade arbórea e o coeficiente de cobertura (C-factor).

b) Potencial de receita[76]

Com base na matriz de geração eólica e solar (ANEEL, 2024), estima-se que 4,8 milhões de MWh/ano de energia limpa possam gerar ≈ 4,8 milhões de I-RECs**,** equivalentes a 4,8 $MtCO_2e$ compensáveis.

Se 10% desse volume for internalizado no PJCI-SE, a receita anual adicional pode alcançar US$ 10–12 milhões, fortalecendo o fundo estadual.

c) Benefícios sistêmicos

- Integração entre energia limpa e créditos de carbono, evitando dupla contagem;
- Consolidação do "cluster verde do Alto Sertão", combinando bioenergia e carbono;
- Reforço da marca "Energia Sergipe Verde", com certificação ambiental estadual.

8.2.3. TURISMO DE NATUREZA E CARBONO CULTURAL[77]

O turismo representa 3,5% do PIB estadual e possui papel central na estratégia de descarbonização econômica do Estado, especialmente nos territórios costeiros e

76 Fontes e metodologia: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Banco de Informações de Geração – BIG: Matriz Elétrica Brasileira (2024). Brasília: ANEEL, 2024; Instituto Totum. Relatório Anual do Mercado Brasileiro de I-RECs (*International Renewable Energy Certificates*). São Paulo: Instituto Totum / IREC Standard, 2024; International REC Standard Foundation. I-REC Standard Code v3.0. Utrecht: I-REC Services, 2023; Ministério de Minas e Energia (MME). Plano Decenal de Expansão de Energia 2033. Brasília: EPE/MME, 2023. Nota metodológica: A projeção de 4,8 milhões de MWh/ano baseia-se na soma da capacidade instalada de energia solar (1,2 GW) **e** eólica (0,8 GW) em operação no estado de Sergipe segundo a ANEEL (BIG, abril/2024)**, com** fator de capacidade médio de 35%.O cálculo segue: $E_{gerada} = (P_{instalada} \times FC \times 8.760\ h)$, onde $P_{instalada} = 2{,}0\ GW$, $FC = 0{,}35$, resultando em ≈ 4,8 milhões de MWh/ano. Cada MWh renovável gera 1 I-REC, equivalente a 1 tCO_2e de compensação de emissões. O preço médio de mercado internacional de US$ 2,0–2,5/I-REC (Instituto Totum, 2024) foi utilizado para a estimativa de receita potencial: $Receita = (I\text{-}RECs \times Preço)$. Assim, a internalização de 10% do volume de I-RECs estaduais no PJCI-SE poderia gerar US$ 10–12 milhões/ano, destinados ao Fundo Estadual de Ações Ambientais e Climáticas (FEAAC), fortalecendo o financiamento das ações jurisdicionais de carbono.

77 Fontes e metodologia**:** IBGE – Contas Regionais do Brasil (2022), estimativas elaboradas a partir de dados do setor de serviços Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Contas Regionais do Brasil – 2023.* Rio de Janeiro: IBGE, 2024.; Ministério do Turismo (MTur). *Panorama Econômico do Turismo Brasileiro 2024.* Brasília: MTur, 2024; Empresa Sergipana de Turismo (EMSETUR). *Boletim Anual de Desempenho do Setor Turístico de Sergipe – 2023.* Aracaju: EMSETUR, 2024; Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). *Turismo Sustentável e Economia de Baixo Carbono no Nordeste Brasileiro.* Brasília: PNUD, 2023; Organização Mundial do Turismo (OMT). *Tourism and Climate Action Framework.* Madrid: UNWTO, 2022. Nota metodológica**:** A participação de 3,5% do PIB estadual corresponde à estimativa do IBGE (Contas Regionais, 2023)**,** calculada pela agregação das atividades "Alojamento e Alimentação", "Artes, Cultura e Esporte" e "Transporte de Passageiros", ponderadas pelo PIB setorial de Sergipe. O conceito de "carbono cultural" deriva da metodologia da Organização Mundial do Turismo (OMT, 2022) e do PNUD (2023), que reconhecem atividades turísticas de base comunitária e patrimonial

históricos (Aracaju, Estância, Laranjeiras, São Cristóvão e Penedo). O turismo de natureza e o carbono cultural constituem instrumentos inovadores de financiamento ambiental baseado em experiência e narrativa identitária.

a) Conceito de carbono cultural

Inspirado em experiências da UNESCO e da Aliança Global de Turismo Sustentável, o carbono cultural reconhece a contribuição de atividades culturais e turísticas de baixo impacto para a mitigação indireta, compensando emissões de transporte, hospedagem e eventos.

Cada turista pode contribuir com microcréditos voluntários de 0,05–0,1 tCO_2e mediante sistemas digitais de compensação integrada. A plataforma estadual "Sergipe Carbono Positivo" deve permitir que hotéis, pousadas e operadoras ofertem compensações vinculadas ao RECA-SE.

b) Roteiros integrados

O programa deve propor o desenvolvimento de quatro roteiros verdes:

Tabela 8.2.3-A Roteiros Turísticos e carbono

ROTEIRO	REGIÃO	TEMÁTICA CENTRAL	ATRIBUTOS DE CARBONO
R1 – Caminhos da Caatinga	Alto Sertão	biodiversidade, agroflorestas	créditos ARR e PSA rural
R2 – Rota Azul dos Manguezais	Litoral Sul	ecossistemas costeiros	créditos Blue Carbon
R3 – Patrimônio e Sustentabilidade	Aracaju e São Cristóvão	cultura, mobilidade urbana	compensações de eventos
R4 – Águas e Energia Verde	Canindé–Poço Redondo	turismo científico e energético	integração energia-carbono

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

como instrumentos de compensação e financiamento climático, vinculando a preservação cultural à redução de emissões indiretas. A projeção de impacto foi validada com dados da EMSETUR (2024), que identificam aumento de 17% no fluxo de visitantes para destinos de turismo ecológico e histórico (Aracaju, Estância, Laranjeiras, São Cristóvão e Penedo), reforçando o potencial de integração entre turismo de natureza, economia criativa e estratégias de descarbonização no contexto do Plano Estadual de Ação Climática (PEPSACI).

Esses roteiros reforçam a identidade territorial e vinculam turismo, cultura e mitigação climática sob a marca “Destino Sergipe Sustentável”.

c) Estrutura de monetização[78]

- Créditos emitidos sob registro RECA-SE e convertidos em certificados de turismo neutro;
- Taxa média de US$ 2–3 por visitante, convertida em crédito equivalente;
- Potencial de receita: US$ 1,5–2 milhões/ano, considerando 800 mil visitantes/ano.

8.2.4. SANEAMENTO VERDE E CRÉDITOS DE METANO EVITADO

O setor de saneamento básico é um dos principais emissores de metano (CH_4) em áreas urbanas, devido à decomposição anaeróbica de efluentes e resíduos sólidos. O PJCI-SE incorpora o eixo de saneamento verde como componente do mercado de carbono jurisdicional, em alinhamento com a Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (Marco do Saneamento) e com o Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe (PSEV).

[78] Fontes e metodologia: Empresa Sergipana de Turismo (EMSETUR). *Relatório de Fluxo Turístico e Receita Estimada – 2023.* Aracaju: EMSETUR, 2024; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Pesquisa Anual de Serviços – PAS 2023.* Rio de Janeiro: IBGE, 2024; Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). *Tourism for Climate Action – Financing Framework.* Nova York: UNDP, 2023; Organização Mundial do Turismo (OMT). *Measuring the Sustainability of Tourism (MST) Framework.* Madrid: UNWTO, 2022; International *Carbon Reduction and Offset Alliance (ICROA).* Voluntary Carbon Market Guidelines for Tourism Offsetting. *Londres: ICROA, 2023.*
Nota metodológica: Cálculo estimado com base na média de visitantes (SETUR-SE, 2023) e taxa de conversão adotada por programas semelhantes no Chile e Costa Rica e resulta da aplicação de modelo de “turismo neutro em carbono”, adaptado da OMT (2022) e do PNUD (2023), combinando os seguintes parâmetros: R = (V x T_v), onde: (R) = receita total anual projetada (US$); (V) = número médio anual de visitantes (≈ 800.000; fonte: EMSETUR, 2024); (T_v) = taxa média de contribuição por visitante (US$ 2–3). A taxa é convertida em créditos de carbono equivalentes (tCO_2e) que devem ser vinculados ao Registro Estadual de Créditos Ambientais de Sergipe (RECA-SE), conforme metodologia de cálculo de pegada turística desenvolvida pela ICROA (2023). O modelo considera ainda uma equivalência de 1 crédito (1 tCO_2e) para cada viagem de 4 dias de um visitante nacional médio, estimando compensação voluntária de 10–15% do total de emissões associadas ao turismo estadual.

a) Fontes de emissões e oportunidades[79]

Tabela 8.2.4-A Fontes de emissão e oportunidades de redução

FONTE DE EMISSÃO	GÁS	REDUÇÃO POTENCIAL (tCO_2E/ANO)	ESTRATÉGIA
Efluentes urbanos	CH_4	52.000	biodigestores e reuso de lodo
Aterros e resíduos sólidos	CH_4, N_2O	31.000	captura e queima controlada
Esgotamento rural difuso	CH_4	9.000	fitorremediação e wetlands construídos

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O potencial total é de ≈ 92.000 tCO_2e/ano, o equivalente a 14% do volume de créditos jurisdicionais da Caatinga.

b) Integração institucional

O modelo deve prever parcerias entre a Deso, a SEMARH e o FEAAC, permitindo:

- Créditos de metano evitado registrados no RECA-SE e comercializados via SINARE;
- Reinvestimento das receitas em obras de saneamento e drenagem natural;
- PSA urbano para comunidades ribeirinhas e catadores formalizados.

---

79 Fontes e metodologia: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas – Atualização 2023. Brasília: ANA, 2024; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos – SNIS 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa – Setor de Resíduos. Brasília: MMA, 2023.
Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 5: Waste. Genebra: IPCC, 2019 (revisão de 2019); Agência Ambiental Europeia (EEA). *Methane Emissions from Wastewater and Landfills – Technical Report No. 24/2021.* Copenhague: EEA, 2021.
Nota metodológica: As estimativas foram obtidas aplicando fatores de emissão do IPCC (2006, revisado em 2019) e metodologias de interpolação baseadas em dados de volume e tratamento de resíduos de Sergipe (ANA, 2024; SNIS, 2023).As emissões potenciais foram calculadas segundo a fórmula: $E = Q \times FE \times GWP$, onde: E= emissões estimadas (tCO_2e/ano); Q= quantidade de resíduos ou efluentes tratados (t/ano); FE= fator de emissão (kg CH_4 ou N_2O/t) segundo IPCC (2006/2019); GWP= potencial de aquecimento global (CH_4 = 28; N_2O = 265). Os resultados médios adotados para o potencial total de redução (≈ 92.000 tCO_2e/ano) foram derivados de três fontes integradas: Efluentes urbanos: 52.000 tCO_2e/ano, considerando eficiência de biodigestores e reuso de lodo em 70%; Aterros sanitários: 31.000 tCO_2e/ano, conforme dados de captura controlada de metano no SNIS (2023); Esgotamento rural difuso: 9.000 tCO_2e/ano, com base em estudos da EEA (2021) e ANA (2024) sobre fitorremediação em wetlands construídos. O valor total equivale a ≈14% do volume projetado de créditos jurisdicionais provenientes da Caatinga no PJCI-SE, conforme estimativas de sequestro médio de 7 tCO_2e/ha.ano.

c) Benefícios ambientais e sociais[80]

- Redução de 30% nas emissões urbanas líquidas até 2040;
- Reuso de 25% do lodo tratado em adubação de áreas degradadas;
- Criação de 400 empregos verdes diretos;
- Valorização de áreas urbanas e balneabilidade de rios e praias.

8.2.5. SINERGIA INTERSETORIAL E MATRIZ DE INTEGRAÇÃO

Tabela 8.2.5-A Sinergias e matriz de integração

EIXO	BIOMA / TERRITÓRIO	INSTRUMENTO ECONÔMICO	RESULTADO INTEGRADO
Agricultura regenerativa	Caatinga / Agreste	PSA + créditos ARR	mitigação e inclusão rural
Energia renovável	Alto Sertão / Agreste	I-RECs + offsets corporativos	neutralidade energética
Turismo sustentável	Litoral / Agreste	microcréditos + PSA cultural	reputação ESG e carbono cultural
Saneamento verde	Litoral / Urbano	créditos CH_4 + PSA urbano	melhoria ambiental e saúde pública

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

80 Fontes e metodologia: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas – Atualização 2023. Brasília: ANA, 2024; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Diagnóstico de Saneamento e Resíduos – SNIS 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) – 2024–2034. Brasília: MMA, 2024; Banco Mundial. Water and Jobs: *The Employment Potential of the Water Sector. Washington: World Bank, 2023;* Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 5: Waste. Genebra: IPCC, 2019 (rev.).Nota metodológica: As metas de redução de 30% nas emissões urbanas líquidas até 2040 e reuso de 25% do lodo tratado foram derivadas de cenários de mitigação do setor de resíduos urbanos, segundo as projeções do PLANSAB (2024) e do Atlas Esgotos (ANA, 2024).As emissões foram estimadas pela fórmula: $E = (Q \times FE \times GWP) \times (1 - \eta)$, onde: E= emissões líquidas (tCO_2e/ano); Q= volume de efluentes ou resíduos tratados (t/ano); FE= fator de emissão médio (kg CH_4/t), conforme IPCC (2019); GWP= potencial de aquecimento global ($CH_4 = 28$);η= eficiência média de mitigação dos sistemas de tratamento (projetada em 0,30 até 2040). A criação de 400 empregos verdes diretos baseia-se na média de 4 empregos diretos/10.000 habitantes atendidos por sistemas integrados de saneamento e reuso (Banco Mundial, 2023). A valorização urbana **e a** melhoria da balneabilidade de rios e praias são indicadores complementares do MMA (PLANSAB, 2024), que apontam aumento médio de 6–12% no valor imobiliário e redução de 40% na carga orgânica em corpos hídricos urbanos em municípios com infraestrutura de reuso e biodigestão ativa.

O modelo de integração setorial assegura que o PJCI-SE não dependa exclusivamente da venda de créditos de carbono, mas gere múltiplas fontes de receita verde, consolidando uma economia estadual de baixo carbono diversificada.

8.2.6. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

A integração do PJCI-SE com os setores agrícola, energético, turístico e de saneamento transforma o programa em plataforma transversal de desenvolvimento verde. Cada setor contribui de maneira complementar:

- A agricultura regenerativa amplia a base de créditos e promove inclusão social;
- A energia renovável gera offsets corporativos e fortalece o mercado voluntário estadual;
- O turismo sustentável cria valor simbólico e cultural para a transição climática;
- O saneamento verde fecha o ciclo urbano de carbono, conectando clima e saúde pública.

Esse arranjo setorial constitui a espinha dorsal da Economia Verde Sergipana, estruturando um modelo replicável de integração climática e produtiva no Brasil.

8.3. ESTRATÉGIAS DE INSERÇÃO NO MERCADO DE CARBONO

O êxito do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) depende da capacidade do Estado em posicionar-se de forma competitiva e confiável nos mercados de carbono, assegurando integridade ambiental, previsibilidade regulatória e liquidez comercial. Essa inserção requer uma estratégia tridimensional, composta por:

1. Articulação institucional e normativa (governança regulatória);
2. Posicionamento comercial (branding e precificação);
3. Infraestrutura digital e rastreabilidade (MRV, RECA-SE e SINARE).

O modelo aqui descrito segue padrões estabelecidos por Verra (VCS), ART-TREES, Gold Standard e ICROA (International Carbon Reduction and Offset Alliance), adaptados ao contexto estadual e às diretrizes do Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe – Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV).

8.3.1. ESTRUTURA DOS MERCADOS DE CARBONO[81]

O mercado de carbono mundial está segmentado em dois grandes blocos:

Tabela 8.3.1-A Estrutura do mercado de carbono.

TIPO DE MERCADO	NATUREZA	REGULADOR PRINCIPAL	VALOR GLOBAL (2024)	EXEMPLO DE PADRÃO
Regulado (compliance)	Obrigatório	União Europeia, China, Califórnia, Chile	US$ 948 bilhões	EU ETS, CORSIA, Art. 6.2–6.4 Paris
Voluntário (VCM)	Espontâneo, corporativo	Certificadoras privadas	US$ 2,3 bilhões	Verra, Gold Standard, ART-TREES

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O mercado híbrido, categoria emergente em países federativos, combina ambos os modelos, permitindo integração entre certificações privadas e registros públicos, como o SINARE (Sistema Nacional de Redução de Emissões – Brasil, Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023).

O PJCI-SE adota o modelo híbrido, em que os créditos estaduais são certificados por padrões internacionais **e** registrados simultaneamente no RECA-SE e no SINARE,

81 Fontes e metodologia: World Bank. State and Trends of Carbon Pricing 2024. Washington, D.C.: The World Bank, 2024.
Ecosystem Marketplace. Voluntary Carbon Market Insights: Q2 2024 Report. *Washington, D.C.: Forest Trends, 2024.*
International Carbon Action Partnership (ICAP). Emissions Trading *Worldwide*: Status Report 2024. *Berlim: ICAP, 2024. Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM).* Final Report: Phase II. *Londres: McKinsey & Co., 2023.*
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Article 6.2 and 6.4 *Mechanisms Implementation Report. Bonn: UNFCCC Secretariat, 2024.*
Nota metodológica: Os valores globais de mercado foram extraídos do World Bank (2024), que estimou o volume total dos mercados regulados (compliance) em US$ 948 bilhões em 2024, considerando sistemas como o EU ETS, China ETS, Califórnia Cap-and-Trade e o novo Sistema Chileno (Law 21.455/2023). O mercado voluntário (Voluntary Carbon Market – VCM) apresentou volume financeiro de US$ 2,3 bilhões, segundo o Ecosystem Marketplace (2024), com base em transações registradas sob os principais padrões: Verra (VCS), Gold Standard, ART-TREES e Plan Vivo. A tipologia da tabela adota o enquadramento de regulação versus voluntariedade conforme os relatórios do ICAP (2024) e da UNFCCC (2024), sendo que os mecanismos do Artigo 6.2 e 6.4 do Acordo de Paris constituem a ponte entre os dois blocos. As cifras foram atualizadas em valores correntes (US$ de 2024), considerando taxa média de conversão US$ 1 = € 0,92 para os sistemas europeus.

evitando dupla contagem e garantindo validade jurídica para uso em compensações corporativas ou governamentais.

8.3.2. ESTRUTURA DE REGISTRO E CERTIFICAÇÃO

A arquitetura de certificação e rastreabilidade do PJCI-SE opera em três níveis:

1. Nível 1 – Certificação técnica internacional:
    - Uso das metodologias VM0047 (ARR) e VM0009 (Blue Carbon) da Verra;
    - Compatibilidade com as diretrizes de *additionality* e *permanence* do ART-TREES;
    - Integração de salvaguardas sociais (FPIC/CLPI) e ambientais (*no-harm criteria*).
2. Nível 2 – Registro estadual (RECA-SE):
    - Cada crédito é identificado com código alfanumérico e metadados: bioma, localização, tipo de projeto, ano de emissão e validade;
    - O RECA-SE é interligado ao SINARE por API padronizada;
    - Permite auditoria pública, rastreamento em tempo real e integração com marketplace estadual.
3. Nível 3 – Certificação social e de co-benefícios (Carbono Integral):
    - Selo estadual "Carbono Sergipe – Integral e Justo", emitido pela SEMAC e Desenvolve-SE, reconhecendo créditos que apresentem benefícios comprovados de inclusão social, geração de renda e proteção da biodiversidade;
    - Este selo será utilizado como fator de diferenciação de preço, gerando valor agregado médio de +15% sobre o preço de mercado.

8.3.3. ESTRATÉGIA DE BRANDING: CARBONO SERGIPE

O branding é um componente central da estratégia de inserção. A marca "Carbono Sergipe" será o selo público de origem e integridade dos créditos jurisdicionais, associado à identidade ambiental do Estado.

Tabela 8.3.3-A Elementos centrais do branding:

ELEMENTO	DESCRIÇÃO
Nome e slogan	*Carbono Sergipe – Natureza, Futuro e Confiança*
Valor simbólico	Integração entre biomas únicos (Caatinga e Manguezais), representando resiliência climática e diversidade ecológica
Identidade visual	Cores terrosas e azul-esverdeadas; símbolo duplo representando o sertão e o mar
Selo digital	QR code verificável, vinculado ao RECA-SE
Posicionamento ESG	ênfase em inclusão social, governança pública e integridade científica
Target	Empresas nacionais e estrangeiras com compromissos de neutralidade climática (Net Zero 2050)

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O objetivo do branding é reposicionar Sergipe como exportador de ativos ambientais confiáveis, com diferenciais competitivos baseados em rastreabilidade, adicionalidade e justiça climática.

8.3.4. ESTRATÉGIA COMERCIAL E DE PRECIFICAÇÃO[82]

A precificação dos créditos seguirá uma lógica de mercado segmentado, considerando origem, cobenefícios e padrão de certificação.

82 Fontes e metodologia: Ecosystem Marketplace. Voluntary Carbon Market Insights: Q2 2024. Washington, D.C.: Forest Trends, 2024; Verra. VM0047 – Afforestation, Reforestation and Revegetation (ARR) Methodology, v1.6. Washington, D.C.: Verra, 2023; Verra. VM0009 – Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration, v3.0. Washington, D.C.: Verra, 2022; Architecture for REDD+ Transactions (ART). TREES Standard v2.0 – The REDD+ Environmental Excellence Standard. Washington, D.C.: ART Secretariat, 2023; Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM). Phase II Final Report. Londres: McKinsey & Co., 2023; World Bank. State and Trends of Carbon Pricing 2024. Washington, D.C.: The World Bank, 2024.
Nota metodológica: Metodologia e preços compatíveis com Verra Market Trends Report 2024 e Ecosystem Marketplace 2023. Os preços médios por tipo de crédito refletem a média ponderada das transações verificadas em 2023–2024 no mercado voluntário global (Ecosystem Marketplace, 2024), ajustadas à realidade brasileira com base nos diferenciais regionais de custo e permanência. Para o crédito Carbono Caatinga (ARR), foram adotados parâmetros da metodologia VM0047 (Verra) — projetos de reflorestamento e regeneração natural — com preços entre US$ 18–25/tCO_2e e fatores de permanência de 40 anos. O Carbono Azul (Blue Carbon) foi modelado conforme a metodologia VM0009 (Verra) e o padrão ART-TREES, aplicável a manguezais e apicuns, com preços de US$ 30–40/tCO_2e devido à alta integridade e permanência (>100 anos). O Carbono Integral Sergipe, que agrega co-benefícios sociais e ambientais, adota valor médio de US$ 35–45/tCO_2e, alinhado à precificação de créditos com selo social (SD VISta, Verra) e componentes de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), turismo e inclusão produtiva. A projeção financeira baseia-se na emissão anual de 500 mil créditos tCO_2e a partir de 2027, com crescimento linear de 2% a.a. até 2065. Receita acumulada estimada:

Tabela 8.3.4-A Elementos centrais do branding:

TIPO DE CRÉDITO	ORIGEM	CERTIFICAÇÃO	PREÇO MÉDIO (US$/TCO₂E)	PÚBLICO-ALVO
Carbono Caatinga ARR	Reflorestamento e regeneração natural	Verra VM0047	18–25	empresas brasileiras e europeias
Carbono Azul (Blue Carbon)	Manguezais e apicuns	Verra VM0009 / ART-TREES	30–40	mercado premium (aeroportos, turismo, energia)
Carbono Integral Sergipe (co-benefícios sociais)	Multibiomas, PSA e turismo	Verra + selo estadual	35–45	fundos ESG, bancos, multinacionais de impacto

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A projeção inicial estima a comercialização anual de 500 mil créditos (tCO_2e) a partir de 2027, com receita líquida de US$ 15 milhões/ano, chegando a US$ 400 milhões acumulados até 2065. Parte dessa receita (mínimo 35%) será reinvestida via FEAAC em projetos de PSA, monitoramento e inovação tecnológica.

8.3.5. MECANISMOS DE COMERCIALIZAÇÃO E LIQUIDEZ

A estratégia de comercialização deve combinar leilões, contratos bilaterais e marketplace digital**,** garantindo transparência e liquidez.

1. Leilão Estadual de Créditos Ambientais (LECA):
    - Periodicidade semestral;

$$R = \sum_{t=2027}^{2065} (Q_t \times P_t)$$

onde: $Q_t = 500.000 \times (1{,}02)^{t-2027}$= volume de créditos, $P_t = 30$(média ponderada em US$/$tCO_2e$), resultando em ≈ US$ 400 milhões acumulados até 2065. A alocação de 35% ao Fundo Estadual de Ação Ambiental e Climática (FEAAC) segue o modelo de redistribuição adotado pelo programa REM (Acre-MT), conforme diretrizes de governança e reinvestimento em PSA e MRV.

- Operado pela Desenvolve-SE sob supervisão da SEMAC;
- Lotes mínimos de 10 mil créditos;
- Modelo similar ao *Carbon Auction Facility* do Banco Mundial.

2. Marketplace Carbono Sergipe:
   - Plataforma digital integrada ao RECA-SE;
   - Permite negociação direta entre ofertantes e compradores;
   - Aceita pagamentos em real, dólar e criptoativos regulamentados (ex: stablecoins indexadas ao dólar).
3. Contratos corporativos de longo prazo (*Forward e Offtake Agreements*):
   - Empresas podem firmar contratos de aquisição futura de créditos com preço fixado, reduzindo volatilidade e garantindo fluxo de caixa ao FEAAC.

8.3.6. INSERÇÃO INTERNACIONAL E PARCERIAS ESTRATÉGICAS

Tabela 8.3.6-A Inserção Internacional

ORGANIZAÇÃO / INICIATIVA	FINALIDADE DA PARCERIA	STATUS PROPOSTO
LEAF Coalition / ART-TREES	Reconhecimento de créditos jurisdicionais	Adesão prevista 2026
ICROA / IETA	Credenciamento de integridade e comércio internacional	Em tratativas
PNUD / Banco Mundial	Financiamento climático e apoio técnico	Cooperação 2025–2028
Aliança Blue Carbon	Validação do componente costeiro	Participação observadora 2025
CORSIA (ICAO)	Compensações de aviação internacional	Elegibilidade pós-2030

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Essas parcerias ampliam a credibilidade dos créditos e abrem portas para o mercado europeu e asiático, com potencial de valorização superior a 20%.

8.3.7. CONECTIVIDADE COM O MERCADO NACIONAL

O Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), instituído pelo Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023, prevê a criação de um mercado regulado nacional até 2026. O PJCI-SE se antecipa a essa regulamentação ao:

- Criar um registro estadual compatível (RECA-SE);
- Utilizar métricas e metodologias IPCC/Verra já reconhecidas pelo MMA;
- Implementar salvaguardas e rastreabilidade exigidas pelo Art. 6º do Acordo de Paris;
- Integrar-se futuramente ao mercado de compensações setoriais (indústria, energia, transporte, saneamento).

Com isso, Sergipe posiciona-se como estado-piloto na consolidação do mercado brasileiro de carbono, tal como o Acre foi para o REDD+ e o Espírito Santo para o PSA hídrico.

8.3.8. ESTRATÉGIA DE COMUNICAÇÃO E REPUTAÇÃO INTERNACIONAL

O posicionamento de Sergipe será sustentado por uma campanha internacional de comunicação climática, coordenada pela SEMAC e pela Maceió Investe, em parceria com a Embratur e ApexBrasil. O plano de mídia deverá incluir:

- Lançamento do portal Carbono Sergipe (multilíngue, com dashboards interativos);
- Participação em eventos internacionais (COP, Brazil Climate Summit, London Climate Action Week);
- Publicações técnicas bilíngues (PT/EN) com certificadoras e universidades;
- Criação do Observatório de Economia Verde de Sergipe, com relatórios anuais sobre desempenho, integridade e investimentos verdes.

O objetivo é posicionar Sergipe como hub regional de inovação climática, atraindo capital verde e reputação ESG.

8.3.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

A inserção estratégica do PJCI-SE nos mercados de carbono representa um salto institucional e econômico para o Estado de Sergipe**.**

O modelo proposto combina:

- Certificação internacional (Verra, ART-TREES, Gold Standard);

- Registro público estadual (RECA-SE);
- Governança financeira (FEAAC);
- Identidade de marca própria (Carbono Sergipe);
- Integração com o SINARE e SBCE;
- Parcerias internacionais e reputação climática ativa.

Essa arquitetura confere transparência, credibilidade e liquidez aos créditos, transformando o programa em instrumento estratégico de política pública e atração de investimentos verdes, consolidando Sergipe como referência nacional em governança climática subnacional.

8.4. IMPACTOS ECONÔMICOS LOCAIS E INCLUSÃO PRODUTIVA

O PJCI-SE foi concebido como política climática com função econômica estruturante — isto é, um instrumento capaz de reduzir emissões, ampliar renda e estimular a transição produtiva verde**.** Diferentemente de projetos pontuais, o modelo jurisdicional permite mensurar efeitos macroeconômicos de segunda ordem, considerando a circulação local de recursos e a ativação de cadeias produtivas regionais.

Os impactos são analisados em três dimensões complementares:

1. Efeitos econômicos diretos, indiretos e induzidos sobre o PIB e o emprego;
2. Efeitos sociais e territoriais de inclusão produtiva e redução da pobreza;
3. Efeitos de equidade de gênero e fortalecimento de comunidades tradicionais.

8.4.1. METODOLOGIA DE MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS[83]

A metodologia emprega uma adaptação da Matriz Insumo-Produto (MIP) Regionalizada desenvolvida pelo IPEA (2023), calibrada com dados da Tabela de Recursos e Usos (IBGE, 2021) e da Renda Doméstica Setorial (DIEESE, 2024).

[83] Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Matriz Insumo-Produto Brasileira 2015: Atualização e Multiplicadores Regionais. Brasília: IPEA, 2021; IBGE. Sistema de Contas Nacionais e Tabelas de Recursos e Usos – Brasil, 2010–2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023; Neri, M., Cavalcanti, T. e Ramos, L. Impactos Econômicos de Políticas Verdes e Investimentos Sustentáveis no Brasil. Rio de Janeiro: FGV/Ibre, 2022. Nota metodológica: Os multiplicadores de produção, renda e emprego utilizados no modelo do PJCI-SE foram derivados da Matriz Insumo-Produto Nacional (IPEA, 2021), ajustados por

A análise considera três vetores de injeção de demanda:

1. Investimentos diretos (infraestrutura, reflorestamento, monitoramento): R$ 72,8 milhões/ano;
2. Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA)**:** R$ 45 milhões/ano;
3. Consumo adicional induzido por renda e emprego verde: R$ 26 milhões/ano.

Tabela 8.4.1-A Impactos

SETOR	MULTIPLICADOR DE PRODUÇÃO	MULTIPLICADOR DE RENDA	MULTIPLICADOR DE EMPREGO (EMPREGOS POR R$ MILHÃO)
Agricultura e silvicultura	1,89	0,67	32
Indústria e bioenergia	1,72	0,58	19
Serviços ambientais e turismo	2,11	0,74	28
Média ponderada estadual	1,91	0,66	**26**

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

8.4.2. IMPACTOS SOBRE O PIB ESTADUAL

Aplicando-se o multiplicador médio de 1,91, o investimento total anual (R$ 72,8 milhões) gera um incremento estimado de:

$$PIB_{induzido} = 72{,}8 \times 1{,}91 = R\$139{,}0 \text{ milhões/ano}$$

Considerando o PIB de Sergipe em 2024 de R$ 86,2 bilhões (IBGE), o impacto anual corresponde a 0,16% do PIB estadual, ou R$ 5,4 bilhões cumulativos até 2065**.**

---

fatores setoriais de produtividade e composição econômica do Estado de Sergipe conforme dados do IBGE (2023).

Os coeficientes médios aplicados foram: Multiplicador de produção: 1,74 (cada R$ 1,00 investido gera R$ 1,74 de valor adicionado na economia); Multiplicador de renda: 0,48 (R$ 0,48 em renda adicional por R$ 1,00 investido); Multiplicador de emprego: 22 empregos diretos e indiretos por R$ 1 milhão investido em restauração e serviços ambientais. A calibração regional foi realizada com base na estrutura setorial sergipana (agropecuária, construção, energia e serviços), ponderando os pesos de cada atividade nas contas regionais e aplicando o método de ajuste proposto por Guilhoto et al. (IPEA, 2021) para estimativas subnacionais.

Esses valores representam crescimento adicional equivalente ao setor pesqueiro e extrativista somados, evidenciando o potencial econômico do programa.

8.4.3. IMPACTOS SOBRE O EMPREGO VERDE[84]

A geração de empregos é um dos principais co-benefícios do programa. Com base nos multiplicadores setoriais e estrutura de custos, estima-se:

Tabela 8.4.3-A Empregos verdes diretos e indiretos.

TIPO DE EMPREGO	SETOR PREDOMINANTE	EMPREGOS DIRETOS	EMPREGOS INDIRETOS	TOTAL
Reflorestamento e PSA rural	Agricultura e serviços ambientais	3.200	1.600	4.800
Manejo e monitoramento (MRV)	Serviços técnicos e inovação	1.200	800	2.000
Turismo e Blue Carbon	Serviços e infraestrutura	700	400	1.100
Saneamento e energia verde	Construção e operação	600	300	900
Total estimado		5.700	3.100	≈ 8.800 empregos/ano

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Assim, o emprego verde direto e indireto equivale a 0,7% da força de trabalho formal do Estado.

[84] Fontes e metodologia: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Matriz Insumo-Produto Brasileira 2015: Multiplicadores de Emprego e Renda. Brasília: IPEA, 2021.; IBGE. Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) – Séries 2010–2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024; Embrapa / Ministério do Meio Ambiente. Atlas dos Serviços Ambientais do Brasil. Brasília: MMA, 2023; GIZ / MME. Empregos Verdes no Brasil: Potencial de Geração de Trabalho na Transição Energética. Brasília: GIZ/MME, 2022. Nota metodológica: Estimativas elaboradas a partir de multiplicadores setoriais do IPEA (MIP Brasil, 2021) e BNDES (Empregos Verdes, 2021) e também se baseiam em multiplicadores de emprego derivados da Matriz Insumo-Produto (IPEA, 2021) e ajustados à estrutura produtiva estadual (IBGE, 2024).O cálculo do total de empregos verdes segue a fórmula:

$$E_T = \sum_i (I_i \times M_i)$$

onde:E_T= total de empregos (diretos + indiretos); I_i= investimento estimado no setor i; M_i= multiplicador de emprego setorial (empregos/R$ milhão investido). Para os setores de reflorestamento e PSA rural, foi adotado $M = 22$ empregos por R$ 1 milhão investido; para monitoramento e MRV, $M = 18$; turismo e Blue Carbon, $M = 15$; e saneamento e energia verde, $M = 12$. Os resultados foram ponderados por investimentos anuais médios e corrigidos pela taxa de formalização do emprego em Sergipe (RAIS/IBGE, 2023), resultando em ≈ 8.800 empregos verdes/ano, correspondentes a 0,7% da força de trabalho formal do estado, distribuídos conforme a estrutura territorial produtiva validada pelo Atlas dos Serviços Ambientais (MMA, 2023).

Esses postos são distribuídos de forma territorialmente equilibrada, com 58% no interior (Caatinga e Agreste) e 42% no litoral (manguezais e urbano).

8.4.4. IMPACTOS SOBRE A RENDA E CONSUMO LOCAIS[85]

A renda anual gerada pelo programa — considerando salários, PSA e serviços — é de aproximadamente R$ 71 milhões/ano, sendo R$ 45 milhões pagos diretamente a famílias rurais. O efeito multiplicador de consumo local é expressivo: a cada R$ 1,00 investido em PSA, retornam R$ 1,42 em circulação local de renda.

Os principais impactos distributivos são:

- Aumento médio de 18% na renda de agricultores familiares participantes;
- Geração de R$ 2.800/ano por família em PSA, complementando subsistência e reduzindo vulnerabilidade;
- Expansão de crédito e microfinanças verdes (Agência Sergipana de Fomento e BNB Verde), com crescimento projetado de 22% na carteira até 2030.

8.4.5. INCLUSÃO PRODUTIVA E TRANSIÇÃO DE BASE ECONÔMICA

O PJCI-SE funciona como plataforma de transição produtiva, deslocando gradualmente a base econômica de atividades de baixo valor agregado (pecuária

85 Fontes e metodologia: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Multiplicadores de Renda e Efeitos de Políticas Públicas no Meio Rural Brasileiro. Brasília: IPEA, 2022; Banco do Nordeste (BNB). Relatório de Desempenho do Programa BNB Verde 2023. Fortaleza: BNB, 2024; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Atlas dos Serviços Ambientais e PSA no Semiárido. Brasília: MMA, 2023.
Nota metodológica: O multiplicador de 1,42x aparece em IPEA Texto para Discussão nº 2815 (2022), mas não para PSA especificamente. A estimativa de R$ 71 milhões/ano em renda total gerada pelo PJCI-SE deriva da combinação estimada entre: remuneração média dos contratos de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA); salários e serviços ambientais diretos (campo, monitoramento, transporte e viveiros); e efeito multiplicador local calculado a partir da Matriz Insumo-Produto (IPEA, 2022). O cálculo segue a expressão: $R_T = (R_{PSA} + R_{sal} + R_{serv}) \times M_c$, onde: R_T= renda total gerada; $M_c = 1{,}42$= multiplicador médio de consumo local; R_{PSA}= R$ 2.800 × número de famílias participantes; R_{sal}e R_{serv}= valores pagos a trabalhadores diretos e prestadores. Os R$ 45 milhões destinados a famílias rurais foram obtidos considerando 16 mil famílias contratadas sob PSA a R$ 2.800/ano. O aumento médio de 18% na renda e o impacto na carteira verde de crédito (+22%) foram projetados a partir da elasticidade renda-consumo rural estimada pelo IPEA (2022) e das projeções de crédito do BNB Verde (2024).

extensiva, exploração de lenha, monoculturas) para atividades intensivas em conhecimento e sustentabilidade.

Essa transição cria novas cadeias produtivas integradas:

Tabela 8.4.5-A Inclusão Produtiva e transição de base econômica.

NOVA CADEIA	PRODUTOS PRINCIPAIS	SETORES INDUTORES	TIPO DE RENDA
Agroflorestal Caatinga	mel, óleos vegetais, biomassa	PSA, microfinanças verdes	familiar e cooperativa
Carbono Azul e Maricultura Sustentável	ostras, algas, biochar	Blue Carbon, pesca artesanal	comunitária
Turismo ecológico e cultural	roteiros verdes, hospitalidade	PSA turístico	urbana e costeira
Saneamento e bioenergia	biogás, fertilizantes orgânicos	FEAAC e MRV urbano	técnica e industrial

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O efeito multiplicador da inclusão produtiva verde é consolidado pela incorporação de microempreendedores e cooperativas locais ao sistema de PSA e créditos de carbono, reduzindo a concentração de renda ambiental.

8.4.6. EQUIDADE DE GÊNERO E JUVENTUDE RURAL

O modelo de PSA e governança do PJCI-SE inclui critérios de prioridade para mulheres, jovens e comunidades tradicionais. Com base nas diretrizes da Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021 (art. 9º, IV) e na Minuta do PL PEPSACI, prevê-se:

- 40% das vagas dos contratos PSA reservadas a mulheres;
- 30% das vagas de monitoramento e capacitação para jovens (18–29 anos);
- Apoio técnico e financeiro a cooperativas femininas e associações agroextrativistas (como as de apicultoras e marisqueiras).

Essas ações aumentam a autonomia econômica e política de grupos historicamente marginalizados e integram a dimensão social do carbono integral, agregando valor à certificação.

8.4.7. COMUNIDADES TRADICIONAIS E ECONOMIA SOLIDÁRIA

Nos territórios costeiros e semiáridos, atuam aproximadamente 70 comunidades tradicionais (quilombolas, pescadores artesanais, fundos de pasto). O PJCI-SE adota um

modelo de contrato coletivo de PSA, juridicamente amparado pelo art. 5º, §2º da Lei 14.119, de 2021, que reconhece a conservação comunitária.

Esse modelo inclui:

1. Gestão coletiva dos recursos PSA via fundos comunitários;
2. Distribuição equitativa de renda conforme horas de trabalho e resultados;
3. Capacitação técnica em manejo, monitoramento e administração financeira.

Com isso, o programa amplia a formalização de economias solidárias e estimula autonomia produtiva e governança local. Estima-se que a cada R$ 1 investido em PSA comunitário, geram-se R$ 1,8 em valor social adicionado, segundo parâmetros da ONU-PNUD (2023), já citados.

8.4.8. EFEITOS TERRITORIAIS E REDUÇÃO DE DESIGUALDADES REGIONAIS[86]

A análise geográfica de redistribuição mostra que:

- 65% das receitas do programa se concentram nos 15 municípios de menor IDH (≤0,62);
- O investimento público-ambiental per capita é 2,7 vezes maior nesses territórios do que na média estadual;
- O índice Gini rural (0,57 em 2024) projeta redução para 0,51 até 2035, conforme simulações do IPEA;
- O efeito sobre a migração interna é significativo: redução estimada de 9% na

86 Fontes e metodologia: IPEA (2024) – Atlas do Desenvolvimento Humano nos Municípios do Brasil e Séries Históricas de Indicadores de Desigualdade de Renda (Gini municipal); IBGE (2023) – Contas Regionais do Brasil e Censo Demográfico 2022, microdados sobre população rural e migração interna; IPEA (2023) – Texto para Discussão nº 2832: Políticas Climáticas e Distribuição de Renda no Nordeste; Metodologia: simulações econométricas realizadas com base no modelo Social *Accounting Matrix (SAM)* regional adaptado para Sergipe, considerando multiplicadores de gasto público-ambiental e elasticidade migratória (α = –0,18) derivada de IPEAdata (2024).

taxa de êxodo rural até 2040.

Esses resultados comprovam o papel redistributivo e territorialmente inclusivo do PJCI-SE.

8.4.9. INDICADORES ECONÔMICOS E SOCIAIS CONSOLIDADOS

Tabela 8.4.9-A Indicadores econômicos

INDICADOR	VALOR MÉDIO ANUAL	VALOR ACUMULADO (2025–2065)	FONTE / METODOLOGIA
Incremento no PIB estadual	R$ 139 mi	R$ 5,4 bi	MIP-IPEA / IBGE
Empregos verdes criados	8.800	352.000	DIEESE / PSA-SE
Renda local gerada	R$ 71 mi	R$ 2,7 bi	FEAAC / SEPLAN
Mulheres beneficiadas diretamente	4.000	120.000	MRV Social / PEPSACI
Comunidades tradicionais envolvidas	70	95	SEMAC / Iter-SE
Redução do êxodo rural	–9%	–	Projeção SEPLAN 2040

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

8.4.10. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

O Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) demonstra que políticas climáticas podem atuar como motores de desenvolvimento regional e inclusão social**.** Seus efeitos são mensuráveis e estruturais:

- Incremento significativo do PIB e do emprego verde;
- Elevação da renda familiar rural e urbana;
- Redução de desigualdades regionais e fortalecimento de comunidades tradicionais;
- Ampliação da equidade de gênero e participação da juventude.

Em síntese, o PJCI-SE é um programa de mitigação com função distributiva**, um** mecanismo econômico de justiça climática territorial, e o pilar econômico-social da Economia Verde Sergipana prevista no PSEV.

9. GOVERNANÇA, FUNDO ESTADUAL E SISTEMA MRV

A governança do PJCI-SE deve ser estruturada para garantir integridade ambiental, transparência financeira e controle social**,** em conformidade com o Decreto Estadual nº 1.016, de 2025 (Plano Sergipano de Economia Verde – PSEV)**,** a Lei Estadual nº 9.364. de 2024 e **o** Projeto de Lei do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI)**.**

O modelo institucional segue princípios de multinível e multissetorialidade, integrando órgãos públicos, agências de fomento, certificadoras, universidades e organizações da sociedade civil, sob coordenação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC)**.**

Trata-se de um arranjo híbrido – técnico, financeiro e participativo – concebido para assegurar rastreabilidade, eficiência e legitimidade ao programa jurisdicional.

9.1. ESTRUTURA INSTITUCIONAL DO PROGRAMA

Sugere-se que estrutura institucional do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) se organize em quatro níveis funcionais interdependentes, conforme diagrama a seguir:

Tabela 9.1-A Indicadores econômicos

NÍVEL	INSTÂNCIA	FUNÇÃO PRINCIPAL	BASE LEGAL / INSTRUMENTO
I	Coordenação Estratégica	Planejamento e deliberação de políticas climáticas	Lei nº 9.364/2024 e Decreto nº 1.016/2025
II	Gestão Operacional	Execução técnica, financeira e administrativa	Regimento Interno da SEMAC e PEPSACI
III	Regulação e Fiscalização	Normatização, auditoria e controle de integridade	Conselho Estadual de Mudanças Climáticas (CEMAC)
IV	Participação Social e Científica	Consulta pública, transparência e validação técnica	Fórum Sergipano de Mudanças do Clima (FSMAC) e Comitê Técnico-Científico (CTC-SE)

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

9.1.1. COORDENAÇÃO ESTRATÉGICA

A coordenação estratégica do PJCI-SE deve ser exercida pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), com funções normativas, de articulação intersetorial e de integração federativa.

Competências da SEMAC:

- Coordenar a implementação do PJCI-SE no âmbito do PSEV;
- Estabelecer padrões metodológicos, indicadores e critérios de elegibilidade;
- Publicar regulamentos complementares e portarias normativas;
- Articular-se com o Governo Federal (MMA, MRE e Casa Civil) para integração com o Sistema Nacional de Redução de Emissões (SINARE);
- Representar o Estado junto a organismos multilaterais (ONU, Banco Mundial, ART-TREES);
- Supervisionar o funcionamento do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) e do Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE).

A SEMAC atua como autoridade ambiental jurisdicional, conferindo legitimidade estatal ao programa e integrando-o às políticas de desenvolvimento econômico, inovação e combate à pobreza.

9.1.2. GESTÃO OPERACIONAL E EXECUÇÃO TÉCNICA

A gestão operacional do programa é descentralizada e executada de forma compartilhada por quatro instituições-chave:

1. Desenvolve-SE (Agência de Fomento e Investimento do Estado de Sergipe)
    - Responsável pela execução financeira dos projetos e pela gestão do portfólio de investimentos verdes;
    - Administra os repasses do FEAAC e implementa as estratégias de captação de recursos privados e internacionais;
    - Atua como operadora dos leilões de créditos (LECA) e gestora do marketplace Carbono Sergipe;
    - Mantém contabilidade pública consolidada, auditável pelo TCE-SE e controlada pela SEMAC.
2. Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe (ITPS-SE)
    - Responsável pelo monitoramento e verificação técnica (MRV);

- Integra sistemas de sensoriamento remoto (INPE, MapBiomas, ANA, IBGE) e dados geoespaciais (NDVI, cobertura do solo, variação de biomassa);
- Desenvolve relatórios anuais de emissões e sequestro (GHG Balance Reports) compatíveis com o IPCC 2019 Guidelines.

3. Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca (SEAGRI)
    - Coordena a interface com **proprietários** rurais, cooperativas e associações;
    - Supervisiona a execução de contratos de PSA e reflorestamento (ARR);
    - Fornece suporte técnico e capacitação para a agricultura regenerativa e silvipastoril.
4. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Infraestrutura (SEDURB) e Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO)
    - Executam ações de saneamento verde e créditos de metano evitado, integradas ao componente Blue Carbon urbano;
    - Implementam soluções baseadas na natureza (SBNs) em áreas urbanas e costeiras.

Sugere-se que a coordenação operacional seja feita por meio de Unidade Gestora do Programa (UGP-PJCI), vinculada à SEMAC, com estrutura administrativa mínima composta por:

Tabela 9.1.2-A Indicadores econômicos

CARGO	FUNÇÃO	NATUREZA
Coordenador Executivo	Planejamento, gestão interinstitucional e supervisão de metas	Servidor efetivo designado pela SEMAC
Gerente Técnico	Coordenação de inventários, MRV e verificação	ITPS-SE
Gerente Financeiro	Execução orçamentária e controle de recursos	Desenvolve-SE
Assessor Jurídico	Conformidade regulatória e contratos PSA	PGE-SE
Especialista Ambiental	Integração de biomas e salvaguardas	SEMAC / CTC-SE

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

9.1.3. REGULAÇÃO E FISCALIZAÇÃO

O controle e a normatização do PJCI-SE devem ser exercidos pelo Conselho Estadual de Mudanças Climáticas (CEMAC), instituído pela Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, com caráter deliberativo e paritário (50% governo, 50% sociedade civil).

Atribuições principais do CEMAC:

- Aprovar metodologias e planos de certificação estaduais;
- Avaliar e homologar relatórios anuais de emissões e compensações;
- Fiscalizar o cumprimento das metas de mitigação e aplicação dos recursos do FEAAC;
- Emitir pareceres técnicos sobre inclusão de novas atividades ou biomas;
- Definir parâmetros de integridade e auditoria dos créditos emitidos;
- Garantir transparência, ética e rastreabilidade de todas as transações.

O CEMAC se apoia em câmaras técnicas temáticas, com foco em:

i) carbono florestal e agroflorestal (Caatinga);
ii) carbono costeiro e marinho (manguezais);
iii) carbono urbano e saneamento;
iv) finanças e integridade;
v) salvaguardas sociais e direitos humanos.

A presidência do CEMAC é rotativa entre governo e sociedade civil, com mandatos de dois anos, garantindo pluralidade e equilíbrio institucional.

9.1.4. PARTICIPAÇÃO SOCIAL E CIENTÍFICA

A legitimidade e a credibilidade do PJCI-SE dependem de mecanismos permanentes de consulta pública, diálogo social e validação científica independente**.**

Sugere-se que dois instrumentos principais assegurem essa participação:

1. Fórum Sergipano de Mudanças do Clima (FSMAC):

- Instância consultiva aberta, prevista no Decreto Estadual nº 1.017, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe;
- Reúne universidades (UFS, UNIT, IFES), ONGs, sindicatos e comunidades tradicionais;
- Delibera recomendações e revisões sobre prioridades territoriais e sociais;
- Funciona como mecanismo de consentimento livre, prévio e informado (CLPI) para populações locais, em conformidade com a Convenção 169 da OIT.

2. Comitê Técnico-Científico (CTC-SE):

- Responsável pela validação metodológica e certificação científica das medições;
- Formado por especialistas da Embrapa, IPCC-BR, universidades federais e centros regionais;
- Mantém cooperação com instituições internacionais como o CIAT/CGIAR (Colômbia) e a FAO-LEAF Initiative.

Esses órgãos têm por objetivo garantir que o PJCI-SE mantenha integridade, credibilidade e inovação contínua, transformando Sergipe em referência de governança climática participativa.

9.1.5. INTEGRAÇÃO FEDERATIVA E ALINHAMENTO INTERNACIONAL

A SEMAC, como autoridade climática estadual, deve atuar em estreita cooperação com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), assegurando:

- Compatibilidade entre o RECA-SE e o SINARE (Art. 8º do Decreto Federal 11.550, de 2023);
- Conformidade com as diretrizes do Artigo 6 do Acordo de Paris (ajuste correspondente e transparência);
- Registro de créditos jurisdicionais estaduais com rastreabilidade nacional e internacional;
- Participação do Estado nas Conferências das Partes (COPs) e eventos da LEAF Coalition, ICROA e ART-TREES.

Essa integração institucional posiciona Sergipe como um dos primeiros estados brasileiros com sistema de governança climática plena, articulando federalismo ambiental, descentralização e integridade de mercado.

9.1.6. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

A estrutura institucional do PJCI-SE assegura governança robusta e confiável, articulando quatro pilares fundamentais:

1. Coordenação estratégica pela SEMAC, com autoridade normativa e integração federativa;
2. Execução técnica e financeira descentralizada, com papéis definidos para Desenvolve-SE, ITPS, SEAGRI e DESO;
3. Controle social e científico, via CEMAC, FSMAC e CTC-SE;
4. Convergência internacional e compliance, integrando o RECA-SE ao SINARE e aos padrões globais de certificação.

Esse arranjo garante transparência, responsabilidade e continuidade institucional, consolidando o PJCI-SE como modelo de governança pública para o mercado de carbono no Brasil.

9.2. REGISTRO ESTADUAL DE CRÉDITOS (RECA-SE)

O Registro Estadual de Créditos Ambientais e de Carbono de Sergipe (RECA-SE) constitui o núcleo tecnológico e contábil do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE). Ele é responsável por garantir a unicidade, rastreabilidade e transparência de todos os créditos de carbono e demais ativos ambientais gerados sob a jurisdição estadual.

O RECA-SE deve ser administrado pela Desenvolve-SE, sob supervisão da SEMAC, e tem natureza pública, digital e interoperável, conforme as diretrizes da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e do Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe. Sua arquitetura segue princípios de segurança da informação, integridade contábil e compatibilidade regulatória com o SINARE (Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023).

9.2.1. FUNÇÕES E OBJETIVOS DO RECA-SE

O RECA-SE desempenha cinco funções essenciais dentro do sistema jurisdicional:

1. Registro e autenticação
    - Emissão e codificação de créditos ambientais (tCO_2e) e outros serviços ecossistêmicos (PSA hídrico, biodiversidade, etc.);
    - Atribuição de identificadores únicos (UUID) a cada unidade de crédito, com metadados espaciais e temporais.
2. Verificação e rastreabilidade
    - Armazena documentos comprobatórios de verificação (relatórios de auditoria, imagens de satélite, dados MRV);
    - Permite rastreamento completo do ciclo de vida de cada crédito (emissão, transferência, aposentadoria).
3. Transação e liquidação
    - Funciona como *clearing house* estadual para operações de compra e venda;
    - Registra contratos, cessões e compensações de créditos entre agentes públicos e privados.
4. Interoperabilidade e compliance
    - Garante compatibilidade com o SINARE e com registros internacionais (*Verra Registry, ART-TREES*, *Gold Standard Impact Registry*);
    - Aplica regras de ajuste correspondente para créditos utilizados em mercados internacionais.
5. Transparência e controle social
    - Disponibiliza consultas públicas on-line, relatórios de integridade e dashboards de desempenho;
    - Integra módulo de *open data* para pesquisadores, imprensa e sociedade civil.

9.2.2. ESTRUTURA TECNOLÓGICA E ARQUITETURA DE DADOS

O RECA-SE utiliza uma arquitetura de três camadas funcionais, baseada em padrões internacionais de interoperabilidade e segurança de dados:

Tabela 9.2.2-A Arquitetura de dados

CAMADA	DESCRIÇÃO	TECNOLOGIA PRINCIPAL
1. Base de dados e registro	Armazenamento seguro dos créditos, metadados e documentos MRV	Banco distribuído PostgreSQL + IPFS
2. Camada de interoperabilidade	Comunicação com SINARE, Verra, ART-TREES e Gold Standard via APIs REST	JSON-LD, ISO 14064-3, OGC WMS/WFS
3. Camada de transparência e auditoria	Portal público e painel de controle para agentes autorizados	Blockchain permissionada (Hyperledger Fabric)

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Essa arquitetura assegura que cada crédito tenha hash criptográfico imutável, impedindo duplicidade ou manipulação. O uso de *smart contracts* (contratos inteligentes) automatiza eventos como transferência de titularidade**,** vencimento**,** aposentadoria (retirement).

9.2.3. FLUXO OPERACIONAL DE REGISTRO

O ciclo de vida de um crédito no RECA-SE compreende sete etapas principais, todas documentadas digitalmente e auditáveis:

Tabela 9.2.3-A Fluxo de registro.

ETAPA	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL
1. Pré-registro	Submissão do projeto (REDD+, ARR, Blue Carbon ou PSA) com dados geoespaciais e parecer técnico da SEMAC	Proponente
2. Validação técnica	Revisão metodológica e elegibilidade conforme PEPSACI e metodologias Verra/ART-TREES	ITPS-SE / CTC-SE
3. Verificação independente	Auditoria por terceira parte credenciada (empresas ISO 14065)	Verificador externo
4. Emissão de créditos	Geração do lote (bloco digital) com número único e hash no blockchain estadual	RECA-SE
5. Registro no SINARE	Comunicação automática com o registro nacional via API; marcação de “origem estadual”	RECA-SE / MMA
6. Transação	Negociação em leilão, marketplace ou contrato bilateral; atualização de titularidade	Desenvolve-SE
7. Aposentadoria (retirement)	Extinção definitiva após compensação ou uso; atualização pública do status	SEMAC / CEMAC

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Todo o processo é conduzido em conformidade com as Diretrizes de Integridade do Mercado Voluntário de Carbono (ICVCM, 2023) e os Princípios de Transparência da Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM, 2022).

9.2.4. MODELO DE DADOS E METADADOS AMBIENTAIS

Cada crédito registrado no RECA-SE deve conter um conjunto padronizado de metadados ambientais, espaciais e sociais**,** conforme a norma ISO 19115:2014 (Geographic Metadata) **e o guia** Verra Metadata Framework:

Tabela 9.2.4-A Dados e metadados - modelos

CAMPO	DESCRIÇÃO	EXEMPLO / PADRÃO
UUID	Identificador único do crédito	f82d3f91-4ab2-421f-b913-77a1a2104d33
Bioma	Caatinga / Manguezal / Urbano	"Caatinga"
Tipo de projeto	ARR, REDD+, Blue Carbon, PSA Urbano	"ARR"
Localização	Coordenadas geográficas e município	-10.134, -37.657 (Canindé de São Francisco)
Área (ha)	Área certificada	45,8
Data de emissão	yyyy-mm-dd	2027-04-15
Período de verificação	Início e término do monitoramento	2025–2027
Volume (tCO_2e)	Quantidade de carbono certificado	7.430
Certificadora	Verra / ART-TREES / Gold Standard	"Verra"
Selo estadual	Carbono Sergipe – Integral e Justo	"SIM"
Situação	Ativo / Transferido / Aposentado	"Ativo"

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Esses metadados devem ser integrados às imagens NDVI e séries temporais do MapBiomas e do INPE/DETER, permitindo verificação cruzada de integridade ambiental e fundiária.

9.2.5. INTEROPERABILIDADE COM O SINARE

O RECA-SE deve operar em regime de interoperabilidade plena com o Sistema Nacional de Redução de Emissões (SINARE), conforme previsto no art. 11 do Decreto Federal nº 11.550, de 15 de junho de 2023. Essa integração é assegurada por um protocolo

de comunicação bidirecional (API REST), que sincroniza em tempo real as seguintes informações:

- Identificação única dos créditos estaduais (UUID estadual + ID SINARE);
- Tipologia e metodologia certificadora (VM0047, VM0009 etc.);
- Dados fundiários e georreferenciamento;
- Situação contábil (ativo, transferido, aposentado);
- Ajuste correspondente (caso de transação internacional).

O sistema impede dupla contagem (*double claiming*) e mantém registro consolidado nacional, condição indispensável para reconhecimento pelo Artigo 6.2 do Acordo de Paris.

9.2.6. CAMADAS DE SEGURANÇA E GOVERNANÇA DIGITAL

A arquitetura do RECA-SE deve adotar padrões internacionais de cibersegurança e governança de dados:

1. Autenticação e controle de acesso**:**
    - Certificação digital ICP-Brasil (e-CPF/e-CNPJ);
    - Identidade federada (OpenID Connect e OAuth 2.0).
2. Integridade criptográfica**:**
    - Hash SHA-256 para cada transação;
    - Assinatura digital tripla (proponente, verificador e gestor estadual).
3. Auditoria contínua**:**
    - Logs invioláveis e auditoria independente semestral;
    - Conformidade com LGPD (Lei 13.709, de 2018) **e** ISO 27001.
4. Backup e redundância**:**
    - Espelhamento em nuvens públicas e privadas;
    - Replicação geográfica (Aracaju, Recife, São Paulo).

Essas camadas asseguram transparência, imutabilidade e continuidade operacional, requisitos críticos para confiança de investidores e certificadoras.

9.2.7. INTEGRAÇÃO COM O MERCADO E O FEAAC

O RECA-SE é diretamente conectado ao Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) e ao marketplace Carbono Sergipe, permitindo rastreabilidade financeira completa:

- Cada crédito transacionado deve gerar uma receita automatizada para o FEAAC (por exemplo: taxa de serviço 1,5 %);
- O sistema deve calcular automaticamente royalties de repartição de benefícios (por exemplo, 10 %) para comunidades locais;
- Transações financeiras devem ser conciliadas com o sistema contábil da Desenvolve-SE e auditadas pelo TCE-SE.

9.2.8. TRANSPARÊNCIA E ACESSO PÚBLICO

O RECA-SE deve disponibilizar três níveis de acesso:

Tabela 9.2.8-A Níveis de acesso RECA-SE

NÍVEL	USUÁRIO	FUNÇÕES DISPONÍVEIS
Público geral	Cidadãos, imprensa, academia	Consulta de créditos, mapas interativos, relatórios anuais
Operador autorizado	Projetos e empresas	Submissão, acompanhamento e transferência de créditos
Gestor público	SEMAC, Desenvolve-SE, CEMAC	Edição, validação e auditoria financeira

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O Portal Carbono Sergipe deve exibir um dashboard público com:

- Total de créditos emitidos e aposentados;
- Distribuição por bioma e município;
- Emissões evitadas acumuladas;
- Indicadores sociais e econômicos do programa.

Essa transparência garante acesso equitativo à informação e confiança pública, consolidando a imagem de Sergipe como estado de referência em governança climática digital.

9.2.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

O RECA-SE é o pilar tecnológico e contábil do PJCI-SE, assegurando a integridade, rastreabilidade e interoperabilidade de todo o sistema estadual de créditos de carbono.

Suas principais características são:

- Integração plena com o SINARE e certificadoras internacionais;
- Segurança digital via blockchain e autenticação criptográfica;
- Transparência pública e rastreabilidade social dos benefícios;
- Automação financeira vinculada ao FEAAC;
- Compliance internacional com o Acordo de Paris (Art. 6) e as normas ICVCM.

Essa infraestrutura tecnológica confere ao programa padrão de governança equivalente aos sistemas europeus (EU ETS Registry) e latino-americanos (Chile e Colômbia), tornando o PJCI-SE o primeiro sistema subnacional brasileiro com registro digital completo, público e interoperável**.**

9.3. FUNDO ESTADUAL DE ATIVOS AMBIENTAIS E CARBONO (FEAAC)

O Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono de Sergipe (FEAAC**)** é o instrumento financeiro central do PJCI-SE **e o** principal mecanismo de sustentação econômica da política climática estadual**.**

Criado pelo Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe (Plano Sergipano de Economia Verde) e vinculado à SEMAC, o FEAAC possui natureza contábil especial, permitindo a gestão segregada de receitas ambientais, reinvestimento em projetos e auditoria contínua.

O Fundo opera sob princípios de **t**ransparência, eficiência alocativa, rastreabilidade e integridade fiscal**,** em consonância com as diretrizes do Artigo 6 do Acordo de Paris**,** da Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e da Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021 (Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais – PSA).

9.3.1. FINALIDADE E ESCOPO DO FEAAC

A finalidade do FEAAC é captar, gerir e aplicar recursos financeiros destinados a:

1. Implementar e consolidar o Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE)**;**
2. Financiar ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas;
3. Remunerar serviços ambientais e projetos de restauração (PSA, ARR, Blue Carbon, saneamento verde);
4. Apoiar a pesquisa científica, inovação e monitoramento ambiental (MRV);
5. Fomentar cadeias produtivas verdes e inclusão socioeconômica;
6. Garantir sustentabilidade fiscal e continuidade das políticas ambientais estaduais**.**

O Fundo atua como mecanismo de equalização financeira, equilibrando o fluxo de receitas provenientes de créditos de carbono, doações e investimentos privados com a execução de políticas públicas ambientais e sociais.

9.3.2. NATUREZA JURÍDICA E INSTITUCIONAL

O FEAAC é um fundo contábil de natureza pública, com autonomia financeira e contabilidade segregada**,** sob supervisão da SEMAC e administração financeira da Desenvolve-SE. Sua gestão obedece aos princípios da Lei Federal nº 4.320, de 1964 (Normas Gerais de Direito Financeiro) e às boas práticas internacionais de fundos climáticos (Climate Investment Funds – CIF; Green Climate Fund – GCF).

Tabela 9.3.2-A Órgãos gestores do FEAAC

ÓRGÃO	FUNÇÃO	PERIODICIDADE DE REUNIÃO
Comitê Gestor do FEAAC (CG-FEAAC)	Planejamento e deliberação de investimentos	Trimestral
Secretaria Executiva (Desenvolve-SE)	Execução orçamentária e operacional	Permanente
Câmara Técnica de Finanças Verdes (CTFV)	Avaliação de riscos e monitoramento fiscal	Bimestral
Conselho Fiscal (CEMAC)	Controle externo e auditoria social	Semestral

Fonte: elaboração própria a partir da minuta de PL que institui o PEPSACI

A composição do CG-FEAAC é paritária (governo/sociedade civil) e inclui representantes da SEMAC, SEPLAN, SEFAZ, Desenvolve-SE, FIES, universidades, associações rurais e entidades ambientalistas.

9.3.3. FONTES DE RECEITA

O FEAAC deve ter uma estrutura de financiamento diversificada, composta por receitas diretas, vinculadas e complementares, conforme o quadro a seguir:

Tabela 9.3.3-A Fontes de receita

CATEGORIA	FONTE	DESCRIÇÃO	PROJEÇÃO MÉDIA ANUAL (R$ MILHÕES)
1. Receita primária	Venda de créditos de carbono jurisdicionais (RECA-SE)	35% do valor líquido das transações	52
2. Receita secundária	Taxas de registro e auditoria (1,5%)	Cobrança sobre operações RECA-SE	3
3. Receita vinculada	Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA)	Transferências voluntárias e contrapartidas	45
4. Receita internacional	Cooperação e fundos climáticos (GCF, GEF, REM, LEAF)	Doações e contratos de performance	40
5. Receita privada	Compensações empresariais (offsets)	Parcerias corporativas e ESG	25
6. Receita financeira	Aplicações de curto prazo e rendimentos	Fundo de reserva e investimentos	6
Total estimado			≈ R$ 171 milhões/ano (2026–2030)

Fonte: elaboração própria a partir da minuta de PL que institui o PEPSACI

Sugere-se que a meta decenal (2026–2035) seja acumular R$ 1,7 bilhão, dos quais pelo menos 60% devem ser reinvestidos em projetos locais de mitigação e inclusão produtiva[87].

[87] O valor foi estimado com base em três componentes verificados em fontes públicas e metodologias reconhecidas: Volume potencial anual de créditos jurisdicionais (PJCI-SE): Projeção de 500 mil tCO_2e/ano entre 2027 e 2035, conforme o cenário médio do Verra Market Trends Report 2024 e a faixa de geração calculada no Produto 5.2 (carbono Caatinga, Blue Carbon e PSA); Preço médio de comercialização: Intervalo de US$ 30–35/tCO_2e, adotado a partir do Ecosystem Marketplace 2024 e de contratos recentes da Verra VM0047 (ARR) e ART-TREES; Taxa de câmbio e período de acumulação: Considerando câmbio médio R$ 5,20/US$, projeção de 9 anos (2026–2035) e taxa média anual de crescimento de 4,5%, o valor acumulado é: (500.000 tCO2e/ano×US$32,5×R$5,20)×9 anos=R$760 milhões (receita líquida direta).

9.3.4. ESTRUTURA DE CONTAS E DESTINAÇÕES

O FEAAC deve ser organizado em contas temáticas vinculadas, que permitem rastreabilidade de cada fluxo financeiro, conforme modelo dos Climate Funds da ONU[88].

Tabela 9.3.4-A Estrutura de contas e destinação.

CONTA TEMÁTICA	PERCENTUAL MÍNIMO DE DESTINAÇÃO	FINALIDADE ESPECÍFICA
Fundo Carbono Caatinga (FCC)	25%	Projetos de reflorestamento, ARR e PSA rural
Fundo Blue Carbon e Costeiro (FBCC)	20%	Recuperação de manguezais, apicuns e áreas marinhas
Fundo PSA Hídrico e Urbano (FPSAHU)	15%	Saneamento verde e créditos de metano evitado
Fundo de Inovação e MRV (FIMRV)	10%	Pesquisa científica, tecnologia e monitoramento
Fundo de Desenvolvimento Verde (FDV)	15%	Cadeias produtivas e inclusão socioeconômica
Reserva de Sustentabilidade e Risco (RSR)	10%	Garantia de liquidez, buffer climático e flutuação de preços
Custeio administrativo (máx.)	5%	Gestão operacional e auditoria independente

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Essa estrutura garante vinculação contábil precisa e transparência plena do uso dos recursos, com rastreamento via RECA-SE e Portal Carbono Sergipe.

9.3.5. CRITÉRIOS DE APLICAÇÃO E ELEGIBILIDADE

Os recursos do FEAAC devem ser aplicados mediante planos anuais de investimento (PAI) aprovados pelo CG-FEAAC, com base nos seguintes critérios de elegibilidade:

1. Adicionalidade e integridade ambiental**:** o projeto deve gerar redução ou sequestro mensurável e adicional de GEE;

Somando os componentes adicionais — créditos energéticos (I-RECs) e turismo neutro — o montante totaliza aproximadamente R$ 1,7 bilhão ao final da década.

88 *UNFCCC – Green Climate Fund (GCF): Financial Management Framework and Results-Based Payment Mechanism*, 2023; UNDP – Adaptation Fund: *Operational Policies and Guidelines for Parties to* the Kyoto Protocol*, 2022; UNEP – Global Environment Facility (GEF):* Financial Reporting *Template and Monitoring Framework*, 2023.

2. Conformidade legal: regularidade fundiária e ambiental comprovada (CAR, licenças, título ou termo de posse legítima);
3. Equidade social**:** priorização de agricultores familiares, comunidades tradicionais e mulheres;
4. Rastreabilidade e verificação: monitoramento via MRV estadual e validação técnica do ITPS-SE;
5. Viabilidade econômica: custo-benefício positivo e sustentabilidade financeira pós-financiamento;
6. Coerência territorial: alinhamento com as zonas prioritárias (ZP1–ZP4) definidas no Capítulo 7.

A pontuação técnica e socioambiental será publicada em edital anual, com sistema de ranqueamento transparente e acessível on-line**.**

9.3.6. REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS

A repartição dos benefícios do PJCI-SE é regulamentada pelo PEPSACI, garantindo distribuição justa e proporcional das receitas entre Estado, comunidades e proponentes.

Tabela 9.3.6-A Repartição de Benefícios.

DESTINATÁRIO	PERCENTUAL DO VALOR LÍQUIDO DO CRÉDITO	FINALIDADE
Produtores rurais / comunidades tradicionais	40%	PSA, manutenção de áreas e manejo sustentável
Municípios participantes	10%	Fundo Municipal de Meio Ambiente e educação ambiental
FEAAC (reinversão estadual)	35%	Novos projetos e buffer climático
Custos de verificação e transação (MRV e RECA-SE)	10%	Auditoria e operação
Reserva estratégica de risco e inovação	5%	Fundo de estabilização e P&D

Fonte: elaboração própria a partir da minuta de PL que institui o PEPSACI

Essa estrutura de repartição fortalece a legitimidade social e a continuidade financeira do sistema, evitando concentração de receitas e garantindo que os benefícios retornem às comunidades conservacionistas.

9.3.7. GOVERNANÇA FISCAL E TRANSPARÊNCIA

O FEAAC deve operar com base em um sistema de governança fiscal multiescalar, integrando as normas do Tesouro Estadual, Tribunal de Contas e Controladoria-Geral do Estado (CGE).

São instrumentos obrigatórios de gestão:

1. Plano Plurianual (PPA Verde): define metas e eixos de investimento para quatro anos;
2. Relatório Anual de Execução Financeira (RAEF): detalha receitas, despesas e resultados;
3. Painel de Transparência FEAAC: dashboard público hospedado no Portal Carbono Sergipe, com dados em tempo real;
4. Auditoria independente: realizada anualmente por empresa credenciada ISO 14065;
5. Controle social: acompanhamento contínuo pelo CEMAC e pelo Fórum Sergipano de Mudanças do Clima (FSMAC).

Todos os contratos e transferências devem ser registrados no Sistema de Administração Financeira do Estado (SIAFE-SE) e vinculados automaticamente ao RECA-SE, garantindo integridade contábil e compliance anticorrupção.

9.3.8. SUSTENTABILIDADE FINANCEIRA E BUFFER CLIMÁTICO

O FEAAC deve adotar um modelo de buffer financeiro semelhante ao mecanismo de "*pooled buffer accounts*" do padrão Verra VCS. Esse mecanismo reserva entre 10% e 20% dos créditos emitidos em cada lote, funcionando como garantia de integridade e compensação de perdas futuras (ex.: incêndios, secas, reemissões).

Adicionalmente, o Fundo de Reserva de Sustentabilidade (RSR) deve acumular 10% da receita anual líquida, reinvestida em ativos de baixo risco (títulos públicos, fundos climáticos soberanos), garantindo:

- Cobertura de volatilidade de preços no mercado de carbono;
- Financiamento anticíclico de PSA e MRV;
- Sustentabilidade financeira do programa a longo prazo.

Com esse mecanismo, o PJCI-SE mantém liquidez mesmo em períodos de baixa de mercado, evitando descontinuidade de pagamentos e assegurando previsibilidade fiscal.

9.3.9. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

O FEAAC constitui o mecanismo financeiro estruturante do PJCI-SE, assegurando que a receita climática do Estado seja transparente, rastreável e socialmente redistributiva. Seus diferenciais principais são:

- Arquitetura contábil temática, inspirada nos fundos climáticos internacionais (GCF, GEF, CIF);
- Diversificação de receitas (créditos de carbono, PSA, cooperação internacional, compensações privadas);
- Governança paritária e transparente, com controle social e auditoria independente;
- Mecanismos de repartição justa de benefícios, fortalecendo a inclusão produtiva;
- Sustentabilidade financeira de longo prazo, via buffer climático e fundo de reserva.

O FEAAC garante que cada tonelada de carbono certificada se traduza em renda, emprego e regeneração ambiental, consolidando o modelo de economia verde de Sergipe como referência nacional em finanças climáticas subnacionais.

9.4. SISTEMA DE MONITORAMENTO, RELATO E VERIFICAÇÃO (MRV)

O Sistema Estadual de MRV do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (MRV-SE) constitui o instrumento técnico de mensuração, validação e certificação dos resultados climáticos e socioeconômicos do programa. Sua função central é garantir transparência, integridade científica e rastreabilidade pública de todas as reduções de emissões e remoções de carbono reportadas pelo Estado.

O MRV-SE adota uma arquitetura multinível e interoperável, permitindo a integração entre dados de campo, sensores remotos, inventários estaduais e plataformas nacionais (SINARE e SEEG). Ele é coordenado pelo Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe (ITPS-SE), sob supervisão metodológica da SEMAC, em

cooperação com universidades, centros de pesquisa e órgãos federais (INPE, IBGE, ANA e Embrapa).

9.4.1. OBJETIVOS E PRINCÍPIOS DO SISTEMA

O MRV-SE tem como objetivos principais:

1. Mensurar com precisão o volume de carbono sequestrado ou evitado, segundo metodologias reconhecidas internacionalmente;
2. Reportar periodicamente os resultados à SEMAC, ao CEMAC e às certificadoras (Verra, ART-TREES, Gold Standard);
3. Verificar e auditar de forma independente a integridade dos dados e a conformidade com os requisitos legais e técnicos;
4. Publicar e disponibilizar relatórios anuais de desempenho e séries históricas de emissões e remoções;
5. Integrar e harmonizar o sistema estadual com o SINARE e o Inventário Nacional de Emissões.

O MRV-SE opera com base em quatro princípios: transparência, consistência, comparabilidade e verificabilidade, conforme estabelecido nas *2006 IPCC Guidelines* e no *2019 Refinement*.

9.4.2. ESTRUTURA GERAL DO MRV-SE

O sistema é composto por três subsistemas integrados**,** cada um com responsabilidades e metodologias específicas:

Tabela 9.4.2-A MRV-SE

SUBSISTEMA	FUNÇÃO PRINCIPAL	INSTITUIÇÃO COORDENADORA
M – Monitoramento	Coleta e processamento de dados geoespaciais e de campo	ITPS-SE / INPE / Embrapa
R – Relato	Consolidação de inventários e elaboração de relatórios oficiais	SEMAC / CEMAC
V – Verificação	Auditoria técnica e certificação independente	Entidades acreditadas ISO 14065

Fonte: elaboração própria a partir da minuta de PL que institui o PEPSACI

A integração entre esses subsistemas deve ser garantida por uma plataforma digital única, hospedada no RECA-SE, que automatiza fluxos de dados e reduz o risco de inconsistências.

9.4.3. MONITORAMENTO

O monitoramento é realizado por meio de uma combinação de imagens de satélite, dados climáticos, inventários de biomassa e medições de campo, permitindo estimativas consistentes e auditáveis de carbono.

a) Monitoramento remoto (geoespacial)

- Fontes primárias**:** MapBiomas (Coleção 8), INPE (PRODES, DETER), ESA-Sentinel-2 e PlanetScope;
- Indicadores**:** NDVI, EVI, albedo, umidade do solo e cobertura vegetal;
- Resolução temporal**:** 30 dias;
- Resolução espacial**:** 10–30 m;
- Processamento**:** algoritmos de classificação supervisionada (Random Forest e CNN – *Convolutional Neural Networks*);
- Output**:** mapas de uso e cobertura da terra, biomassa viva e carbono estimado (tC/ha).

b) Inventário florestal e de solos (medição de campo)

- Amostragem sistemática em parcelas permanentes (1 ha cada, espaçamento 5×5 km);
- Determinação de DAP, altura total, densidade da madeira e carbono do solo (SOC, 0–30 cm);
- Metodologia baseada nas IPCC Guidelines (vol. 4, cap. 4–5);
- Revisão científica anual pelo Comitê Técnico-Científico (CTC-SE)**.**

c) Integração com dados climáticos

- Séries históricas (1961–2024) de precipitação e temperatura da ANA, INMET e CHIRPS;
- Cálculo de indicadores de estresse hídrico e evapotranspiração;
- Modelagem de resiliência ecológica frente a eventos extremos (*drought index SPEI*).

Essas camadas devem ser integradas em um Sistema de Informações Climáticas de Sergipe (SIC-SE), operado pelo ITPS-SE e conectado à API do RECA-SE.

9.4.4. RELATO

O relato (*reporting*) consolida as informações do monitoramento em inventários jurisdicionais anuais, organizados por bioma, setor e metodologia. Cada ciclo de relato contém:

1. Inventário de emissões e remoções (IER-SE):
    - Emissões brutas por setor (energia, agricultura, resíduos, LULUCF);
    - Remoções líquidas (ARR, Blue Carbon, PSA);
    - Taxas de desmatamento e regeneração natural (ha/ano).
2. Relatório de mitigação e desempenho (RMD-SE):
    - Volume total de créditos verificados (tCO_2e);
    - Comparação com metas do PSEV e Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe;
    - Indicadores sociais (emprego verde, renda PSA, gênero, CLPI).
3. Relatório financeiro consolidado (RFC):
    - Receitas e despesas vinculadas ao FEAAC;
    - Aplicações e investimentos temáticos (Caatinga, Blue Carbon, inovação).

O formato segue o *GHG Protocol for Cities (WRI, 2022*) adaptado ao nível estadual e compatível com o *SINARE Reporting Template (MMA, 2024*), previamente citado**.**

9.4.5. VERIFICAÇÃO

A verificação independente é condição essencial de credibilidade e requisito obrigatório para certificação sob Verra, Gold Standard e ART-TREES. Os auditores devem ser organismos de verificação acreditados pela ISO 14065:2020 e pelo INMETRO, com experiência comprovada em projetos florestais e costeiros.

9.4.5.1.Etapas da verificação:

1. Auditoria documental**:** análise de relatórios, planilhas e metodologias utilizadas;
2. Revisão de consistência geoespacial**:** conferência entre dados de satélite e inventário;

3. Auditoria de campo (spot check): verificação de amostras representativas (mínimo 10% das áreas);
4. Cálculo independente de incerteza: erro padrão e coeficiente de variação;
5. Emissão do relatório de verificação (VR): recomendação de aprovação, correção ou rejeição;
6. Publicação e arquivamento digital no RECA-SE.

Cada ciclo de verificação cobre um período de cinco anos e inclui auditorias intercalares anuais de consistência.

9.4.6. INTEGRAÇÃO COM RECA-SE, FEAAC E SINARE

O MRV-SE é plenamente integrado aos sistemas de registro e finanças**:**

- Com o RECA-SE: os resultados de verificação geram automaticamente a emissão dos créditos correspondentes, vinculando lote e certificado;
- Com o FEAAC: os relatórios de desempenho alimentam os indicadores de repartição de benefícios e ativam pagamentos automáticos de PSA;
- Com o SINARE: o sistema exporta relatórios consolidados anuais em formato JSON-LD, atualizando o inventário nacional.

Essa integração cria uma linha de rastreabilidade contínua desde a medição em campo até a liquidação financeira, reduzindo risco de fraude e garantindo conformidade internacional.

9.4.7. INDICADORES E MÉTRICAS DE DESEMPENHO

O MRV-SE deve adotar indicadores técnicos e socioeconômicos padronizados, permitindo avaliação anual de resultados.

Tabela 9.4.7-A Indicadores e métricas de desempenho.

CATEGORIA	INDICADOR	UNIDADE	FONTE / METODOLOGIA
Carbono	Carbono sequestrado líquido	tCO_2e/ano	IPCC / Verra
Área restaurada	Áreas ARR implementadas	ha	MRV-SE / ITPS-SE
Taxa de regeneração natural	Crescimento de vegetação nativa	%/ano	NDVI / MapBiomas

CATEGORIA	INDICADOR	UNIDADE	FONTE / METODOLOGIA
Emissões evitadas	Redução em relação ao baseline	tCO_2e/ano	PRODES / DETER
Benefícios sociais	Famílias beneficiadas por PSA	nº	SEMAC / FEAAC
Gênero e juventude	% de mulheres e jovens	%	MRV Social / FSMAC
Renda verde	Valor distribuído em PSA	R$/ano	FEAAC
Integridade fundiária	% de áreas regularizadas	%	ITER-SE / CAR
Custo por tonelada de carbono	Eficiência financeira	R$/$tCO_2e$	FEAAC / CTC-SE

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Esses indicadores alimentam o Painel de Transparência Climática de Sergipe, acessível ao público no Portal Carbono Sergipe.

9.4.8. CERTIFICAÇÃO DIGITAL E RASTREABILIDADE

Cada relatório MRV e cada lote de crédito deve receber assinatura digital tripla (técnica, financeira e regulatória) e é registrado no blockchain do RECA-SE.

O certificado deve conter:

- Código único (UUID + Hash);
- Identificação do verificador e data de emissão;
- Referência à metodologia utilizada (VM0047, VM0009);
- Localização geográfica e volume de carbono certificado;
- Link direto para o relatório de auditoria pública.

Esse modelo garante rastreabilidade de ponta a ponta (*end-to-end traceability*) e impede a duplicação ou falsificação de certificados, atendendo aos padrões da Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2023).

9.4.9. TRANSPARÊNCIA E CONTROLE SOCIAL

Todos os relatórios e auditorias do MRV-SE são disponibilizados em formato aberto (*open data*), permitindo auditoria pública e científica. O CEMAC e o FSMAC possuem acesso integral à base de dados, podendo emitir recomendações e solicitar revisões.

Além disso, o sistema inclui:

- Relatórios semestrais de progresso (atualizados no Portal Carbono Sergipe);
- Reuniões públicas anuais de prestação de contas;
- Plataforma de denúncia e feedback de irregularidades, sob anonimato, em conformidade com a Lei Anticorrupção (Lei Federal nº 12.846, de 1º de agosto de 2013).

9.4.10. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

O Sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV-SE) é o instrumento científico e operacional de integridade do PJCI-SE.

Suas principais características são:

- Integração total com o RECA-SE, FEAAC e SINARE;
- Base científica robusta, com metodologias IPCC, Verra e ART-TREES;
- Verificação independente e auditável por organismos acreditados;
- Transparência pública e controle social permanente;
- Automação e rastreabilidade blockchain, assegurando confiança de investidores e certificadoras.

Com o MRV-SE, Sergipe consolida o primeiro sistema estadual de monitoramento climático de alta resolução do Nordeste, tornando-se referência em tecnologia, governança e credibilidade ambiental.

10. RECOMENDAÇÕES ESTRATÉGICAS E PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO

O Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) foi concebido como uma política pública estruturante, capaz de articular mitigação climática, desenvolvimento econômico e inclusão social. Após a consolidação dos pilares técnicos (modelagem, governança, finanças e MRV), o sucesso de sua implementação dependerá da capacidade de execução normativa e administrativa.

Assim, o Capítulo 9 define um conjunto de diretrizes estratégicas e operacionais que deverão orientar a fase de execução, assegurando coerência interinstitucional**,** viabilidade fiscal **e** aderência internacional**.**

10.1. DIRETRIZES NORMATIVAS E OPERACIONAIS

A implementação do PJCI-SE exige um marco normativo dinâmico, integrado e harmônico com as políticas estaduais e federais. As diretrizes apresentadas nesta subseção consolidam o conjunto de medidas jurídicas, administrativas e técnicas que devem ser adotadas pelo Governo de Sergipe para assegurar a execução plena e sustentável do programa.

10.1.1. CONSOLIDAÇÃO NORMATIVA E ALINHAMENTO JURÍDICO

A primeira etapa para a consolidação do programa consiste em garantir segurança jurídica **e** estabilidade regulatória**.**

Recomenda-se a adoção das seguintes medidas:

1. Aprovação da Lei do Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI), atualmente em tramitação na Assembleia Legislativa, como base normativa vinculante do PJCI-SE.
    - Esta lei deve incluir, como anexo operacional, a estrutura do FEAAC e o regulamento do RECA-SE**,** de modo a assegurar unidade normativa.
    - Aprovada, ela substituirá progressivamente os decretos complementares, consolidando o marco legal estadual de carbono.
2. Edição de decreto regulamentar complementar, com três objetivos:
    - Definir as competências operacionais da SEMAC, Desenvolve-SE, ITPS-SE e CEMAC;
    - Estabelecer o calendário oficial de MRV (ciclos de 5 anos com relatórios intercalares);
    - Determinar o formato e as normas de interoperabilidade do RECA-SE com o SINARE.
3. Harmonização com a legislação federal e internacional:

- Adequar o PJCI-SE às regras do Decreto Federal nº 11.550, de 2023 (SBCE/SINARE);
- Assegurar compatibilidade com os requisitos do Artigo 6 do Acordo de Paris, permitindo transações internacionais com "ajuste correspondente";
- Estabelecer mecanismos de proteção contra dupla contagem (double claiming) e dupla monetização**.**

4. Incorporação dos instrumentos do PSEV ao Plano Plurianual (PPA 2026–2029), com rubricas orçamentárias específicas para:
   - FEAAC (finanças climáticas);
   - MRV-SE (monitoramento e auditoria);
   - PSA estadual (transferência direta às comunidades);
   - Fundo de inovação e pesquisa climática.

Essas medidas formam o núcleo jurídico-operacional do PJCI-SE e asseguram previsibilidade de longo prazo.

10.1.2. DIRETRIZES ADMINISTRATIVAS E DE GOVERNANÇA

Para garantir eficiência operacional e coordenação entre as instituições envolvidas, propõem-se as seguintes diretrizes administrativas:

1. Criação formal da Unidade Gestora do Programa (UGP-PJCI)**,** vinculada à SEMAC, com equipe multidisciplinar composta por:
   - Coordenador executivo;
   - Especialista em finanças climáticas;
   - Analista de MRV e geoprocessamento;
   - Gestor jurídico-ambiental;
   - Analista social e de inclusão produtiva. A UGP atuará como núcleo técnico-administrativo do PJCI-SE, responsável pela interface entre SEMAC, Desenvolve-SE e ITPS-SE.
2. Integração do sistema RECA-SE / FEAAC / MRV-SE em uma plataforma digital única, hospedada em ambiente seguro do governo estadual e interligada via API ao SINARE e aos registros internacionais (Verra e ART-TREES).

3. Elaboração de manual de procedimentos operacionais (MPO-PJCI)**,** com protocolos padronizados para:
    - Submissão e validação de projetos;
    - Emissão, transação e aposentadoria de créditos;
    - Auditoria, verificação e publicação de relatórios;
    - Repartição de benefícios e pagamentos PSA.
4. Criação de cronograma trienal de revisão de governança, permitindo ajustes periódicos em função da evolução do mercado e das normas internacionais.
5. Institucionalização do Comitê de Finanças Climáticas (CFC-SE)**,** subordinado ao CG-FEAAC, para avaliar:
    - Sustentabilidade fiscal e desempenho financeiro do FEAAC;
    - Aplicação dos recursos por conta temática;
    - Eficiência dos pagamentos PSA e das transferências municipais.
6. Integração federativa permanente com MMA, MAPA e MRE, mediante comitê conjunto de articulação, assegurando que o PJCI-SE atue de forma coordenada com o Plano Nacional de Neutralidade Climática (2050)**.**

10.1.3. DIRETRIZES TÉCNICAS E METODOLÓGICAS

O PJCI-SE deve manter padrões metodológicos compatíveis com os frameworks internacionais de carbono e garantir qualidade técnica de dados e indicadores.

As principais diretrizes técnicas são:

1. Adoção obrigatória das metodologias reconhecidas internacionalmente**:**
    - Caatinga**:** *VM0047 – Afforestation, Reforestation and Revegetation of Lands Other Than Wetlands (Verra, 2023)*;
    - Manguezais**:** *VM0009 – Tidal Wetland and Seagrass Restoration (Verra, 2022)*;
    - Blue Carbon integrado: padrões *ART-TREES* e *Gold Standard for Land Use and Forestry*.

2. Revisão e validação científica contínua por meio do Comitê Técnico-Científico (CTC-SE), assegurando aderência às *2006 IPCC Guidelines* e ao *2019 Refinement*.
3. Padronização de indicadores estaduais, conforme proposto no MRV-SE:
    - Carbono sequestrado líquido (tCO_2e/ano);
    - Área restaurada e regenerada (ha/ano);
    - Emissões evitadas por setor;
    - Benefícios sociais diretos (famílias, gênero, juventude).
4. Interoperabilidade total com bases geoespaciais (MapBiomas, INPE, IBGE, ANA), utilizando padrões OGC (Open Geospatial Consortium) e metadados ISO 19115**.**
5. Auditoria técnica obrigatória de todos os relatórios MRV, com periodicidade quinquenal e auditorias intercalares anuais de consistência.
6. Publicação anual do Relatório Estadual de Emissões e Compensações (REEC-SE**)**, consolidando dados verificados e comparáveis internacionalmente.

10.1.4. DIRETRIZES DE INCLUSÃO SOCIAL E SALVAGUARDAS

A política climática estadual deve combinar eficiência ambiental com **justiça social e territorial**.

As diretrizes de inclusão e salvaguardas incluem:

1. Cláusulas de equidade social nos contratos PSA e ARR:
    - Mínimo de 40% das beneficiárias diretas mulheres;
    - Mínimo de 30% das vagas em capacitação técnica destinadas a jovens (18–29 anos).
2. Aplicação obrigatória do Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) em todas as áreas de comunidades tradicionais, em conformidade com a Convenção 169 da OIT.
3. Criação do Cadastro Estadual de Beneficiários de Serviços Ambientais (CEBSA), integrado ao RECA-SE e ao FEAAC, com dados sobre renda, localização e tipo de serviço ambiental prestado.

4. Adoção de salvaguardas socioambientais compatíveis com o *Environmental and Social Framework* (World Bank, 2017) e com o *UNDP Social and Environmental Standards (SES, 2021)*.
5. Instituição de um Sistema Estadual de Reclamações e Conflitos (SERC-SE), operado pela SEMAC e FSMAC, permitindo resolução justa e transparente de disputas fundiárias ou contratuais.

10.1.5. DIRETRIZES DE COMUNICAÇÃO E TRANSPARÊNCIA

A credibilidade do PJCI-SE depende da sua visibilidade e confiança pública, tanto nacional quanto internacional.

Recomenda-se:

1. Lançamento oficial do portal multilíngue "Carbono Sergipe"**,** com integração direta aos dashboards do RECA-SE e FEAAC;
2. Publicação semestral de boletins de desempenho climático**,** com indicadores de sequestro, emissões evitadas e investimentos realizados;
3. Produção de relatórios anuais bilíngues (PT/EN**)** de integridade e impacto socioeconômico;
4. Participação ativa nas conferências e feiras internacionais de clima (*COP, Brazil Climate Summit, ICROA Annual Meeting*)**;**
5. Criação de selo público "Carbono Sergipe – Integral e Justo"**,** certificando empresas e municípios que participem ativamente do programa;
6. Campanhas educativas e programas de comunicação comunitária, voltados a agricultores, pescadores e populações tradicionais, para disseminar boas práticas e ampliar adesão.

10.1.6. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

As estabelecem o conjunto mínimo de medidas que asseguram a implantação ordenada, legalmente sólida e tecnicamente confiável do PJCI-SE. Elas garantem que o programa seja:

- Juridicamente robusto, com base no PEPSACI, Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e Decreto Estadual nº 1.016, de 11 de abril de 2025, do Estado de Sergipe;

- Administrativamente eficiente, por meio de uma UGP estruturada e plataformas integradas;
- Cientificamente credível, com metodologias IPCC e certificação internacional;
- Socialmente justo, com salvaguardas e participação comunitária;
- Transparente e comunicativo, assegurando legitimidade e reputação internacional.

Essas diretrizes constituem o marco orientador para o plano de execução, que será detalhado na subseção seguinte.

10.2. ETAPAS DE EXECUÇÃO E CRONOGRAMA

A implantação do Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe (PJCI-SE) requer uma sequência temporal estruturada, compatível com a maturação institucional do Estado, a dinâmica dos mercados de carbono e a disponibilidade de recursos do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC).

O horizonte de execução foi planejado para 40 anos (2025–2065), em consonância com as metas de neutralidade de carbono (net zero) e com os ciclos de revisão do Acordo de Paris (Global Stocktake, 5/5 anos).

O plano está dividido em cinco fases principais, cada uma com objetivos, produtos, indicadores e resultados esperados.

10.2.1. FASE I – ESTRUTURAÇÃO INSTITUCIONAL E JURÍDICA (2025–2026)

10.2.1.1. Objetivo geral:

Consolidar o arcabouço legal, administrativo e tecnológico do programa, garantindo segurança jurídica e operacionalidade inicial.

10.2.1.2. Principais ações:

1. Aprovação do PEPSACI pela Assembleia Legislativa, com regulamentação executiva pela SEMAC;
2. Criação formal da Unidade Gestora do Programa (UGP-PJCI) e instalação do Comitê Gestor do FEAAC;

3. Implementação inicial do RECA-SE e integração piloto com o SINARE;
4. Constituição do Comitê Técnico-Científico (CTC-SE) e elaboração dos primeiros protocolos MRV;
5. Captação inicial de recursos internacionais (REM, GCF, GEF) e lançamento dos primeiros editais PSA;
6. Seleção e credenciamento de verificadores independentes (ISO 14065).

10.2.1.3. Produtos esperados:

- Lei e decretos regulamentares publicados;
- RECA-SE em operação piloto;
- 3 editais PSA (Caatinga, manguezal e inovação);
- Primeiro inventário estadual de emissões publicado;
- Captação mínima de R$ 100 milhões para o FEAAC.

10.2.1.4. Indicadores-chave (KPIs):

- 100% da base jurídica consolidada;
- 5.000 ha de áreas piloto cadastradas;
- 150.000 tCO_2e verificadas e em processo de certificação.

10.2.2. FASE II – IMPLEMENTAÇÃO OPERACIONAL E PILOTOS JURISDICIONAIS (2027–2030)

10.2.2.1. Objetivo geral:

Expandir o programa para escala estadual inicial, consolidando a governança e emitindo os primeiros créditos certificados internacionalmente.

10.2.2.2. Principais ações:

1. Ampliação do RECA-SE para operação plena e integração com o FEAAC e MRV-SE;
2. Certificação de projetos-piloto de Caatinga e Blue Carbon sob padrões Verra e ART-TREES;
3. Expansão do PSA rural e hídrico com participação de pequenos produtores;
4. Implementação do programa de regularização fundiária verde (PRFV);

5. Integração do MRV-SE com o MapBiomas e o INPE (dados automatizados NDVI)**;**
6. Criação de arranjos produtivos locais (APLs) verdes, vinculados a atividades sustentáveis (mel, energia solar, manejo florestal).

10.2.2.3. Produtos esperados:

- 30.000 ha sob manejo certificado;
- 1 $MtCO_2e$ (milhão de toneladas) emitidas em créditos verificados;
- R$ 400 milhões em receitas consolidadas no FEAAC;
- 3.000 famílias beneficiadas com PSA;
- Sistema de MRV-SE validado por auditoria externa.

10.2.2.4. Indicadores-chave (KPIs):

- 90% de interoperabilidade RECA-SE / SINARE;
- 100% de auditorias verificadas;
- Primeira emissão de créditos Blue Carbon e ARR Caatinga com certificação internacional.

10.2.3. FASE III – EXPANSÃO E CONSOLIDAÇÃO TERRITORIAL (2031–2040)

10.2.3.1. Objetivo geral:

Consolidar o PJCI-SE como programa jurisdicional de abrangência estadual, com cobertura superior a 60% das áreas prioritárias de mitigação.

10.2.3.2. Principais ações:

1. Escalonamento de projetos ARR e REDD+ jurisdicionais em todos os municípios do sertão e litoral;
2. Criação do Cadastro Estadual de Beneficiários de Serviços Ambientais (CEBSA) e vinculação automática ao RECA-SE;
3. Integração de novos instrumentos econômicos (pagamento por biodiversidade e créditos hídricos);
4. Operação do marketplace Carbono Sergipe em parceria com bolsas regionais (B3, *ClimateTrade*);

5. Inclusão de cooperativas e consórcios intermunicipais como agentes agregadores de PSA;
6. Fortalecimento do FEAAC e criação de subfundos municipais (FMAs integrados).

10.2.3.3. Produtos esperados:

- 150.000 ha sob projetos certificados (Caatinga e manguezais);
- 10 $MtCO_2e$ acumulados em créditos emitidos;
- 20.000 famílias beneficiadas;
- Fundo FEAAC ultrapassando R$ 1,5 bilhão em ativos;
- Expansão de APLs verdes em 30 municípios.

10.2.3.4. Indicadores-chave (KPIs):

- 100% dos municípios com inventários locais;
- 70% das áreas degradadas da Caatinga sob restauração;
- 40% dos manguezais com manejo certificado;
- 20% de aumento médio de renda rural nas áreas PSA.

10.2.4. FASE IV – MATURIDADE E INTEGRAÇÃO NACIONAL/INTERNACIONAL (2041–2050)

10.2.4.1. Objetivo geral:

Consolidar Sergipe como referência nacional em governança climática, com reconhecimento formal nos mercados regulados internacionais.

10.2.4.2. Principais ações:

1. Reconhecimento oficial do PJCI-SE pelo Governo Federal como programa jurisdicional compatível com o Artigo 6 do Acordo de Paris;
2. Autorização de exportação de créditos com ajuste correspondente (ITMOs);
3. Participação no mercado regulado latino-americano (Aliança do Pacífico e Mercosur Verde);
4. Criação do Observatório Sergipano de Finanças Climáticas, ligado à Desenvolve-SE e universidades;

5. Expansão dos instrumentos financeiros verdes (debêntures, fundos de investimento em carbono, green bonds);
6. Implementação plena do programa de neutralidade climática estadual (Net Zero Sergipe 2050).

10.2.4.3. Produtos esperados:

- 350.000 ha certificados;
- 35 $MtCO_2e$ emitidos acumuladamente;
- R$ 3 bilhões movimentados pelo FEAAC;
- 45.000 famílias com contratos PSA ativos;
- Parcerias internacionais com ao menos três fundos climáticos.

10.2.4.4. Indicadores-chave (KPIs):

- 100% de conformidade internacional (ICVCM, TSVCM);
- Zero duplicidade de créditos;
- Exportação anual de 2 $MtCO_2e$ de créditos com ajuste correspondente.

10.2.5. FASE V – SUSTENTABILIDADE E NEUTRALIDADE (2051–2065)

10.2.5.1. Objetivo geral:

Assegurar a perenidade financeira, ambiental e social do programa, atingindo a neutralidade climática estadual e consolidando a economia verde de Sergipe.

10.2.5.2. Principais ações:

1. Revisão estrutural do marco legal e financeiro para alinhamento ao ciclo de neutralidade;
2. Operacionalização plena do sistema de créditos integrados (carbono, água, biodiversidade e energia);
3. Expansão do MRV-SE para avaliação integrada de co-benefícios (ODS 6, 13, 15);
4. Reinvestimento estratégico do FEAAC em inovação e adaptação climática urbana;
5. Desenvolvimento de novos instrumentos de precificação (imposto verde, taxa de carbono estadual);

6. Certificação internacional do estado como território Net Zero (UNFCCC *Subnational Registry*).

10.2.5.3. Produtos esperados:

- 500.000 ha sob manejo certificado;
- 60 $MtCO_2e$ acumulados;
- 70.000 famílias beneficiadas;
- Economia verde consolidada (5% do PIB estadual);
- FEAAC superando R$ 5 bilhões em ativos acumulados.

10.2.5.4. Indicadores-chave (KPIs):

- Neutralidade líquida estadual atingida;
- Sistema de governança contínuo e autossustentável;
- Reconhecimento de Sergipe como território climático modelo no Nordeste.

10.2.6. CRONOGRAMA CONSOLIDADO E RECEITAS ESTIMADAS (2025–2065)[89]

Tabela 10.2.6-A Cronograma e receitas estimadas.

FASE	PERÍODO	OBJETIVO PRINCIPAL	CRÉDITOS PREVISTOS ($MTCO_2E$)	RECEITA ESTIMADA (R$ BI)	ÁREAS CERTIFICADAS (HA)
I	2025–2026	Estruturação jurídica e institucional	0,15	0,10	5.000

89 Fontes: *World Bank – State and Trends of Carbon Pricing 2024; Gold Standard Annual Impact Report 2023; IPEAData (2024*) – Indicadores Macroeconômicos Regionais; Relatório Verra/ART-TREES sobre créditos jurisdicionais (2023–2024).
Nota metodológica Os valores apresentados na Tabela 9.2.6-A foram estimados a partir de projeções de geração de créditos jurisdicionais e preços médios do mercado voluntário de carbono, conforme as seguintes premissas e fontes: Volume de créditos ($MtCO_2e$): Baseado na capacidade potencial de sequestro e conservação indicada no Produto 5.2 – Estudo do Potencial de Créditos de Carbono em Sergipe (2024), considerando: Caatinga (ARR e regeneração natural): 3–4 tCO_2e/ha.ano; Manguezais e apicuns (Blue Carbon): 8–10 tCO_2e/ha.ano; PSA hídrico e energia renovável: 1–2 tCO_2e/ha.ano.. As metas cumulativas (2025–2065) refletem um incremento médio de 10% ao ano na capacidade de certificação jurisdicional. Preço médio de referência (US$/$tCO_2e$): Adotado preço médio ponderado de US$ 25/tCO_2e, conforme relatórios Ecosystem Marketplace (2024) e Verra Market Trends Report (2023), com câmbio de R$ 5,00/US$. Receita estimada (R$ bilhões): Calculada pela fórmula: Receita = Créditos ($MtCO_2e$) x 10^6 x Preço (US$) xCâmbio (R$/US$)

FASE	PERÍODO	OBJETIVO PRINCIPAL	CRÉDITOS PREVISTOS ($MTCO_2E$)	RECEITA ESTIMADA (R$ BI)	ÁREAS CERTIFICADAS (HA)
II	2027–2030	Pilotos jurisdicionais e expansão inicial	1,00	0,40	30.000
III	2031–2040	Expansão e consolidação territorial	10,00	1,50	150.000
IV	2041–2050	Integração internacional e maturidade	35,00	3,00	350.000
V	2051–2065	Sustentabilidade e neutralidade	60,00	5,00	500.000

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

10.2.7. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

O cronograma do PJCI-SE (2025–2065) estabelece um plano de execução progressivo e realista, combinando consolidação institucional, escalonamento territorial e amadurecimento financeiro.

Ele traduz o programa em um pipeline de resultados verificáveis, com metas intermediárias e indicadores auditáveis.

Esse modelo permite:

- Garantir previsibilidade de investimento;
- Sincronizar o ciclo de políticas públicas com os mercados de carbono;
- Assegurar a transição gradual até a neutralidade climática estadual;
- Viabilizar rastreabilidade completa dos benefícios sociais e ambientais.

O PJCI-SE, ao seguir essa estrutura temporal, posiciona Sergipe como laboratório de governança climática e inovação jurisdicional no Brasil, servindo de modelo para outros estados do Nordeste.

10.3. INDICADORES DE SUCESSO E METAS

A avaliação da efetividade do PJCI-SE depende de um conjunto de indicadores integrados, capazes de mensurar impactos climáticos, benefícios socioeconômicos, sustentabilidade financeira e governança institucional**.** Esses indicadores cumprem quatro funções estratégicas:

1. Orientar a gestão pública, permitindo correções de rota e aprimoramento do programa;
2. Assegurar credibilidade internacional, mediante comparabilidade com frameworks de resultados (Results-Based Finance);
3. Guiar investidores e certificadoras, provendo métricas de integridade e desempenho;
4. Demonstrar accountability pública, permitindo que cidadãos e órgãos de controle monitorem o uso dos recursos ambientais.

Os indicadores são agrupados em quatro dimensões: Ambiental, Econômico-Financeira, Social e Institucional**.** Cada dimensão possui metas de curto (2025–2030), médio (2031–2040) e longo prazo (2041–2065).

10.3.1. DIMENSÃO AMBIENTAL

A dimensão ambiental mensura os efeitos diretos sobre o estoque e o fluxo de carbono, a qualidade dos ecossistemas e a recuperação da biodiversidade. Os indicadores estão alinhados ao *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006, 2019 Refinement)* e ao *Standardized Baseline Approach (Verra, 2023)*.

Tabela 10.3.1-A Dimensão ambiental

INDICADOR	UNIDADE	LINHA DE BASE (2024)	META 2030	META 2040	META 2065	FONTE / MÉTODO
Carbono sequestrado líquido (Caatinga + Manguezal)	tCO_2e/ano	0,0	1,0 M	10,0 M	60,0 M	MRV-SE / IPCC Tier 2
Área restaurada (ARR + PSA)	ha	0	30.000	150.000	500.000	RECA-SE / Verra VM0047
Emissões evitadas (REDD+)	tCO_2e/ano	0,0	0,3 M	3,0 M	10,0 M	DETER / MRV-SE
Taxa de regeneração natural da Caatinga	%/ano	0,8	2,5	4,0	5,0	NDVI / ITPS-SE

INDICADOR	UNIDADE	LINHA DE BASE (2024)	META 2030	META 2040	META 2065	FONTE / MÉTODO
Cobertura de manguezais sob manejo certificado	% da área total	5	30	60	90	Verra VM0009 / ANA
Índice de integridade ecológica (IEE)	0–1	0,45	0,65	0,80	0,90	ITPS-SE / CTC-SE

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O alcance das metas ambientais consolida Sergipe como referência subnacional de sequestro e conservação jurisdicional, com taxa média anual de 1,5 $MtCO_2e$ compensadas e aumento contínuo da cobertura vegetal nativa.

10.3.2. DIMENSÃO ECONÔMICO-FINANCEIRA

A dimensão econômico-financeira mede o impacto fiscal e de investimento do programa, bem como a eficiência da aplicação dos recursos do FEAAC e a renda gerada pela economia verde.

Os parâmetros seguem as diretrizes do *World Bank Climate Finance Framework (2023)* e do *ICAP Carbon Pricing Dashboard (2024)*.

Tabela 10.3.2-A Dimensão econômico-financeira

INDICADOR	UNIDADE	LINHA DE BASE (2024)	META 2030	META 2040	META 2065	FONTE / MÉTODO
Receita anual do FEAAC	R$ milhões	0	400	1.500	5.000	Desenvolve-SE / SIAFE-SE
Valor médio dos créditos (VMC)	R$/$tCO_2e$	0	80	100	120	RECA-SE / mercado global
Retorno sobre investimento (ROI anual)	%	—	7	10	12	CG-FEAAC
Captação internacional (REM, GCF, LEAF)	R$ milhões	0	200	600	1.200	SEMAC / Cooperação Int.
PSA total distribuído	R$ milhões	0	60	250	800	FEAAC / CEBSA
Participação da economia verde no PIB estadual	%	0,5	2,5	4,0	5,0	SEPLAN / IBGE

INDICADOR	UNIDADE	LINHA DE BASE (2024)	META 2030	META 2040	META 2065	FONTE / MÉTODO
Eficiência do custo de abatimento	R$/tCO₂e	—	60	50	40	ITPS-SE / MRV-SE

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Esses indicadores demonstram que o PJCI-SE é economicamente viável e fiscalmente sustentável, com capacidade de retorno crescente e potencial de impacto direto no PIB estadual.

10.3.3. DIMENSÃO SOCIAL E TERRITORIAL

Esta dimensão mede o alcance distributivo e inclusivo do programa, avaliando o impacto sobre a renda, o emprego, a segurança fundiária e a equidade de gênero. Segue as recomendações do *UNDP Social and Environmental Standards (2021)* e da *Convenção 169 da OIT*.

Tabela 10.3.3-A Dimensão Social e Territorial

INDICADOR	UNIDADE	LINHA DE BASE (2024)	META 2030	META 2040	META 2065	FONTE / MÉTODO
Famílias beneficiadas com PSA	nº	0	3.000	20.000	70.000	SEMAC / CEBSA
Renda média gerada por PSA	R$/família/ano	0	6.000	9.000	12.000	FEAAC / CTC-SE
Mulheres beneficiárias	%	—	40	45	50	CEBSA / MRV Social
Jovens (18–29) capacitados em economia verde	nº	0	500	2.000	5.000	ITPS-SE / FSMAC
Assentamentos e comunidades com CLPI formalizado	%	0	50	80	100	SEMAC / ITER-SE
Índice de regularização fundiária verde (IRFV)	0–1	0,2	0,5	0,8	1,0	ITER-SE / CAR
Municípios com projetos jurisdicionais ativos	nº	0	15	45	75	SEMAC / CEMAC

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O alcance dessas metas assegura que o PJCI-SE seja também um programa de inclusão social e territorial, convertendo capital natural em renda, segurança e cidadania climática.

10.3.4. DIMENSÃO INSTITUCIONAL E DE GOVERNANÇA

Esta dimensão mede o desempenho da gestão pública e a eficiência institucional do programa, refletindo sua capacidade de manter integridade, transparência e participação social. Os parâmetros derivam do *OECD Framework for Climate Governance (2022)* e do *ICVCM Core Carbon Principles (2023)*.

Tabela 10.3.4-A Dimensão Institucional e de Governança.

INDICADOR	UNIDADE	LINHA DE BASE (2024)	META 2030	META 2040	META 2065	FONTE / MÉTODO
Grau de integração RECA-SE / SINARE	%	0	90	100	100	SEMAC / Desenvolve-SE
Auditorias técnicas e financeiras realizadas	nº/ano	0	3	5	5	CG-FEAAC / CEMAC
Tempo médio de registro e validação de projetos	dias	—	90	60	45	RECA-SE
Índice de transparência pública (ITP)	0–1	0,4	0,8	0,9	1,0	TCE-SE / CGE
Relatórios MRV publicados e verificados	nº	0	5	15	25	ITPS-SE
Participação social (FSMAC e conselhos locais)	nº reuniões/ano	0	4	6	8	FSMAC / CEMAC
Reconhecimento internacional do programa	nº certificações	0	1	3	5	UNFCCC / Verra / ART-TREES

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Com a consolidação dessas metas, o PJCI-SE atingirá grau máximo de credibilidade institucional, tornando-se referência de governança climática subnacional no país.

10.3.5. SÍNTESE DE METAS ESTRATÉGICAS

Tabela 10.3.5-A Síntese de metas.

DIMENSÃO	META 2030	META 2040	META 2065
Ambiental	1 $MtCO_2e$/ano certificadas	10 $MtCO_2e$/ano certificadas	60 $MtCO_2e$ acumuladas
Econômica	R$ 400 milhões/ano em receitas	R$ 1,5 bilhão acumulado	R$ 5 bilhões acumulado
Social	3.000 famílias beneficiadas	20.000 famílias	70.000 famílias
Governança	Integração RECA-SE/SINARE (90%)	Certificação internacional	Neutralidade climática estadual

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Esses valores representam um modelo escalável de performance climática: eficiência crescente, base social ampliada e governança consolidada.

10.3.6. CONCLUSÃO DA SUBSEÇÃO

Os Indicadores de Sucesso e Metas constituem o instrumento de avaliação estratégica e de prestação de contas do PJCI-SE. Com base neles, o Estado de Sergipe poderá:

- Demonstrar resultados verificáveis à sociedade e aos investidores;
- Ajustar periodicamente o planejamento conforme variações de mercado;
- Cumprir compromissos nacionais e internacionais de mitigação;
- Consolidar a credibilidade de seu programa jurisdicional.

A integração entre metas ambientais, econômicas, sociais e institucionais transforma o PJCI-SE em um modelo de governança orientada por resultados, capaz de alinhar inovação, integridade e justiça climática**.**

10.4. SÍNTESE DOS FUNDAMENTOS ESTRUTURANTES

O PJCI-SE baseia-se em cinco pilares de sustentação interdependentes, que definem seu caráter jurisdicional:

1. Base científica e metodológica sólida: O programa adota metodologias reconhecidas internacionalmente — *VM0047* (Caatinga), *VM0009* (Blue Carbon), *ART-TREES* e *Gold Standard* — e integra protocolos de monitoramento conforme

as *IPCC Guidelines (2006, 2019)*. Essa base garante precisão na estimativa de sequestro e emissões evitadas, sustentando a integridade dos créditos gerados.

2. Governança pública integrada: A SEMAC exerce papel central na coordenação, enquanto a Desenvolve-SE operacionaliza o FEAAC e o RECA-SE, e o ITPS-SE lidera o sistema de MRV. Esse arranjo assegura coordenação interinstitucional, transparência e rastreabilidade**,** em conformidade com o Decreto nº 1.016/2025 **e a** Lei nº 9.364/2024**.**
3. Sustentabilidade financeira e fiscal: O FEAAC constitui um mecanismo de finanças climáticas permanente**,** com fontes diversificadas (mercado de carbono, PSA, cooperação internacional e compensações privadas), que assegura estabilidade orçamentária e cria um ciclo virtuoso de reinvestimento em mitigação, inovação e inclusão social**.**
4. Tecnologia e rastreabilidade digital: O RECA-SE e o MRV-SE utilizam arquitetura de dados avançada e blockchain permissionada**,** integrando geotecnologias, dados climáticos e verificação independente. Essa estrutura reduz riscos de duplicidade, aumenta a confiabilidade e garante aderência ao Artigo 6 do Acordo de Paris**.**
5. Inclusão social e segurança fundiária: O programa prioriza pequenos produtores, comunidades tradicionais e agricultores familiares**,** com salvaguardas baseadas no CLPI (Convenção 169 da OIT) e mecanismos de regularização fundiária verde. Essa abordagem garante **justiça climática e territorial**, transformando conservação em geração de renda e segurança jurídica.

10.4.1. AVANÇOS ESTRATÉGICOS PARA SERGIPE

A implantação do PJCI-SE representa um salto qualitativo na política ambiental e econômica do Estado, com benefícios de curto, médio e longo prazo:

- Ambientais: restauração de mais de 500 mil hectares até 2065, mitigando 60 milhões de toneladas de CO_2e e ampliando a resiliência dos ecossistemas da Caatinga e dos manguezais.
- Econômicos: movimentação de cerca de R$ 5 bilhões em ativos ambientais, consolidando uma nova indústria verde estadual baseada em serviços ecossistêmicos.
- Sociais: inclusão de 70 mil famílias e fortalecimento das economias locais, especialmente nas regiões semiáridas e costeiras.
- Institucionais: criação de um sistema estadual completo de finanças climáticas**,**

com transparência, auditoria independente e integração plena ao SINARE e ao mercado internacional.

Esses resultados inserem Sergipe entre os modelos de referência em governança climática subnacional, comparável a programas jurisdicionais de destaque na Colômbia, México, Chile e Indonésia.

10.4.2. DESAFIOS E CONDIÇÕES DE SUCESSO

Apesar dos avanços, a consolidação plena do PJCI-SE dependerá da superação de três desafios estruturais**:**

1. Regularização fundiária da Caatinga: condição indispensável para expansão das áreas elegíveis e segurança contratual. Exige atuação coordenada entre SEMAC, ITER-SE, INCRA e cartórios**,** com apoio técnico da Desenvolve-SE e financiamento do FEAAC.
2. Capacitação técnica local e estrutura de governança descentralizada: A criação de núcleos municipais de apoio (pontos focais de PSA e carbono) é fundamental para ampliar capilaridade, reduzir custos e garantir adesão comunitária.
3. Estabilidade regulatória e continuidade administrativa: A perenidade do programa requer mecanismos legais de blindagem institucional — inclusão no PPA e LDO, auditoria independente e metas plurianuais revisáveis a cada cinco anos.

Esses elementos são cruciais para que o programa mantenha credibilidade e sustentabilidade intergeracional**.**

10.4.3. IMPACTOS ESPERADOS E LEGADO INSTITUCIONAL

Ao atingir suas metas em 2065, o PJCI-SE deixará um legado de transformações estruturais no Estado de Sergipe:

- Ambiental: consolidação de um território climaticamente resiliente e com neutralidade líquida de emissões;
- Econômico: diversificação produtiva e geração de riqueza de base ecológica;
- Social: fortalecimento do capital humano e redução da vulnerabilidade social em áreas rurais e costeiras;

- Institucional: criação de uma infraestrutura climática pública replicável em outros estados.

O programa consolida um novo paradigma: **o** carbono como ativo de desenvolvimento territorial e instrumento de justiça ambiental.

Dessa maneira, ao final do ciclo 2025–2065, o Estado de Sergipe poderá afirmar-se como o primeiro território subnacional do Brasil a alcançar neutralidade climática certificada, com um sistema público de carbono tecnicamente avançado, socialmente justo e ambientalmente íntegro**.**

O PJCI-SE transcende a lógica compensatória e inaugura uma economia de regeneração, em que o desenvolvimento é medido pela capacidade de restaurar e sustentar a vida — humana e natural — em equilíbrio.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

11.1. ARTIGOS E RELATÓRIOS TÉCNICOS

1. **EMBRAPA.** *Estoque e Fluxo de Carbono em Solos do Semiárido Brasileiro.* Petrolina: Embrapa Semiárido, 2021.

Este estudo fornece medições detalhadas de carbono orgânico do solo (SOC) em diferentes sistemas de uso da terra na Caatinga. A Embrapa quantifica variações entre áreas de pastagem degradada, regeneração natural e reflorestamento, com taxas médias de 15 a 40 tCO_2e/ha em 30 anos, utilizando metodologia IPCC Tier 2. O relatório inclui equações regionais de biomassa e parâmetros de densidade aparente e umidade, essenciais para estimativas de estoque subterrâneo.

No contexto do PJCI-SE, este é o documento-base para calibrar as estimativas de sequestro no bioma Caatinga. O programa adota seus fatores de conversão e curvas de acúmulo para modelagem ARR, especialmente nos municípios de Canindé, Poço Redondo e Gararu. Os dados orientam também o módulo de incerteza do MRV-SE, fornecendo intervalos de confiança estatisticamente validados para a contabilidade jurisdicional.

2. **ECOSYSTEM MARKETPLACE.** *State of the Voluntary Carbon Markets 2023.* Washington, DC: Forest Trends, 2023.

O relatório oferece o panorama mais abrangente sobre o desempenho e tendências dos mercados voluntários de carbono (VCM). Analisa o volume de créditos emitidos, precificação média por tipo de projeto, padrões de certificação (Verra, Gold Standard, ART-TREES) e o papel crescente das jurisdições subnacionais. Destaca a consolidação do valor médio de US$ 8–10/tCO_2e para créditos florestais e a valorização superior a US$ 20/tCO_2e em projetos de alta integridade.

Para Sergipe, esse relatório fundamenta as projeções de receita e o benchmark de precificação do FEAAC. Os valores foram convertidos em reais e ajustados ao câmbio médio de 2024 (R$ 5,00/US$), permitindo calcular o Valor Médio de Crédito (VMC) e o retorno financeiro do PJCI-SE. A referência é usada também na justificativa de adicionalidade econômica do programa.

3. **INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC).** *2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Geneva: IPCC, 2006.

As Diretrizes IPCC de 2006 constituem o marco normativo internacional para elaboração de inventários de gases de efeito estufa (GEE). Apresentam os métodos Tier 1–3 para estimar emissões e remoções nos setores de energia, agricultura, resíduos e uso da terra. O Volume 4, dedicado a *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*, define as equações básicas para biomassa viva e carbono do solo.

O PJCI-SE adota essas diretrizes como referência primária para o MRV-SE. Elas orientam o cálculo dos fatores de emissão e remoção em cada tipologia de projeto (ARR, REDD+, Blue Carbon) e estruturam a matriz metodológica do inventário estadual. Servem ainda de base para calibração dos modelos locais da Embrapa e do ITPS-SE.

4. **INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC).** *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Geneva: IPCC, 2019.

O *Refinement 2019* atualiza e complementa as diretrizes de 2006, introduzindo avanços metodológicos para redução de incertezas e melhoria de transparência. Amplia os fatores regionais para solos tropicais e ecossistemas áridos, incorporando modelagem dinâmica de carbono e degradação de pastagens.

O refinamento é aplicado no PJCI-SE para ajustar estimativas de emissões e remoções nos biomas semiáridos e costeiros de Sergipe, elevando a precisão do MRV-SE para Tier 2/3. O ITPS-SE utiliza as novas tabelas de densidade de carbono e parâmetros de crescimento de biomassa para atualização anual do inventário estadual.

5. **KAUFFMAN, J. B.; DONATO, D. C.** *Blue Carbon: Coastal Wetlands for Climate Change Mitigation. Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 20, n. 3, 2020.

Os autores sistematizam as evidências científicas sobre o potencial de sequestro de carbono de ecossistemas costeiros — manguezais, marismas e pradarias marinhas. O artigo demonstra que esses habitats capturam até 1.000 tCO_2e/ha ao longo de 100 anos, combinando biomassa e carbono sedimentar.

No PJCI-SE, este estudo sustenta a modelagem Blue Carbon dos manguezais de Sergipe, principalmente no estuário do Rio Vaza-Barris e na Lagoa do Mundaú. O documento orienta os parâmetros de acúmulo sedimentar e subsidia a equivalência metodológica com a *VM0009 – Tidal Wetland and Seagrass Restoration Methodology (Verra, 2022)*.

6. **SANTOS, A. M. et al.** *Taxas de Sequestro de Carbono na Caatinga Restaurada. Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 6, 2021.

O artigo apresenta resultados empíricos de parcelas experimentais de regeneração natural e reflorestamento ativo em áreas de Caatinga no Ceará e Pernambuco. Identifica taxas médias de sequestro de 5,8 tCO_2e/ha/ano nos primeiros 10 anos, estabilizando em 2,5 tCO_2e/ha/ano após 30 anos.

Esses dados são incorporados diretamente na modelagem ARR do PJCI-SE. Servem para calibrar as funções de crescimento de biomassa e definir o tempo de saturação (30–35 anos) adotado nas projeções de créditos jurisdicionais da Caatinga sergipana.

7. **RIBEIRO, F. L.; ALVES, D. F.** *Regeneração Natural Assistida no Semiárido: Potencial de Mitigação e Benefícios Sociais. CERNE*, v. 28, 2022.

Os autores analisam a regeneração natural assistida como instrumento de baixo custo para mitigação no semiárido. Demonstram que o custo marginal de abatimento é inferior a R$ 50/tCO_2e, com co-benefícios de biodiversidade e melhoria de solo.

No PJCI-SE, o estudo sustenta a inclusão de projetos de regeneração natural como componente de baixo custo da estratégia ARR, além de justificar o investimento

prioritário do FEAAC nessas iniciativas como forma de maximizar eficiência financeira e impacto social.

8. **VERRA.** *VM0047: Afforestation, Reforestation and Revegetation of Lands Other Than Wetlands, Version 2.0.* Washington, DC: Verra, 2023.

Metodologia padrão internacional para quantificação e certificação de créditos de reflorestamento e revegetação. Define parâmetros de linha de base, cálculo de incremento líquido de carbono e regras de monitoramento e permanência.

A VM0047 é a metodologia oficial adotada pelo PJCI-SE para os projetos de ARR na Caatinga. Ela fornece as equações de biomassa e densidade de carbono aplicadas às espécies nativas, além de orientar a definição do buffer de risco e o plano de monitoramento quinquenal.

9. **VERRA.** *VM0009: Tidal Wetland and Seagrass Restoration Methodology, Version 2.0.* Washington, DC: Verra, 2022.

A VM0009 define a metodologia para projetos de restauração de manguezais, marismas e pradarias marinhas, com foco em carbono sedimentar. Detalha procedimentos de amostragem e fatores de emissão de metano evitado.

O PJCI-SE utiliza essa metodologia como base para certificação dos projetos de Blue Carbon no litoral sergipano, principalmente nos estuários do São Francisco e do Vaza-Barris. A referência estabelece o vínculo direto com os padrões ART-TREES e garante elegibilidade internacional.

10. **WORLD BANK.** *Climate Finance and Investment Frameworks.* Washington, DC: World Bank Group, 2023.

Relatório que define boas práticas de estruturação de fundos climáticos e mecanismos financeiros de mitigação e adaptação. Aborda instrumentos como *green bonds*, fundos de blended finance e precificação de carbono.

No PJCI-SE, serve de referência para o desenho do FEAAC e para os fluxos de captação e aplicação de recursos. Os princípios de transparência, adicionalidade e rastreabilidade financeira foram adaptados deste documento, alinhando o fundo estadual aos padrões do *Green Climate Fund*.

11.2. LEGISLAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS

1. **BRASIL.** *Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021.* Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.

A lei federal define princípios, diretrizes e instrumentos para a remuneração de serviços ecossistêmicos. Introduz o Cadastro Nacional de PSA e autoriza pagamentos por conservação, recuperação e uso sustentável.

O PJCI-SE baseia-se diretamente nesta lei, ampliando seu escopo para incluir carbono, água e biodiversidade. O PEPSACI complementa a norma nacional, tornando-a aplicável à escala estadual e integrando-a ao FEAAC.

2. **BRASIL.** *Decreto nº 11.550, de 29 de maio de 2023.* Dispõe sobre o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) e cria o SINARE.

O Decreto estrutura o sistema nacional de registro e compensação de emissões, além de regular os créditos de carbono no mercado regulado.

O PJCI-SE é o primeiro programa estadual a implementar interoperabilidade completa com o SINARE, garantindo rastreabilidade e reconhecimento federal das reduções jurisdicionais.

3. **SERGIPE.** *Lei nº 9.364, de 18 de abril de 2024.* Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas.

A lei estabelece os princípios e instrumentos da política climática estadual, incluindo o PSEV e o sistema estadual de inventários.

Ela é o pilar jurídico do PJCI-SE, pois autoriza a criação do FEAAC, do RECA-SE e dos mecanismos de PSA e crédito de carbono.

4. **SERGIPE.** *Decreto nº 1.016, de 8 de abril de 2025.* Institui o Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV).

O Decreto cria o arcabouço operacional do programa estadual de finanças verdes. O PSEV é a matriz de integração entre o desenvolvimento econômico e a política climática, sendo a base institucional da SEMAC e da Desenvolve-SE para execução do PJCI-SE.

5. **SERGIPE.** *Minuta do Projeto de Lei do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI).* Aracaju, 2025.

A minuta consolida os dispositivos necessários à implementação do programa estadual de PSA e carbono, que integra o escopo do Produto 5.2 e serve como marco normativo complementar, regulando contratos, salvaguardas e repartição de benefícios.

11.3. BASES DE DADOS E FONTES GEOESPACIAIS

1. **MAPBIOMAS.** *Coleção 8 – Uso e Cobertura da Terra do Brasil.* 2023. A base fornece séries históricas de cobertura vegetal e uso da terra (1985–2023) com resolução de 30 m, construída a partir de imagens Landsat e Sentinel.

No PJCI-SE, é utilizada como camada principal de monitoramento remoto (NDVI) para a Caatinga e os manguezais, integrando o MRV-SE.

2. **INPE.** *Prodes e Deter – Caatinga e Manguezais.* 2023–2024. Os sistemas Prodes e Deter monitoram o desmatamento e a regeneração florestal em tempo quase real.

Servem como fonte primária para cálculo das emissões evitadas no módulo REDD+ do PJCI-SE e para auditorias do MRV-SE.

3. **ANA.** *Hidroweb – Séries Históricas de Precipitação e Vazão.* 2024.

O banco de dados fornece séries hidrológicas e pluviométricas usadas na modelagem climática estadual. Os dados são integrados ao MRV-SE para correlacionar variações de carbono com regime hídrico e identificar padrões de resiliência ecológica.

4. **IBGE.** *Produção Agrícola Municipal 2023; Tabela de Recursos e Usos 2021.*

Essas bases são fundamentais para avaliar o peso relativo da agricultura e dos serviços ambientais no PIB estadual. Servem de insumo à modelagem econômica do FEAAC e ao cálculo da contribuição do setor verde na economia de Sergipe.

5. **IPEA.** *Economia Verde e Impactos Econômicos Multiplicadores.* 2023.

O relatório analisa a contribuição dos setores verdes para o PIB e para o emprego no Brasil. Fornece benchmarks macroeconômicos utilizados nas projeções do PJCI-SE, especialmente na estimativa de multiplicadores de renda e geração de empregos verdes.

12. APÊNDICES TÉCNICOS

A. Parâmetros de Sequestro e Equações de Cálculo

A.1. Equações gerais de biomassa e carbono

O cálculo do carbono fixado (C) segue a metodologia IPCC (2006, Vol. 4, Cap. 4), com adaptação das equações regionais da Embrapa Semiárido (2021) e da metodologia Verra VM0047 (2023).

$$C = \text{AGB} \times 0{,}47$$

onde:

- AGB (Above Ground Biomass) é a biomassa aérea viva (t/ha);
- o fator 0,47 representa a fração média de carbono na biomassa seca.

A biomassa aérea é estimada a partir de equações alométricas específicas para a Caatinga:

$$\text{AGB} = 0{,}112 \times (\text{DAP}^2 \times H)^{0{,}916}$$

onde:

- DAP = diâmetro à altura do peito (cm);
- H = altura total da árvore (m).

Para o carbono do solo (SOC – Soil Organic Carbon):

$$\text{SOC} = BD \times D \times C_f$$

onde:

- BD = densidade aparente (g/cm³);
- D = profundidade (cm);
- C_f = concentração de carbono (gC/g solo).

A.2. Parâmetros médios de sequestro por tipologia

TIPO DE PROJETO	BIOMA	TAXA MÉDIA ($TCO_2E/HA/ANO$)	PERÍODO DE SATURAÇÃO (ANOS)	FONTE
ARR – Reflorestamento ativo	Caatinga	5,8	30	Santos et al., 2021
Regeneração natural assistida	Caatinga	2,5	35	Ribeiro & Alves, 2022
Blue Carbon (manguezal restaurado)	Zona costeira	15,0	50	Kauffman & Donato, 2020
Conservação REDD+	Caatinga / manguezal	1,2	—	INPE/DETER, 2024

Esses parâmetros foram aplicados às projeções do MRV-SE, com fator de incerteza (±10%) e buffer de 15% para riscos não permanentes (incêndios, erosão, pragas).

B. Modelagem Financeira e Simulações

B.1. Premissas econômicas

- Preço médio do crédito de carbono (2025): R$ 400/tCO_2e (≈ US$ 80/tCO_2e)
- Custo médio de implantação ARR: R$ 12.000/ha
- Custo anual de manutenção: R$ 800/ha/ano
- Taxa de desconto real: 6% a.a.
- Inflação média projetada: 3,5% a.a.
- Horizonte de análise: 40 anos (2025–2065)

B.2. Fórmulas de receita líquida por hectare

$$R_{liq} = (Q_c \times P_c \times (1 - f_b)) - (C_i + C_m)$$

onde:

- Q_c = quantidade de créditos gerados (tCO_2e/ha);
- P_c = preço médio de mercado (R$/$tCO_2e$);
- f_b = fator de buffer (0,15);
- C_i = custo inicial de implantação;
- C_m = custo de manutenção anual acumulado.

B.3. Exemplo – Projeto ARR Caatinga

Para uma área de 1.000 ha:

- Sequestro total: 5,8 tCO_2e/ha/ano × 30 anos = 174 tCO_2e/ha
- Receita bruta: 174 × 400 = R$ 69.600/ha
- Receita líquida descontada (menos custos): ≈ R$ 54.000/ha
- ROI médio: 9,8% a.a.

B.4. Blue Carbon – Manguezal Restaurado

- Sequestro médio: 15 tCO_2e/ha/ano × 50 anos = 750 tCO_2e/ha
- Receita bruta: 750 × 400 = R$ 300.000/ha
- Custo total (recuperação + manutenção): R$ 60.000/ha
- ROI médio: 11,5% a.a.

Essas simulações embasam a estratégia de priorização do FEAAC: Blue Carbon como ativo premium e ARR Caatinga como ativo de base social ampliada.

C. Base de Dados Geoespacial e NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi adotado como métrica principal para monitorar cobertura vegetal e regeneração da Caatinga e dos manguezais. Fontes utilizadas: MapBiomas Coleção 8**,** Sentinel-2 (ESA)**,** MODIS (NASA) **e** INPE/DETER**.**

C.1. Fórmula NDVI

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

onde:

- NIR = reflectância na banda do infravermelho próximo;
- RED = reflectância na banda vermelha.

C.2. Classificação por faixa de NDVI

NDVI	CONDIÇÃO DA VEGETAÇÃO	INTERPRETAÇÃO PARA MRV-SE
< 0,1	Solo exposto / degradação	Áreas prioritárias para ARR

NDVI	CONDIÇÃO DA VEGETAÇÃO	INTERPRETAÇÃO PARA MRV-SE
0,1–0,3	Vegetação rala / em recuperação	PSA e regeneração natural
0,3–0,6	Vegetação intermediária	Fase de crescimento ativo
> 0,6	Vegetação densa e madura	Estágio de estabilidade ecológica

A série histórica 2000–2024 foi processada no Google Earth Engine (GEE) e integrada ao RECA-SE, com mapas mensais de variação percentual de cobertura.

D. Estrutura do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC)

D.1. Arquitetura financeira

- Natureza: fundo contábil vinculado à SEMAC, administrado pela Desenvolve-SE.
- Receitas: créditos de carbono (35%), PSA (30%), cooperação internacional (25%), compensações privadas (10%).
- Aplicações: ARR (25%), Blue Carbon (20%), PSA hídrico e urbano (15%), MRV (10%), inovação (15%), reserva de risco (10%), gestão (5%).
- Governança: CG-FEAAC (deliberação), CTFV (avaliação fiscal), Conselho Fiscal (CEMAC).
- Auditoria: anual, independente, conforme ISO 14065 e normas TCE-SE.

D.2. Ciclo financeiro anual

1. Captação (janeiro a março): receitas de vendas, PSA e transferências;
2. Planejamento (abril): elaboração do Plano Anual de Investimentos;
3. Execução (maio a dezembro): repasses e projetos;
4. Prestação de contas (dezembro): publicação no *Portal Carbono Sergipe*.

E. Exigências Metodológicas para Certificação na Caatinga

A Caatinga ainda não possui metodologia específica aprovada para REDD+ em padrões internacionais (Verra, Gold Standard). No entanto, é elegível sob metodologias florestais gerais (ARR e ALM).

E.1. Critérios de certificação aplicáveis

1. Metodologia primária: *VM0047 – Afforestation, Reforestation and Revegetation* (Verra, 2023);

2. Métodos complementares: *Gold Standard for Land Use and Forestry* (2021) e *ART-TREES 2.0* (2022);
3. Requisitos de adicionalidad**e:** demonstração de que o projeto não ocorreria sem o incentivo do crédito;
4. Linha de base: cenários de uso da terra e cobertura pré-projeto;
5. Permanência**:** compromisso contratual mínimo de 30 anos;
6. Verificação independente**:** por entidade acreditada ISO 14065.

E.2. Experiência comparada – Serra das Almas (Ceará)

O Projeto Serra das Almas, conduzido pela Associação Caatinga e TNC, constitui a principal experiência experimental de carbono no semiárido brasileiro. Iniciado em 2011, implementou 400 ha de regeneração natural e reflorestamento com nativas, resultando em 6,1 tCO_2e/ha/ano e incremento de biodiversidade e infiltração hídrica. Embora ainda sem certificação Verra formal, o projeto serviu como prova de conceito para metodologias ARR adaptadas à Caatinga e baseou os parâmetros de sequestro adotados no PJCI-SE.

F. Ativos Adicionais e Guia de Viabilidade (Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe)

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe autoriza a criação e comercialização de outros ativos ambientais além dos créditos de carbono. O PJCI-SE reconhece três classes adicionais de ativos:

TIPO DE ATIVO	DESCRIÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	BASE LEGAL	POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO
PSA Hídrico	Redução de carga poluente e aumento de infiltração	m^3/ano	Art. 8º, Lei 9.364/2024	Alta – bacias do São Francisco e Japaratuba
Créditos de Biodiversidade (BioCredits)	Conservação de espécies e habitats	unidade-habitat	Art. 11, Lei 9.364/2024	Média – manguezais e APAs
Créditos de Metano Evitado (CH_4E)	Redução em aterros e efluentes agroindustriais	tCH_4	Art. 9º, Lei 9.364/2024	Alta – saneamento e pecuária

Esses ativos podem ser tokenizados e registrados no RECA-SE, ampliando a carteira estadual de produtos ambientais negociáveis. O FEAAC financiará estudos de viabilidade e integração contábil até 2026, com previsão de emissão-piloto em 2027.

PROJETO: SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DE SERGIPE, COMPOSTO DE ESTUDOS TÉCNICOS BASEADOS EM MODELAGEM DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Cliente: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas **- SEMAC**

Anteprojeto piloto de modelo de financiamento baseado em créditos de carbono

Produto 5.3

São Paulo, novembro/2025

SUMÁRIO

1. LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS 5

2. INTRODUÇÃO 10

2.1. APRESENTAÇÃO 10
2.2. CONTEXTO, OBJETIVOS E METODOLOGIA 11
2.3. ABORDAGEM PRAGMÁTICA E ESCOPO DO PILOTO 12
2.4. FUNDAMENTOS TÉCNICOS E NORMATIVOS 13
2.5. RESULTADOS ESPERADOS 14
2.6. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO 14

3. ARCABOUÇO JURÍDICO - INSTITUCIONAL APLICÁVEL 15

3.1. LEI Nº 9.364, DE 2024, DECRETO ESTADUAL Nº 1.016, DE 8 DE ABRIL DE 2025 E INTEGRAÇÃO AO PEPSACI 15
3.2. INTERFACE COM O DECRETO Nº 11.550, DE 14 DE JUNHO DE 2023, DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, E O SINARE 20
3.3. SALVAGUARDAS SOCIAIS, CONSENTIMENTO LIVRE, PRÉVIO E INFORMADO (CLPI) E CONFORMIDADE COM A CONVENÇÃO 169 DA OIT 27
3.4. GOVERNANÇA DO PILOTO E PAPÉIS DE SEMAC, DESENVOLVE-SE, ITPS-SE E CEMAC 32

4. DEFINIÇÃO DO PILOTO EM CAATINGA 39

4.1. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E DIAGNÓSTICO FUNDIÁRIO E AMBIENTAL 40
4.2. ALTERNATIVAS DE ÁREA: PROPRIEDADE PÚBLICA ESTADUAL VERSUS PARCERIA PÚBLICO-PRIVADA 46
4.3. TERMOS DE ADESÃO, PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS E REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS NO PILOTO 51
4.4. ESTABELECIMENTO DA LINHA DE BASE E ZONEAMENTO OPERACIONAL . 60

5. METODOLOGIA DE PROJETO E MRV-SE MÍNIMO VIÁVEL 69

5.1. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO (VM0047/VERRA; IPCC 2006/2019) E DESENHO DO MRV-SE MÍNIMO VIÁVEL 70
5.2. PLANO AMOSTRAL, INVENTÁRIO DE BIOMASSA E MÓDULO DE CARBONO DO SOLO 76
5.3. SENSORIAMENTO REMOTO, NDVI E PROTOCOLOS DE CONSISTÊNCIA 85
5.4. CONTROLE DE INCERTEZA, BUFFER DE RISCO E PLANO DE VERIFICAÇÃO 92

6. REGISTRO E RASTREABILIDADE PROVISÓRIA (PROTO-RECA-SE) 97

6.1. REQUISITOS DE UNICIDADE, METADADOS E TRILHA DE AUDITORIA 98
6.2. PROCEDIMENTOS DE EMISSÃO, TRANSFERÊNCIA E APOSENTADORIA NO PILOTO 101
6.3. INTEROPERABILIDADE PLANEJADA COM SINARE E CERTIFICADORAS ... 105
6.4. TRANSPARÊNCIA PÚBLICA E ACESSO A DADOS 109

7. ESTRUTURA DE FINANCIAMENTO DO PILOTO 117

7.1. FEAAC: FONTES, ALOCAÇÃO E GOVERNANÇA FINANCEIRA 117
7.2. *BLENDED FINANCE*: COOPERAÇÃO INTERNACIONAL, BNDES/BNB E RECURSOS PRIVADOS..... 126
7.3. GARANTIAS, CONTAS VINCULADAS E GATILHOS DE DESEMBOLSO POR RESULTADO 133
7.4. MODELOS CONTRATUAIS DE COMPRA FUTURA (ERPA/OFFTAKE) E LEILÃO ESTADUAL 140

8. CONTRATAÇÕES ESTRATÉGICAS E *DUE DILIGENCE*..... 147

8.1. DESENVOLVEDOR DE PROJETO: ESCOPO, CRITÉRIOS E CONTRATAÇÃO PELA DESENVOLVE-SE..... 148
8.2. VERIFICADOR INDEPENDENTE: ACREDITAÇÃO, ESCOPO E CRONOGRAMA DE AUDITORIAS..... 153
8.3. CONSULTORIAS TÉCNICAS E JURÍDICAS: PAPÉIS E ENTREGÁVEIS..... 159
8.4. *DUE DILIGENCE* TÉCNICA, FUNDIÁRIA, AMBIENTAL E SOCIAL..... 163

9. MODELAGEM TÉCNICO-FINANCEIRA DO PILOTO 167

9.1. PARÂMETROS DE SEQUESTRO E CURVAS DE CRESCIMENTO 168
9.2. ESTRUTURA DE CUSTOS, CAPEX/OPEX E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO 174
9.3. PROJEÇÕES DE RECEITA, CENÁRIOS DE PREÇO E SENSIBILIDADE 178
9.4. INDICADORES DE DESEMPENHO: VPL, TIR, PAYBACK E REQUISITOS DE BANCABILIDADE..... 181

10. COMERCIALIZAÇÃO E RELACIONAMENTO COM COMPRADORES..... 186

10.1. ESTRATÉGIA DE POSICIONAMENTO E INTEGRIDADE (ICVCM E SELO ESTADUAL) 187
10.2. CANAIS DE COMERCIALIZAÇÃO: CONTRATOS BILATERAIS, MARKETPLACES E LEILÃO ESTADUAL 191
10.3. ESTRATÉGIA DE HEDGE E RESERVA DE CRÉDITOS (BUFFER FINANCEIRO E CLIMÁTICO)195
10.4. REGRAS DE COMUNICAÇÃO E REPORTE A INVESTIDORES 200

11. CRONOGRAMA, MARCOS E CRITÉRIOS DE PASSAGEM 204

11.1. CAMINHO CRÍTICO DO PILOTO (T0–T24 MESES)..... 204
11.2. MARCOS REGULATÓRIOS, TÉCNICOS E FINANCEIROS..... 210
11.3. INDICADORES DE VERIFICAÇÃO ANUAL E RELATÓRIOS AO CEMAC 214
11.4. ESTRATÉGIA DE ENCERRAMENTO, AVALIAÇÃO E APRENDIZADO..... 219

12. GESTÃO DE RISCOS E SALVAGUARDAS..... 222

12.1. RISCOS FUNDIÁRIOS, CLIMÁTICOS E OPERACIONAIS E SEUS MITIGADORES 223
12.2. RISCOS DE MERCADO, PREÇO E DEMANDA E SEUS MITIGADORES..... 227
12.3. SALVAGUARDAS SOCIAIS E AMBIENTAIS, CONSENTIMENTO LIVRE, PRÉVIO E INFORMADO E MECANISMOS DE RECLAMAÇÃO 231
12.4. PLANO DE CONTINGÊNCIA E CONTINUIDADE OPERACIONAL..... 236

13. PLANO DE ESCALA PÓS-PILOTO 240

13.1. INTEGRAÇÃO PLENA AO RECA-SE E AO MRV-SE DEFINITIVOS 241
13.2. EXPANSÃO TERRITORIAL E SETORIAL 244
13.3. ARRANJOS DE FINANCIAMENTO PARA A FASE 2027–2030 249
13.4. META DE PADRONIZAÇÃO E REPLICABILIDADE INTRAESTADUAL 253

14. BIBLIOGRAFIA (REFERÊNCIAS DE BASE, NÃO EXAUSTIVAS) 258

14.1. NORMAS, DIRETRIZES E REFERENCIAIS INTERNACIONAIS 258
14.2. PROGRAMAS DE CERTIFICAÇÃO E METODOLOGIAS 259
14.3. PADRÕES DE DADOS, SENSORIAMENTO REMOTO E INTEROPERABILIDADE 259
14.4. ECONOMIA, MERCADO E REPORTE FINANCEIRO-CLIMÁTICO 259
14.5. MARCO JURÍDICO BRASILEIRO E POLÍTICAS PÚBLICAS 260
14.6. METODOLOGIAS DE PLANEJAMENTO DE RESTAURAÇÃO E INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES 260
14.7. CONTRATAÇÕES, VERIFICAÇÃO E GOVERNANÇA DE MRV 261
14.8. OBSERVAÇÃO SOBRE FORMA DE CITAÇÃO E CONTROLE DE VERSÕES 261

15. APÊNDICES 261

16. BIBLIOGRAFIA 267

16.1. NORMAS, DIRETRIZES E REFERENCIAIS INTERNACIONAIS 267
16.2. PROGRAMAS DE CERTIFICAÇÃO E METODOLOGIAS 268
16.3. PADRÕES DE DADOS, SENSORIAMENTO REMOTO E INTEROPERABILIDADE 268
16.4. ECONOMIA, MERCADO E REPORTE FINANCEIRO-CLIMÁTICO 268
16.5. MARCO JURÍDICO BRASILEIRO E POLÍTICAS PÚBLICAS 269
16.6. METODOLOGIAS DE PLANEJAMENTO DE RESTAURAÇÃO E INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES 269
16.7. CONTRATAÇÕES, VERIFICAÇÃO E GOVERNANÇA DE MRV 270

1. LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

- AFOLU – Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra.
- AGB – Biomassa acima do solo (above-ground biomass), usada em equações alométricas de ARR.
- AIC – Critério de Informação de Akaike, empregado na seleção de modelos H–D.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.
- API – Interface de Programação de Aplicações (Application Programming Interface).
- ARR – Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (Afforestation, Reforestation and Revegetation).
- ART-TREES – Architecture for REDD+ Transactions – The REDD+ Environmental Excellence Standard.
- BDQueimadas – Banco de Dados de Queimadas do INPE (Programa Queimadas).
- BNB – Banco do Nordeste do Brasil (aparece no 5.2 como agente regional em finanças climáticas).
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
- CAPEX / OPEX – Despesa de capital / despesa operacional em projetos do portfólio.
- CAR – Cadastro Ambiental Rural (referência fundiária em processos de validação).
- CEMAC – Conselho Estadual de Mudanças Climáticas.
- CG-FEAAC – Comitê Gestor do FEAAC
- CIF – Climate Investment Funds (fundos climáticos multilaterais).
- CLPI – Consentimento Livre, Prévio e Informado.
- COPs – Conferências das Partes da Convenção do Clima.
- CO2e – Dióxido de carbono equivalente.
- COPERNICUS (EMS/EFFIS) – Serviço de Gestão de Emergências/EU Fire Information System (referidos como fontes de perigo/incêndio).

- CORSIA – *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (Esquema da OACI para aviação internacional).
- CRTs – *Common Reporting Tables* (tabelas padronizadas de reporte da UNFCCC).
- CTC-SE – Comitê Técnico-Científico do Estado de Sergipe.
- CT-MRV – Câmara Técnica de MRV e Integridade Ambiental.
- CVM 193 – Resolução da Comissão de Valores Mobiliários sobre reporte de sustentabilidade.
- DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe (citada em arranjos institucionais).
- DETER – Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real do INPE.
- Desenvolve-SE – Agência de fomento/execução financeira do Estado.
- DvP – *Delivery versus Payment* (liquidação com entrega contra pagamento em leilões/mercado).
- EFFIS – *European Forest Fire Information System*.
- ERPA – *Emission Reductions Purchase Agreement* (Contrato de compra futura de créditos).
- ESG – *Environmental, Social and Governance* (critérios de sustentabilidade corporativa).
- ESM – Massa Equivalente de Solo (*Equivalent Soil Mass*).
- ETF – *Enhanced Transparency Framework* (Mecanismo de Transparência Reforçado do Acordo de Paris).
- FEAAC – Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono.
- FSMAC – Fórum Sergipano de Mudanças do Clima.
- GCF – *Green Climate Fund* (Fundo Verde para o Clima).
- GEE – Gases de Efeito Estufa.
- GEF – *Global Environment Facility*.
- GHG – Gases de Efeito Estufa (*Greenhouse Gases*).
- GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System*).
- *Gold Standard* – Programa de certificação de carbono e impactos.

- *Hyperledger Fabric* – Plataforma de blockchain permissionada.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- ICAO / OACI – *International Civil Aviation Organization* / Organização da Aviação Civil Internacional.
- ICROA – *International Carbon Reduction and Offset Alliance* (referência de mercado).
- ICVCM – *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market*.
- IFRS S2 – Norma internacional de divulgação climática da IFRS Foundation.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).
- ISO – *International Organization for Standardization* (citado em verificação e metadados/qualidade).
- ISO 14064-3 / 14065 – Normas ISO de verificação/organismos de validação e verificação.
- ISO 19115 / 19157 – Metadados e qualidade de dados geoespaciais.
- ITMOs – *Internationally Transferred Mitigation Outcomes* (Artigo 6).
- ITPS-SE – Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe.
- LEAF – *Lowering Emissions by Accelerating Forest Finance* (coalizão).
- LECA – Leilão Estadual de Créditos Ambientais.
- LGPD – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais. MapBiomas (Alerta/Fogo) – Plataformas de uso e cobertura, alertas validados e mapeamento de fogo.
- MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- MRV-SE – Sistema Estadual de Medição, Relato e Verificação.
- NDCs – Contribuições Nacionalmente Determinadas.
- NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*).

- OACI/ICAO – Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization*).
- OAIS – *Open Archival Information System* (modelo de referência de preservação).
- OGC API / WMS / WFS – Padrões do *Open Geospatial Consortium* para serviços e APIs geoespaciais.
- OIT – Organização Internacional do Trabalho (Convenção nº 169). PEPSACI – Programa de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (projeto de lei estadual).
- PJCI-SE – Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe.
- PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima.
- PNPSA – Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.
- PPP – Parceria Público-Privada.
- PSEV – Programa Sergipano de Economia Verde (no Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025).
- PSA – Pagamento por Serviços Ambientais.
- PJCI-SE – Programa Jurisdicional de Carbono Integral de Sergipe.
- RECA-SE – Registro Estadual de Créditos Ambientais de Sergipe.
- QA/QC – Garantia e Controle de Qualidade (*quality assurance/quality control*).
- REDD+ – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação florestal, conservação, manejo sustentável e aumento de estoques.
- RECA-SE – Registro Estadual de Créditos Ambientais (e de Carbono) de Sergipe.
- REM – REDD *Early Movers* (programa de pagamentos por resultados).
- ROAM – *Restoration Opportunities Assessment Methodology*.
- SBCE – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões.
- SEAGRI – Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca.
- SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de GEE.
- SEFAZ / SEPLAN – Secretaria da Fazenda / Secretaria de Planejamento de Sergipe.

- SEMAC – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas.
- SINARE – Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa.
- SOC – Carbono Orgânico do Solo (*soil organic carbon*).
- tCO2e – Toneladas de dióxido de carbono equivalente.
- TCE-SE – Tribunal de Contas do Estado de Sergipe.
- TERMO "buffer" – Reserva de risco para não permanência em projetos AFOLU.
- TSVCM – *Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets*.
- UFS – Universidade Federal de Sergipe.
- UUID – Identificador único universal, aplicado a lotes no RECA-SE.
- UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (referida nas salvaguardas de Cancún).
- VCMI – *Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative*.
- VCS – *Verified Carbon Standard* (programa Verra).
- Verra – Programa e registrador de créditos de carbono (inclui o VCS e a VM0047).
- VM0047 – Metodologia de ARR do programa Verra para áreas não úmidas.
- VPL / TIR / payback – Indicadores financeiros de viabilidade de projetos.
- VVB – *Validation/Verification Body* (Entidade de Validação e Verificação acreditada).
- WRI – *World Resources Institute* (coautor do ROAM/Barômetro).

2. INTRODUÇÃO

2.1. APRESENTAÇÃO

O Produto 5.3 – Anteprojeto Piloto de Modelo de Financiamento Climático do Estado de Sergipe integra o conjunto de entregas do Plano de Ações Climáticas (PAC/SE), sob coordenação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), e execução técnica da Fundação Instituto de Administração (FIA), nos termos do Contrato nº 08/2025 (Processo nº 192/2025).

Este produto dá continuidade aos estudos realizados no Produto 5.2 – Estudo do Potencial Financeiro dos Créditos de Carbono e Mapeamento de Oportunidades, avançando da fase analítica para a fase propositiva do Módulo 5, com a formulação de um anteprojeto que estrutura o modelo institucional, jurídico, econômico e financeiro necessário para operacionalizar o mercado jurisdicional de carbono de Sergipe.

O objetivo central do Produto 5.3 é apresentar o modelo-piloto de financiamento climático que permitirá ao Estado captar, gerir e reinvestir recursos provenientes da valoração de ativos ambientais, notadamente créditos de carbono e Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), em conformidade com o Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), a Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe e o Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025, do Estado de Sergipe.

O anteprojeto propõe a arquitetura técnico-financeira do Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC) como mecanismo de captação e alavancagem de recursos, integrando instrumentos de finanças climáticas, *blended finance* (finanças combinadas)[1], *green bonds* (títulos de dívida verdes)[2], debêntures sustentáveis e fundos

[1] *Blended finance* (finanças combinadas) é um mecanismo de financiamento que combina recursos públicos, filantrópicos ou concessionais (geralmente de menor custo ou voltados ao impacto socioambiental) com capital privado de mercado, buscando reduzir riscos, alavancar investimentos e viabilizar projetos de desenvolvimento sustentável que, isoladamente, não seriam atrativos para o setor privado. O conceito é reconhecido pela *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) e amplamente utilizado em operações de clima, infraestrutura verde e economia de baixo carbono.

[2] Os *green bonds* (títulos verdes) são instrumentos financeiros de dívida emitidos por governos, bancos ou empresas para captar recursos destinados exclusivamente a projetos com benefícios ambientais comprovados, como energias renováveis, eficiência energética, transporte limpo, manejo sustentável da água ou preservação de florestas. Seguem princípios definidos pela *International Capital Market Association* (ICMA) - *Green Bond Principles* (2021), que estabelecem critérios de transparência, rastreabilidade e verificação do uso dos recursos.

de investimento. O documento também estabelece diretrizes para o Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE), a governança interinstitucional SEMAC–Desenvolve-SE, e a conexão com mecanismos federais e internacionais, como o Green Climate Fund (GCF) e o Global Environment Facility (GEF).

O Produto 5.3 se estrutura em quatro eixos complementares: (i) desenho jurídico-institucional do modelo de financiamento climático; (ii) estrutura operacional e mecanismos de governança do FEAAC; (iii) projeções financeiras e mecanismos de reinvestimento dos recursos de carbono; e (iv) recomendações normativas e regulatórias para implantação.

Dessa forma, o presente produto consolida o marco operacional do financiamento climático de Sergipe, posicionando o Estado como referência nacional em finanças verdes subnacionais, ao integrar mitigação, desenvolvimento econômico e inclusão social sob uma mesma estrutura de governança pública.

2.2. CONTEXTO, OBJETIVOS E METODOLOGIA

O Produto 5.3 – Anteprojeto Piloto de Financiamento Climático do Estado de Sergipe dá continuidade aos Produtos 5.1 e 5.2, consolidando a transição da fase analítica e estratégica para a fase operacional do Plano de Ações Climáticas (PAC/SE). Seu objetivo é demonstrar, por meio de um projeto piloto, a viabilidade técnica, jurídica, financeira e institucional para a emissão de créditos de carbono a partir da recuperação de uma área de caatinga degradada, configurando-se como prova de conceito para o modelo de financiamento climático jurisdicional delineado no Produto 5.2 .

O piloto foi estruturado em alinhamento ao marco legal estadual — Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, Decreto nº 1.016, de 2025, e Projeto de Lei do Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI) — e fundamenta-se nas diretrizes do Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV), que integra política ambiental, economia de baixo carbono e instrumentos de finanças climáticas.

A estratégia prevê a atuação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) como fomentadora, iniciadora e supervisora do processo, cabendo à Desenvolve-SE – Agência de Fomento de Sergipe a execução financeira e operacional, incluindo a contratação de desenvolvedor de projeto, entidade verificadora independente (VVB) e mecanismos de custódia e rastreabilidade.

Do ponto de vista metodológico, o Produto 5.3 adota uma abordagem híbrida e multidimensional, em linha com a metodologia do Produto 5.2, articulando dimensões técnicas, econômicas, jurídicas e institucionais. O método integra:

1. Referenciais científicos e normativos internacionais, baseados nas Diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2006; 2019), com uso de parâmetros de biomassa e carbono do solo para o bioma caatinga;

2. Metodologias de certificação reconhecidas, como a VM0047 – Afforestation, Reforestation and Revegetation (Verra, 2023) e o Gold Standard for the Global Goals (GS4GG), que orientam o cálculo de sequestro, adicionalidade, permanência e mecanismos de buffer;

3. Modelagem econômico-financeira, empregando indicadores de viabilidade (Valor Presente Líquido – VPL, Taxa Interna de Retorno – TIR e Payback) e projeções de preço do carbono em cenários conservador, moderado e otimista;

4. Arquitetura jurídico-institucional, que define competências, fluxos de decisão e instrumentos contratuais entre SEMAC, Desenvolve-SE e parceiros técnicos;

5. Mecanismos de governança, MRV e rastreabilidade, compatíveis com o Sistema Nacional de Redução de Emissões (SINARE) e com o Registro Estadual de Créditos Ambientais (RECA-SE), garantindo integridade e transparência.

A integração dessas metodologias visa assegurar a robustez científica, a consistência jurídica e a coerência financeira do modelo proposto, permitindo ao Estado de Sergipe testar, validar e replicar o Programa Jurisdicional de Carbono Integral (PJCI-SE) em escala ampliada. O piloto representa, portanto, a primeira aplicação prática de um mecanismo de financiamento climático estadual de alta integridade ambiental e governança pública, com potencial de inserção em mercados nacionais e internacionais de carbono.

2.3. ABORDAGEM PRAGMÁTICA E ESCOPO DO PILOTO

A abordagem é deliberadamente pragmática: parte-se da seleção de uma área preferencialmente pública apta à restauração na caatinga; na ausência de área estadual elegível no curto prazo, admite-se parceria público-privada com proprietários que apresentem situação fundiária regular e cadastro ambiental válido.

O piloto contemplará: (i) desenho de governança, (ii) trilha metodológica para certificação, (iii) arquitetura mínima do MRV-SE e do fluxo de dados, (iv) solução

provisória de registro e rastreabilidade equivalente ao RECA-SE até sua implantação formal, (v) estrutura de financiamento e de garantias (incluindo o FEAAC), (vi) estratégia de comercialização com contratos de compra futura (offtake/ERPA) e leilão estadual, (vii) plano de due diligence técnica, jurídica e social, e (viii) cronograma com marcos verificáveis.

2.4. FUNDAMENTOS TÉCNICOS E NORMATIVOS[3].

O piloto adotará referências normativas e técnicas internacionais para garantir integridade e bancabilidade: diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) – 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories e 2019 Refinement to the 2006 Guidelines* – para o setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU); metodologia VM0047 *Afforestation*, *Reforestation and Revegetation* (ARR) do programa Verra; aderência aos *Core Carbon Principles (CCPs) do Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM*); e verificação por organismo acreditado segundo a norma ISO 14065:2020 (*General principles and requirements for bodies validating and verifying environmental information*).

No plano doméstico, observará o Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023, da Presidência da República, que reorganiza a governança climática nacional e estabelece a base de interoperabilidade futura com o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE); em nível estadual, alinhar-se-á à Lei Estadual nº 9.364, de 2024 e ao Decreto Estadual nº 1.016, de 2025, e aproveitará o avanço institucional do

[3] Fontes: PCC. 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories e 2019 Refinement to the 2006 Guidelines. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019*. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/; Verra. VM0047: A*fforestation, Reforestation and Revegetation (ARR),* v1.0. Washington, D.C., 2022. Disponível em: *https://verra.org/methodologies/vm0047-afforestation-reforestation-and-revegetation/; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM). Core Carbon Principles, Assessment Framework and Assessment Procedure. Londres, 2023. Disponível em: https://icvcm.org/core-carbon-principles/; International Organization for Standardization (ISO). ISO 14065:2020 – General principles and requirements for bodies validating and verifying environmental information. Genebra*, 2020; Brasil. Decreto nº 11.550, de 5 de junho de 2023. Diário Oficial da União, Brasília, 6 jun. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Decreto/D11550.htm.; Sergipe. Lei nº 9.364, de 15 de fevereiro de 2024. Institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Sergipe, 2024.; Sergipe. Decreto nº 1.016, de 3 de abril de 2025. Institui o Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV) e regulamenta a Lei nº 9.364/2024. Diário Oficial do Estado de Sergipe, 2025.

Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI) para formalizar pagamentos por serviços ambientais e regras de repartição de benefícios.

2.5. RESULTADOS ESPERADOS[4]

O Produto 5.3 entregará um manual operacional do piloto contendo: (i) seleção e caracterização da área; (ii) estimativas preliminares de sequestro de carbono com parâmetros e fontes explícitas; (iii) desenho do Sistema Estadual de Medição, Relato e Verificação (MRV-SE) mínimo viável, inclusive protocolos de campo e de sensoriamento; (iv) plano de registro e rastreabilidade equivalente ao Registro Estadual de Créditos Ambientais de Sergipe (RECA-SE); (v) minutas de instrumentos contratuais essenciais — como o Contrato de Compra Futura de Créditos (*Emission Reductions Purchase Agreement – ERP*A), o Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), os acordos de cooperação, a contratação de desenvolvedor e de verificador; estrutura de financiamento combinando o Fundo Estadual de Ativos Ambientais e Carbono (FEAAC), cooperação internacional e receitas de créditos; (vi) simulações financeiras com cenários de preço, volume e risco; e (vii) um cronograma crítico com marcos e critérios de passagem para expansão.

2.6. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O documento segue a lógica de projeto: começa pelo arcabouço legal e de governança, define a área e a metodologia, cria o sistema de medição e registro, estrutura o financiamento e a comercialização, executa a modelagem financeiro-econômica e encerra com cronograma, gestão de riscos e plano de escala. As referências normativas e técnicas são citadas ao longo dos capítulos e consolidadas ao final.

[4] Fontes**:** Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019); Verra, *VM0047 – Afforestation, Reforestation and Revegetation Methodology*, 2022; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2023); International Organization for Standardization (ISO 14065:2020); Lei Estadual nº 9.364, de 2024; Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025, do Estado de Sergipe; Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023, da Presidência da República.

3. ARCABOUÇO JURÍDICO - INSTITUCIONAL APLICÁVEL

Este Capítulo estabelece a base jurídico-institucional que viabiliza o anteprojeto piloto de financiamento climático lastreado em créditos de carbono na caatinga, em Sergipe. O foco é demonstrar, de forma operacional, como as normas estaduais vigentes e em tramitação, bem como os instrumentos federais de registro e contabilidade de emissões, se integram para permitir que o Estado conduza, com segurança jurídica e governança pública, um piloto de emissão de créditos por reflorestamento e revegetação (ARR) em área preferencialmente pública. Além de explicitar competências e papéis institucionais de SEMAC e Desenvolve-SE, são identificados os requisitos mínimos para conformidade regulatória, o uso de padrões metodológicos aceitos internacionalmente e a ponte com o SINARE, de modo a evitar duplicidade de contagem e preparar o escalonamento do modelo após a validação do piloto.

3.1. LEI Nº 9.364, DE 2024, DECRETO ESTADUAL Nº 1.016, DE 8 DE ABRIL DE 2025 E INTEGRAÇÃO AO PEPSACI

A Lei estadual nº 9.364, de 2024 institui a política climática de Sergipe e confere ao Poder Executivo competência clara para formular, coordenar e implementar instrumentos de mitigação, adaptação e promoção da economia de baixo carbono. Na perspectiva do piloto, três dimensões dessa Lei são imediatamente operacionais: a institucional, a programática e a econômica.

No plano institucional, a Lei reconhece a liderança da secretaria ambiental estadual como autoridade coordenadora da política climática, o que, para efeitos do piloto, legitima a SEMAC como instância iniciadora, fomentadora e supervisora das ações, inclusive para emitir normas complementares, aprovar diretrizes técnicas e estabelecer critérios de elegibilidade e priorização territorial. Na dimensão programática, a Lei autoriza a criação e o uso de instrumentos de gestão climática, a exemplo de programas, planos e cadastros necessários à execução coordenada de ações de redução ou remoção de emissões em diferentes setores e biomas. Na dimensão econômica, a Lei cria as condições para remunerar serviços ecossistêmicos, internalizar custos e benefícios ambientais e mobilizar fontes de financiamento público-privadas, elementos essenciais para a bancabilidade do piloto.

O Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025 institui o Plano Sergipano de Economia Verde (PSEV) e dá executividade à orientação estratégica da Lei. Na ótica do

piloto, o Decreto cumpre quatro funções: (i) estabilizar a governança econômica do tema clima no âmbito do Executivo; (ii) desenhar a arquitetura de financiamento estadual, inclusive os fluxos de captação e aplicação; (iii) autorizar a operação de instrumentos de mercado e de parcerias; e (iv) integrar o tema a outros eixos de desenvolvimento econômico.

Em termos práticos, o PSEV funciona como guarda-chuva programático sob o qual o piloto se encaixa: a recuperação de caatinga para fins de créditos de carbono é uma intervenção com externalidades positivas mensuráveis em mitigação, conservação e inclusão produtiva e, portanto, elegível a apoio por meio dos mecanismos de fomento previstos no plano. Isso inclui, por exemplo, a priorização territorial em zonas de alto potencial climático-econômico identificadas no Produto 5.2; o uso de compras públicas e parcerias para contratação de serviços técnicos de desenvolvimento e verificação de projetos; e a coordenação com políticas setoriais de agricultura, recursos hídricos e desenvolvimento regional.

A integração entre Lei nº 9.364, de 2024 e o Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025 também se expressa na institucionalidade financeira associada ao programa climático do Estado. O PSEV habilita a constituição e a operação de um fundo estadual temático para ativos ambientais e carbono, com contabilidade segregada e regras de transparência, auditoria e alocação.

Para o piloto, essa peça cumpre o papel de âncora fiscal e fiduciária: recebe dotações orçamentárias, receitas oriundas de cooperação e de operações com créditos, e realiza os desembolsos vinculados a implantação, monitoramento e pagamentos por serviços ambientais, conforme regras definidas em atos infralegais e planos anuais. A existência desse fundo, articulado à Desenvolve-SE como agência executora financeira, viabiliza um fluxo financeiro previsível, condição de bancabilidade para contratos de compra futura (ERPA/offtake) e para estruturas de *blended finance* (finanças combinadas).

No eixo de instrumentos de política, a Lei nº 9.364, de 2024 e o PSEV permitem que o Poder Executivo utilize mecanismos de pagamento por serviços ambientais, contratos de performance e instrumentos de compensação ambiental como meios para induzir comportamentos privados e coletivos compatíveis com a transição de baixo carbono.

Para o piloto, isso se traduz em três frentes operacionais. A primeira frente é a celebração de termos de adesão e contratos de PSA com os detentores das áreas-alvo, caso o Estado opte por uma parceria público-privada quando não houver área pública disponível, assegurando adicionalidade, condições de manejo e monitoramento e repartição de benefícios ao longo do ciclo do projeto. A segunda, é a contratação, por meio da Desenvolve-SE, de um desenvolvedor de projeto com experiência comprovada em metodologias florestais de carbono, responsável por estudos de linha de base, plano de amostragem, inventário de biomassa e carbono do solo, estrutura de monitoramento e validação junto à certificadora escolhida. A terceira, é a contratação de um verificador independente acreditado para auditorias de validação e verificação, requisito indispensável para a integridade e a comercialização dos créditos.

O Projeto de Lei do Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI), em tramitação na Assembleia Legislativa, cumpre papel de consolidação normativa e de detalhamento operacional. Embora ainda não convertido em lei, seu conteúdo esperado organiza regras sobre elegibilidade de beneficiários, salvaguardas sociais e ambientais, critérios de priorização, padrões de monitoramento e verificação e repartição de benefícios entre Estado, municípios, proponentes e comunidades.

Para o piloto, a tramitação do PEPSACI recomenda um desenho contratual adaptativo, com cláusulas de transição que assegurem aderência imediata à Lei nº 9.364, de 2024 e ao PSEV e, simultaneamente, compatibilidade futura com a lei específica a ser aprovada. Em termos práticos, isso implica prever em cada instrumento contratual uma cláusula de reequilíbrio que alinhe os deveres e direitos das partes quando o PEPSACI entrar em vigor, sem interromper o fluxo do projeto nem expor o Estado a riscos de passivos regulatórios.

O enquadramento do piloto deve considerar, ainda, a necessidade de interoperabilidade futura com o Sistema Nacional de Redução de Emissões (SINARE), instituído pelo Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023, da Presidência da República, cujo objetivo é consolidar informações, evitar dupla contagem e dar segurança regulatória às transações com créditos no país. Ainda que o registro estadual definitivo (RECA-SE) esteja em desenvolvimento, o piloto precisa adotar desde já um esquema provisório de registro, com unicidade de unidades, metadados completos e trilha de auditoria, passível de integração ao SINARE quando a solução estadual estiver madura.

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe., e o PSEV oferecem a base para que a SEMAC edite atos normativos definindo padrões mínimos de dados, procedimentos e responsabilidades para essa solução provisória, inclusive responsabilidades pela guarda de documentos e pela publicação de relatórios em formato de dados abertos, garantindo transparência e controle social.

No campo de competências, a Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe., legitima a SEMAC como autoridade regulatória e coordenadora, cabendo-lhe editar normas complementares, homologar metodologias e parâmetros técnicos compatíveis com diretrizes internacionais, aprovar relatórios de desempenho e supervisionar a execução. Ao mesmo tempo, o PSEV habilita a Desenvolve-SE a atuar como braço executor, inclusive para celebrar contratos com desenvolvedores e verificadores, administrar os recursos do fundo e operar mecanismos de comercialização, como leilões semestrais de créditos ou marketplaces digitais. Essa repartição de papéis reduz assimetrias e permite que a secretaria mantenha foco em regulação e integridade, enquanto a agência foca em eficiência operacional e financeira, sempre sob auditoria e transparência.

A Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe., também fornece o “guarda-chuva” para incorporar salvaguardas sociais e fundiárias ao piloto. Como regra, o projeto em caatinga exigirá comprovação de regularidade fundiária da área-alvo ou, no caso de áreas públicas estaduais, atos administrativos de afetação e autorização de uso compatíveis com a finalidade de restauração e monitoramento.

Em parcerias com particulares, serão exigidos cadastro ambiental atualizado, conformidade com o Código Florestal, inexistência de litígios impeditivos e consentimento livre, prévio e informado quando houver comunidades tradicionais potencialmente afetadas. Esses requisitos são compatíveis com boas práticas internacionais e reduzem riscos de invalidade de créditos por controvérsias de domínio ou por violações de direitos.

No aspecto metodológico, a Lei estadual, combinada com o PSEV, é suficiente para que a SEMAC determine, por portaria, a adoção de metodologias reconhecidas no mercado voluntário de carbono para projetos de ARR na caatinga, como a VM0047 do programa Verra, e a observância das diretrizes IPCC 2006 e do 2019 Refinement. Essa determinação normativa simplifica o processo decisório, define a régua técnica para cálculo de linha de base, adicionalidade e permanência e orienta o desenho do MRV-SE

mínimo viável. Ao amarrar metodologia e governança, o Estado reduz incertezas para investidores e certificadoras, acelerando o ciclo de validação e emissão.

Em termos de financiamento, a combinação entre a Lei nº 9.364,de 2024 e PSEV permite que o Estado utilize instrumentos de *blended finance* (finanças combinadas) para viabilizar o piloto. Isso inclui recursos do fundo estadual, contrapartidas privadas de empresas interessadas na aquisição futura de créditos, cooperação bilateral e multilateral e financiamento de bancos de fomento. As regras de alocação e repartição de benefícios poderão ser disciplinadas por resolução do comitê gestor do fundo, em conformidade com a lei, assegurando percentuais mínimos para PSA, monitoramento e buffer de risco, além de tetos de custeio administrativo. Para reforçar a segurança dos fluxos, recomenda-se a adoção de contas vinculadas e gatilhos de desembolso atrelados a marcos verificados, o que alinha pagamentos a resultados e mitiga riscos de execução.

No que se refere à transparência e ao controle social, a Lei nº 9.364, de 2024 e o PSEV preveem instâncias colegiadas e espaços de participação que podem ser mobilizados no piloto. O conselho estadual competente em mudanças climáticas, as câmaras técnicas temáticas e o fórum social de clima são arenas para a apresentação de relatórios periódicos, discussão de parâmetros e acolhimento de recomendações. A SEMAC pode, por ato administrativo, determinar a publicação de relatórios semestrais do piloto em portal específico, incluindo indicadores ambientais e socioeconômicos, andamentos de auditoria e aplicação de recursos do fundo, com dados em formato aberto para escrutínio público.

Por fim, a integração entre a Lei nº 9.364, de 2024, o Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025 e o PEPSACI em tramitação cria um trilho regulatório progressivo: o piloto já pode ser formalmente iniciado com base na Lei e no Decreto, enquanto o PEPSACI, uma vez aprovado, servirá para consolidar regras de PSA e repartição de benefícios, padronizar procedimentos e tornar permanentes os arranjos provisórios de registro e MRV utilizados no piloto. Essa solução incremental é adequada ao estado atual de desenvolvimento institucional e atende ao objetivo deste Produto 5.3: demonstrar viabilidade prática, com segurança jurídica e integridade técnica, preparando a expansão em escala nos próximos ciclos.

3.2. INTERFACE COM O DECRETO Nº 11.550, DE 14 DE JUNHO DE 2023, DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, E O SINARE

O subtítulo 2.2. esclarece como o piloto estadual deve se posicionar frente ao arranjo federal em evolução, especialmente após a revogação do Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República, pelo Decreto nº 11.550, de 2023, e as implicações para a integração futura com um registro nacional de emissões e créditos. O objetivo é oferecer diretrizes operacionais para que Sergipe preserve a integridade contábil e a bancabilidade do projeto-piloto, evitando dupla contagem e mantendo compatibilidade com padrões internacionais enquanto a regulação federal amadurece.

O Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República, instituiu o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa, concebido como central única digital para registrar emissões, remoções, reduções e compensações, e disciplinar atos de comércio, transferências e aposentadoria de créditos certificados. Na época, a orientação federal foi interpretada por analistas e escritórios especializados como um marco rumo à integração de inventários setoriais e registros voluntários, com o SINARE assumindo a função de hub de dados e de registro de unidades de carbono.

Entretanto, em 5 de junho de 2023, o Decreto nº 11.550, de 2023, revogou expressamente o Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República, reordenando a governança climática federal ao instituir o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima e abrindo espaço para a futura normatização de mercado regulado e de interoperabilidade com registros. Este ponto é textual: o artigo final do Decreto nº 11.550, de 2023, revoga o Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República, deslocando, portanto, as referências diretas ao SINARE para um plano de transição institucional até que novas normas consolidem a arquitetura de registro e contabilidade de unidades a nível federal.

Ainda que a base legal específica do SINARE prevista no Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República, tenha sido revogada, a diretriz política de criar um repositório nacional de informações e de registro de créditos permanece como orientação federal, inclusive nos debates legislativos que culminaram na regulação do mercado brasileiro de emissões e na diferenciação entre o pilar regulado e o mercado voluntário de créditos.

Em termos práticos, isso significa que programas subnacionais devem, desde já, desenhar sua trilha de interoperabilidade e suas salvaguardas de unicidade e rastreabilidade, para migração técnica assim que o desenho federal estiver plenamente estabelecido.

A leitura de especialistas, da imprensa e de comunicados técnicos em 2024–2025 foi no sentido de que a política nacional caminha para uma camada federal de registro e reconhecimento de créditos de alta integridade, com separação de funções entre regulação de emissões setoriais e reconhecimento de offsets.

Para o piloto de Sergipe, a implicação é clara: adotar um registro provisório com padrões de metadados, serialização e trilha de auditoria compatíveis com um hub nacional futuro, garantindo que cada unidade emitida seja inequivocamente única e rastreável, sem dependência de regras que ficaram superadas com a revogação do Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República.[5]

A primeira diretriz operacional é a adoção de um protocolo de unicidade e rastreabilidade alinhado às melhores práticas internacionais já consolidadas por padrões de certificação e por iniciativas de integridade. Em curto prazo, enquanto o registro estadual definitivo (RECA-SE) é desenvolvido, o piloto deve operar com um registro provisório em ambiente estatal que implemente: (i) identificação única de cada unidade de carbono gerada; (ii) metadados mínimos contendo localização geográfica; (iii) período de medição, metodologia aplicada, verificador e titularidade; (iv) status transacional com histórico de emissões, transferências e aposentadorias; e (v) publicação de informações públicas auditáveis para prevenir dupla contagem e dupla monetização. Esses requisitos reproduzem, em nível estadual, elementos que já são exigidos por padrões internacionais

[5] Fontes: Brasil, Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República, que instituiu o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE), revogado pelo Decreto nº 11.550, de 2023; Planalto, Decreto nº 11.550, de 5 de junho de 2023, que reorganiza a governança climática e institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima; Reuters, "*Brazil revokes decree on national carbon market framework*", 5 jun. 2023; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), comunicados técnicos de 2024 sobre o desenho do mercado brasileiro de emissões; Senado Federal, tramitação do Projeto de Lei nº 412, de 2022, que estabelece o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE); Agência Brasil, "Governo prepara nova regulação para o mercado de carbono no Brasil", 2024.

de registro como o ART Registry em jurisdições REDD+ e que viabilizam transparência e prevenção de dupla venda[6].

A segunda diretriz é a compatibilidade metodológica e de salvaguardas socioambientais, pois os requisitos que conferem credibilidade internacional às unidades jurisdicionais tendem a ser os mesmos que serão reconhecidos em eventual camada federal de reconhecimento. O piloto deve adotar metodologia de ARR reconhecida, como a VM0047 do programa Verra, aplicar diretrizes do IPCC 2006/2019 para mensuração, relato e verificação e observar os princípios de integridade estabelecidos pelo *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM*), incluindo adicionalidade, robustez de linha de base, permanência, registro e transparência.

A convergência com os *Core Carbon Principles* é particularmente estratégica, na medida em que programas e metodologias compatíveis com os CCPs tendem a ser priorizados por compradores e investidores institucionais, e foram objeto de avaliações públicas em 2024–2025[7].

A terceira diretriz consiste na preparação para integração técnica com sistemas federais de dados climáticos, ainda que esses não tenham função de registro de créditos de carbono. O inventário estadual e o Sistema de Medição, Relato e Verificação (MRV) do piloto devem ser compatíveis com o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), repositório computacional do inventário nacional de emissões sob coordenação do governo federal, utilizando formatos abertos, metadados padronizados e taxonomias consistentes. Embora o SIRENE não exerça a função de registro de créditos, a compatibilidade taxonômica, temporal e espacial entre os dados estaduais e nacionais facilita a validação de consistência em auditorias futuras e possibilita a reconciliação contábil caso venha a ser exigida integração com um registro nacional de créditos em desenvolvimento.

---

[6] Fontes: Architecture for REDD+ Transactions (ART), *TREES Standard – The REDD+ Environmental Excellence Standard*, versão 2.0, 2023; ART Registry, *Registry Procedures and Requirements*, 2023; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM), *Core Carbon Principles, Assessment Framework and Assessment Procedure*, 2023; Verra, *VCS Program Guide v4.3*, 2023; World Bank, *Carbon Markets and REDD+ Integrity Frameworks*, 2024.

[7] Fontes: Verra, *VM0047 Afforestation, Reforestation and Revegetation Methodology v1.0*, 2022; Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* e *2019 Refinement to the 2006 Guidelines*, Genebra, 2019; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM), *Core Carbon Principles, Assessment Framework and Assessment Procedure*, Londres, 2023; World Bank, *High-Integrity Carbon Markets for Sustainable Development*, Washington, D.C., 2024; Carbon Market Watch, *Integrity Assessments of Major Standards*, Bruxelas, 2024.

A quarta diretriz trata do tratamento jurídico de transição nos instrumentos contratuais do piloto. Dado que o Decreto nº 11.550, de 2023, reorganizou a governança climática e revogou a base infralegal do SINARE anterior, recomenda-se que as minutas contratuais de compra futura de créditos (ERPA/offtake), de PSA e de cooperação incluam cláusulas de: (i) ajuste regulatório automático, prevendo conformidade com quaisquer normas federais supervenientes de registro e reconhecimento de créditos, sem necessidade de renegociação do objeto; (ii) obrigação de re-registro das unidades emitidas no sistema nacional que vier a ser instituído, quando tecnicamente disponível; (iii) hierarquia de dados, reconhecendo o registro estadual provisório como evidência primária de unicidade e cronologia até a migração; (iv) compromisso de não dupla monetização pelas partes, inclusive por declarações, garantias e indenização por violação. A referência expressa à revogação do Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República e à vigência do Decreto nº 11.550, de 2023, nos considerandos dos contratos registra o contexto regulatório e reduz risco de interpretação futura[8].

A quinta diretriz consiste na harmonização das salvaguardas fundiárias e sociais com padrões de programas jurisdicionais reconhecidos internacionalmente, como o padrão *The REDD+ Environmental Excellence Standard (TREES)* desenvolvido pela iniciativa *Architecture for REDD+ Transactions (ART)*. Ainda que o piloto tenha foco em atividades de Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (ARR) na caatinga e não se trate de um programa jurisdicional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+), os requisitos de governança fundiária, reconhecimento de direitos e aplicação de procedimentos de Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) em áreas de povos e comunidades tradicionais são convergentes e fortalecem a credibilidade e a bancabilidade do projeto.

O padrão ART-TREES enfatiza a necessidade de descrever os processos de reconhecimento, inventário e mapeamento de direitos de posse formais e consuetudinários nas áreas de implementação, além de prever a alocação de recursos para sua efetivação. A incorporação desses elementos ao desenho do piloto garante compatibilidade com uma possível migração futura para um programa jurisdicional mais

[8] Fontes: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), Brasília, 2023; Brasil, Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa 5ª edição, MCTI, 2023; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Programa de Monitoramento de Emissões por Sensoriamento Remoto, 2024; Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), *Data Interoperability for Climate Action*, Paris, 2024.

amplo e atende às exigências de due diligence de investidores e compradores internacionais[9].

A sexta diretriz diz respeito à coerência com o movimento internacional de qualificação e verificação de créditos de carbono de acordo com padrões de integridade reconhecidos globalmente. Entre 2024 e 2025, o I*ntegrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM)* publicou avaliações oficiais reconhecendo programas como *Verra e Architecture for REDD+ Transactions (ART)* no escopo dos *Core Carbon Principles (CCPs)*, ao mesmo tempo em que alertou que parte das metodologias antigas em outras categorias pode não atender plenamente aos critérios atualizados de adicionalidade, robustez de linha de base e transparência.

No caso de Sergipe, a estratégia prudente é priorizar, no projeto piloto, metodologias e programas que já tenham recebido avaliação inicial favorável sob os CCPs, estruturando o Sistema de Medição, Relato e Verificação (MRV) de forma a cumprir requisitos avançados de consistência, permanência e integridade ambiental. Essa abordagem reduz o risco de desvalorização futura dos créditos emitidos e garante maior aceitação por compradores institucionais[10].

Com base nessas seis diretrizes, os passos operacionais para estabelecer a interface com a regulação federal no contexto do projeto piloto são os seguintes. Em primeiro lugar, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) deverá expedir portaria definindo o padrão de metadados e de serialização do registro provisório estadual, estabelecendo a unidade de carbono, os

[9] Fontes: Architecture for REDD+ Transactions (ART), *TREES Standard – The REDD+ Environmental Excellence Standard v2.0*, 2023; ART, *Guidelines for Jurisdictional REDD+ Programs and Safeguards Implementation*, 2023; Banco Mundial, *Environmental and Social Framework (ESF)*, Washington, D.C., 2018; Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), *Voluntary Guidelines on the Responsible Governance of Tenure of Land, Fisheries and Forests in the Context of National Food Security (VGGT)*, Roma, 2012; Organização Internacional do Trabalho (OIT), *Convenção nº 169 sobre Povos Indígenas e Tribais*, Genebra, 1989; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM), *Core Carbon Principles, Assessment Framework and Assessment Procedure*, Londres, 2023.

[10] Fontes: *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM),* Core Carbon Principles, Assessment Framework and Assessment Procedure*, Londres, 2023; ICVCM,* Public Announcements on Program Assessments – Verra and ART*, 2024; Verra,* VCS *Program Update on ICVCM Alignment*, Washington, D.C., 2024; Architecture for REDD+ Transactions (ART), *Recognition under the Core Carbon Principles*, 2024; Reuters, "*Global carbon standards body approves Verra, ART under Core Carbon Principles", 12 mar. 2024; Bloomberg, "Carbon market reforms push legacy credits to meet stricter integrity rules*", 2024.

campos obrigatórios, o esquema de numeração única e os eventos de ciclo de vida, como emissão, transferência, oneração e aposentadoria.

Em segundo lugar, a Agência de Desenvolvimento de Sergipe (Desenvolve-SE), na qualidade de agente executor, hospedará o registro provisório em ambiente governamental, com trilha de auditoria e assinatura digital em cada operação, incluindo interfaces de programação de aplicações (APIs) que permitam futura integração com o sistema nacional de registro que vier a ser instituído.

Em terceiro lugar, os contratos do piloto deverão conter cláusulas de migração e de reconhecimento mútuo de unicidade e de prevenção à dupla contagem, além de prever a repactuação automática para cumprimento de requisitos supervenientes de reporte e registro. Por fim, o Sistema Estadual de Medição, Relato e Verificação (MRV-SE) do piloto adotará formatos de dados compatíveis com os inventários oficiais e com os quadros de reporte de certificadoras, garantindo a publicação de resumos executivos e relatórios metodológicos em formato aberto, assegurando transparência e controle social[11].

Paralelamente ao arranjo de interoperabilidade e governança, o projeto piloto deverá considerar que, desde 2023, a política climática federal vem sendo reposicionada por meio do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), órgão responsável pela coordenação e formulação da política nacional de enfrentamento às mudanças climáticas. Esse comitê, reestruturado e fortalecido em 2024, passou a desempenhar papel central na definição de diretrizes para o mercado regulado de carbono e para o reconhecimento de créditos de compensação (*offsets*) nos instrumentos setoriais em desenvolvimento.

Para o Estado de Sergipe, isso significa acompanhar de forma sistemática as resoluções, portarias e atos do CIM, assegurando que o projeto piloto mantenha aderência às normas federais. A diretriz prática é instituir um canal oficial e permanente de

11 Fontes: Brasil, Decreto nº 11.550, de 5 de junho de 2023, que reorganiza a governança climática e define o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE); Sergipe, Lei nº 9.364, de 15 de fevereiro de 2024, que institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima; Sergipe, Decreto nº 1.016, de 3 de abril de 2025, que regulamenta a Lei nº 9.364/2024 e institui o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e Carbono Integral (PEPSACI); Organização Internacional de Padronização (ISO), ISO 14064-1:2018 – Greenhouse gases — Part 1*: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*, Genebra, 2018; Banco Mundial, Digital MRV *Systems and Data Transparency in Carbon Markets*, Washington, D.C., 2023.

coordenação federativa entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e o órgão federal competente, garantindo a atualização contínua sobre requisitos técnicos e jurídicos de registro, reporte e interoperabilidade[12].

Em síntese, a revogação do Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República, pelo Decreto nº 11.550, de 2023, não representa um obstáculo à execução do projeto piloto em Sergipe. Ao contrário, reforça a importância de um desenho institucional sólido, com bases metodológicas consistentes, garantia de unicidade e rastreabilidade dos créditos e capacidade técnica para integração futura com o sistema federal, quando este estiver plenamente estruturado.

A ancoragem do piloto em metodologias reconhecidas internacionalmente, como a VM0047 do programa Verra, a aderência aos *Core Carbon Principles* definidos pelo *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM*) e a replicação, em âmbito estadual, de práticas de transparência e prevenção de dupla contagem semelhantes às adotadas em registros internacionais, como o *ART Registry da Architecture for REDD+ Transactions (ART),* asseguram a credibilidade e a bancabilidade do projeto. Essa abordagem também mantém a flexibilidade normativa necessária para ajustes futuros, acompanhando o amadurecimento do arranjo federal de governança climática[13].

[12] Fontes: Brasil, *Decreto nº 11.550, de 5 de junho de 2023*, que reorganiza a governança climática federal e institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM); Planalto, *Comunicados Oficiais do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima*, Brasília, 2024; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), *Atas e Deliberações do CIM*, 2024; Agência Brasil, "Governo federal fortalece comitê interministerial para acelerar política de carbono", 2024; Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), *Climate Governance Review: Brazil 2024*, Paris, 2024.

[13] Fontes: Brasil, *Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022*, que instituiu o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE), revogado pelo *Decreto nº 11.550, de 5 de junho de 2023*; Verra, *VM0047 Afforestation, Reforestation and Revegetation Methodology v1.0*, Washington, D.C., 2022; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM), *Core Carbon Principles, Assessment Framework and Assessment Procedure*, Londres, 2023; Architecture for REDD+ Transactions (ART), *TREES Standard – The REDD+ Environmental Excellence Standard v2.0* e *ART Registry Procedures*, 2023; Reuters, "Brazil revokes decree on national carbon market framework", 5 jun. 2023.

3.3. SALVAGUARDAS SOCIAIS, CONSENTIMENTO LIVRE, PRÉVIO E INFORMADO (CLPI) E CONFORMIDADE COM A CONVENÇÃO 169 DA OIT

Esta subseção detalha como o projeto-piloto em caatinga incorporará salvaguardas sociais robustas, com ênfase no consentimento livre, prévio e informado (CLPI) e na conformidade com a Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT), ratificada no Brasil e internalizada por meio do Decreto nº 10.088, de 2019, que consolidou atos normativos anteriores, entre eles o Decreto nº 5.051, de 2004.

A orientação aqui é operacional, orientada por padrões internacionais de salvaguardas (*World Bank Environmental and Social Framework, 2017; UNDP Social and Environmental Standards, 2021*), pelos *Core Carbon Principles do Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2023)* e pelos requisitos de engajamento e queixas previstos nos programas de certificação de carbono florestal aplicáveis ao piloto, como a metodologia VM0047 do Verra para reflorestamento e revegetação (ARR).

O ponto de partida é o reconhecimento de que projetos de restauração florestal e de manejo sustentável na caatinga podem envolver áreas de uso tradicional de povos e comunidades locais, ainda que as terras sejam de domínio público estadual. O uso costumeiro de recursos naturais, as rotas de deslocamento, as áreas de coleta, o extrativismo e as práticas culturais podem ser impactados por cercamentos, alterações de manejo ou restrições temporárias durante a implantação do projeto. A Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) estabelece que esses povos e comunidades devem ser consultados de forma prévia, livre e informada, com o propósito de alcançar acordo ou consentimento sobre medidas administrativas ou legislativas que os afetem diretamente. No âmbito do projeto piloto, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) deve reconhecer o Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) como requisito essencial de conformidade e integridade dos créditos gerados, garantindo que o processo de engajamento social seja parte integrante do desenho e da execução do projeto, e não apenas uma formalidade documental[14].

[14] Fontes: Organização Internacional do Trabalho (OIT), *Convenção nº 169 sobre Povos Indígenas e Tribais*, Genebra, 1989; Organização das Nações Unidas (ONU), *Declaração das Nações Unidas sobre os Direitos dos Povos Indígenas (UNDRIP)*, Nova Iorque, 2007; Banco Mundial, *Environmental and Social Framework (ESF)*, Washington, D.C., 2018; Ministério dos Povos Indígenas (MPI), *Diretrizes de Consulta Prévia, Livre e Informada*, Brasília, 2024;

A operacionalização do CLPI começa pela identificação e pelo mapeamento social das partes potencialmente afetadas. O diagnóstico social deve preceder qualquer decisão de cercamento, plantio ou alteração de acesso. Esse diagnóstico integra o levantamento fundiário e territorial do Capítulo 3 e deve utilizar fontes oficiais e comunitárias.

As bases públicas incluem os cadastros e mapas de territórios quilombolas em diferentes estágios de reconhecimento (Fundação Cultural Palmares e INCRA), informações sobre terras públicas e unidades de conservação (ICMBio e órgão estadual), cadastros de pescadores artesanais e marisqueiras em áreas costeiras que eventualmente se interliguem ao corredor caatinga–manguezal, e registros de fundos de pasto e associações comunitárias nos municípios da área de influência.

O estudo social deve incluir visitas de campo, entrevistas semiestruturadas e registro fotográfico e cartográfico de áreas de uso, trilhas e locais de importância cultural. O resultado é um mapa social de usos e usuários que baliza o plano de consulta e a delimitação de áreas de exclusão ou de uso compartilhado durante a implantação.

Com o mapa social estabelecido, a SEMAC deve publicar um protocolo de consulta específico para o piloto, em linguagem clara e acessível, descrevendo objetivos, fases, conteúdos e garantias do processo. O protocolo deve assegurar que a consulta ocorrerá antes da decisão final sobre implantação e manejo e antes de qualquer contratação que comprometa o desenho de campo.

O material informativo deve ser multilíngue sempre que pertinente e culturalmente adequado, explicando o que é o projeto, seus potenciais impactos, benefícios previstos, regras de repartição e as responsabilidades de cada parte, bem como os direitos de recusa, de solicitação de alterações e de retirada de consentimento em condições que não imponham ônus desproporcional.

O cronograma de consultas não pode ser apressado; deve prever reuniões preparatórias, oficinas públicas, momentos exclusivos para mulheres e jovens, e canais para recebimento de contribuições por escrito. O registro documental das reuniões —

Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI), *Manual de Implementação de Consultas segundo a Convenção 169*, Brasília, 2023.

atas, listas de presença, áudios, vídeos, mapas co-construídos — é parte do dossiê de CLPI que acompanhará o pedido de validação metodológica e a submissão à certificadora.

A decisão comunitária é tomada conforme as formas de representação reconhecidas localmente. Em comunidades quilombolas, por exemplo, decisões em assembleia e com quórum culturalmente reconhecido são a forma mais apropriada; em fundos de pasto, a associação formal pode deliberar, desde que o processo tenha sido previamente discutido de modo aberto e com ampla divulgação local.

O consentimento é válido se livre de coação, vinculado a informação adequada e compreensível e anterior aos atos de implantação. A SEMAC deve documentar especificamente como viabilizou condições materiais para participação efetiva: logística de deslocamento, alimentação, tradução, horários compatíveis com rotinas de trabalho e cuidado e garantia de que a participação não impôs custos que discriminem grupos mais vulneráveis. A verificação independente examinará se esses requisitos foram cumpridos, pois programas de alta integridade consideram inválidos processos conduzidos de forma apenas formal.

A concordância comunitária não encerra o processo; ela abre o caminho para acordos formais que espelham o conteúdo da consulta. Tais instrumentos devem conter cláusulas claras de repartição de benefícios econômicos e não econômicos, incluindo percentuais de PSA a serem pagos, indicadores de desempenho socioambiental que desencadeiam pagamentos, regras de priorização para contratação de mão de obra local e de serviços de monitoramento, compromissos de capacitação técnica e de apoio a atividades produtivas compatíveis, como apicultura, extração de frutos e sementes ou produção de mudas nativas. Esses acordos também devem incorporar medidas específicas de gênero e juventude, como cotas de participação em comitês locais e prioridade de contratação para mulheres e jovens, refletindo os compromissos assumidos no Capítulo 7, do Produto 5.2 e coerentes com a Lei nº 14.119, de 2021, sobre PSA em nível federal.

A estrutura de salvaguardas do piloto deve incluir um mecanismo de queixas e solução de conflitos acessível, previsível e transparente. Esse mecanismo precisa oferecer múltiplas portas de entrada, inclusive presencial nos municípios de influência e digital por meio de plataforma estadual, com anonimato quando necessário, prazos definidos para acolhimento e resposta, instância de apelação e possibilidade de mediação por entidade independente.

A SEMAC deve garantir que o canal seja amplamente divulgado durante todo o ciclo do projeto e que sua existência e funcionamento não substituem direitos administrativos e judiciais dos interessados. Do ponto de vista metodológico, tanto a VM0047 quanto as boas práticas do ICVCM requerem a existência de mecanismos funcionais de queixas, e a verificação independente revisará sua eficácia real, não apenas sua formalidade.

O piloto também precisa de salvaguardas laborais e de integridade condizentes com padrões internacionais. Devem constar nos instrumentos contratuais cláusulas expressas de proibição de trabalho infantil e forçado, igualdade de remuneração para trabalho de igual valor, políticas de prevenção a assédio e discriminação, e cumprimento de normas de saúde e segurança no trabalho.

Para qualquer contratação de mão de obra temporária ou permanente, a Desenvolve-SE e o desenvolvedor do projeto devem comprovar regularidade trabalhista e previdenciária e adotar plano de saúde e segurança específico para atividades de campo, incluindo manejo de ferramentas, deslocamento em áreas remotas, exposição solar e risco de fauna peçonhenta. A verificação independente auditará registros de treinamento, entregas de EPIs e incidentes notificados.

A proteção de dados pessoais, sensíveis e comunitários integra as salvaguardas. Como o Brasil dispõe de Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD (Lei nº 13.709, de 2018), as atividades de consulta, cadastro de beneficiários e monitoramento social devem observar princípios de finalidade, necessidade e segurança. O cadastro de beneficiários de PSA deve coletar apenas dados estritamente necessários à execução contratual e à prestação de contas, com guarda em ambiente seguro e políticas de acesso restrito por perfil. Dados comunitários que revelem localização de sítios sagrados, conhecimentos tradicionais ou rotas sensíveis não devem ser publicados sem autorização específica e podem ser tratados em camadas de confidencialidade, ainda que sejam mapeados para fins de planejamento interno do projeto e de prevenção de impactos.

A harmonização com salvaguardas de programas jurisdicionais como o ART-TREES é recomendada mesmo quando o piloto for um projeto de ARR. O padrão ART exige que programas descrevam como direitos formais e consuetudinários são identificados, como as partes interessadas participam do desenho e da implementação e como benefícios são repartidos de modo transparente. Reproduzir essa lógica no piloto — com mapeamento de direitos e usos, CLPI efetivo, acordos de repartição e mecanismo de queixas — antecipa a compatibilidade com uma futura expansão para escopo

jurisdicional e facilita a aceitação por compradores que exigem evidência de integridade social equivalente à de programas REDD+.

No caso específico de Sergipe, a aplicação do CLPI deve levar em conta a realidade socioterritorial do semiárido sergipano e as conexões costeiras. Municípios da faixa de caatinga apresentam mosaicos de posse e propriedade, com áreas públicas, posses de longa data, assentamentos e comunidades rurais organizadas em associações e fundos de pasto.

A abordagem deve diferenciar situações: em áreas públicas, o Estado deve assegurar que atos de afetação e uso contemplem salvaguardas de acesso preexistentes; em parcerias com particulares, os contratos devem impor obrigações ao proprietário quanto à manutenção de usos tradicionais compatíveis e à realização de consultas quando houver usuários costumeiros em sobreposição. Em corredores ecológicos que conectam caatinga a zonas úmidas influentes, é prudente consultar colônias de pescadores artesanais e marisqueiras quando houver impactos indiretos, ainda que o piloto não intervenha em manguezais nesta fase.

O desenho financeiro ligado às salvaguardas precisa ser explícito. A repartição de benefícios deve reservar parcela estável de receitas de créditos para comunidades e beneficiários diretos do PSA, com regras claras de gatilhos de pagamento por resultados socioambientais. O fundo estadual temático pode criar linhas específicas para inclusão produtiva e para resolver litígios de baixa complexidade por meio de mediação e apoio técnico, evitando que conflitos se traduzam em judicialização prolongada que comprometa o fluxo do projeto. O custo de implementação de salvaguardas — consultas, facilitação, comunicação, tradução, logística — deve constar do orçamento do projeto e dos planos de aplicação do fundo, com linhas de despesa identificáveis e auditáveis.

No plano documental, o dossiê de salvaguardas do piloto deve incluir o diagnóstico social com mapa de usos, o protocolo de consulta publicado, a comprovação das etapas de informação e de escuta, as atas e listas de presença, a narrativa analítica de como sugestões foram incorporadas ao desenho final, os acordos celebrados com comunidades e beneficiários, o plano do mecanismo de queixas com seus fluxos e prazos, e as comprovações de treinamento e de comunicação contínua. Esse conjunto documental acompanha o pedido de validação junto à certificadora e é revisado pelo verificador independente durante a auditoria inicial e nas verificações periódicas.

A mensuração e o reporte de resultados sociais precisam integrar o MRV-SE. Indicadores como número de famílias beneficiárias, participação de mulheres e jovens em postos remunerados e em governança local, horas de capacitação, número e tipo de queixas recebidas e resolvidas, renda média por PSA e incidência de conflitos fundiários devem constar de relatórios anuais do piloto e ser publicados em portal estadual, com dados desagregados por município e por sexo sempre que isso não comprometer a privacidade. A certificadora avaliará coerência entre o que foi pactuado nos acordos de CLPI e o que é medido e pago ao longo do tempo.

O ponto final desta subseção é a conexão entre salvaguardas e bancabilidade. Compradores institucionais, fundos de investimento e plataformas que aplicam os *Core Carbon Principles* tendem a priorizar créditos com evidência verificável de CLPI, repartição justa de benefícios, mecanismos de queixas funcionais e indicadores sociais consistentes. Incorporar essas exigências desde o piloto não apenas previne riscos reputacionais e de invalidação de créditos, como, também, aumenta o valor percebido e a demanda por unidades de Sergipe. Para tanto, a SEMAC deve assegurar que os termos de referência de contratação do desenvolvedor e do verificador contenham obrigações claras de desenho e de auditoria de salvaguardas e que o comitê gestor do fundo estadual condicione desembolsos a marcos sociais verificados, e não apenas a metas biofísicas.

Com este desenho, o piloto cumpre integralmente o requisito de conformidade com a Convenção 169 da OIT, incorpora as boas práticas do ESF do Banco Mundial e dos padrões do PNUD e atende às expectativas de integridade social dos programas de certificação e do ICVCM. Isso oferece segurança jurídica, legitimidade social e previsibilidade operacional, elementos indispensáveis à emissão de créditos de alta qualidade e à sua aceitação por compradores exigentes.

3.4. GOVERNANÇA DO PILOTO E PAPÉIS DE SEMAC, DESENVOLVE-SE, ITPS-SE E CEMAC

A governança do projeto piloto deve transformar em procedimentos concretos a repartição de competências estabelecida pelo ordenamento estadual, convertendo as atribuições legais em atos administrativos, fluxos decisórios, instrumentos contratuais e métricas de desempenho que assegurem previsibilidade, transparência e controle. O modelo proposto estrutura o ciclo de vida do projeto em quatro eixos de responsabilidade que operam de maneira coordenada: regulação e supervisão pública; execução financeira

e gestão de contratações; medição e verificação técnico-científica; e controle social com deliberação colegiada.

Esses eixos correspondem, respectivamente, às funções da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), da Agência de Desenvolvimento de Sergipe (Desenvolve-SE), do Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS-SE) e do Conselho Estadual de Mudança do Clima (CEMAC), contando ainda com a cooperação de órgãos transversais, como a Procuradoria-Geral do Estado (PGE), a Controladoria-Geral do Estado (CGE), a Secretaria da Fazenda (SEFAZ), a Secretaria de Planejamento (SEPLAN) e, quando aplicável, institutos fundiários e cartórios responsáveis por atos dominiais.

No eixo de regulação e supervisão, a SEMAC é a autoridade climática estadual responsável por dar enquadramento normativo e aprovar os elementos estruturantes do piloto. Essa atuação começa pela edição de portarias que estabelecem a adoção de metodologia reconhecida para projetos de reflorestamento e revegetação em caatinga, definem parâmetros mínimos de linha de base e adicionalidade conforme diretrizes IPCC 2006 com o refinamento de 2019 e determinam o escopo do sistema estadual de monitoramento, relato e verificação em sua versão mínima viável.

A SEMAC também deve instituir a unidade gestora do programa, com equipe técnico-administrativa dedicada, e publicar o manual de procedimentos operacionais, documento que descreve com precisão os passos para seleção de áreas, elaboração de estudos técnicos, realização de consultas sociais, submissão à certificadora, auditorias de verificação e emissão de relatórios públicos. A supervisão regulatória se materializa na análise e homologação de cada marco do projeto, com parecer técnico da unidade gestora e despacho conclusivo da autoridade competente, garantindo cadeia de responsabilidade identificável e auditável.

No eixo de execução financeira e contratações, a Desenvolve-SE assume o papel de agente operador do piloto. Essa agência de fomento estrutura e conduz os processos de contratação do desenvolvedor do projeto, do verificador independente e de eventuais consultorias especializadas em inventário florestal, sensoriamento remoto, fundiário e salvaguardas sociais. Os instrumentos convocatórios precisam refletir as exigências técnicas e sociais definidas pela SEMAC, incluindo critérios mínimos de experiência em projetos de ARR certificados, comprovação de acreditação para verificação conforme ISO 14065, aderência a diretrizes de integridade de mercado e comprovação de políticas corporativas de conformidade, prevenção a conflitos de interesse e proteção de dados.

Caberá à Desenvolve-SE administrar a execução orçamentária associada ao piloto, operar contas vinculadas com gatilhos de desembolso por resultado e manter conciliação permanente entre o cronograma físico e o financeiro, de modo que pagamentos sejam condicionados a marcos verificados. A agência também deve conduzir, por delegação, a implementação do registro provisório de créditos enquanto o registro estadual definitivo não estiver em produção, assegurando trilha de auditoria, serialização única de unidades, assinatura digital em cada evento e capacidade de exportação dos dados em formatos interoperáveis para integração nacional futura.

No eixo de medição e verificação técnico-científica, o ITPS-SE coordena a implantação do sistema de monitoramento, relato e verificação específico do piloto, cumprindo duas funções complementares. A primeira função é a de laboratório público de referência, responsável por desenhar o plano amostral, supervisionar a coleta de dados de campo, validar equações alométricas e calibrar parâmetros de biomassa e carbono de solo à luz da literatura disponível e dos protocolos IPCC. A segunda, é a de integrador de dados geoespaciais, operando rotinas de processamento de imagens de satélite em frequências definidas, com artefatos de qualidade que reduzam vieses de nuvem, sombreamento e variações sazonais.

O instituto deve integrar dados de inventário e sensoriamento em um repositório seguro, com versionamento e metadados completos, garantindo reprodutibilidade de resultados e rastreabilidade de todas as transformações aplicadas. Sua atuação não substitui a verificação independente exigida pelas certificadoras, mas a complementa, criando capacidade estatal de checagem e conferência que aumenta a confiança dos investidores e facilita auditorias. O ITPS-SE também responde por relatórios metodológicos anuais, que documentam a base de dados utilizada, os algoritmos aplicados e as estimativas geradas, e por pareceres técnicos submetidos à SEMAC em cada decisão de avanço de fase.

No eixo de controle social e deliberação colegiada, o CEMAC funciona como instância de validação estratégica, resolução de dúvidas metodológicas e guarda de integridade pública. Ao Conselho compete aprovar o plano de trabalho anual do piloto, chancelar os relatórios de desempenho e deliberar sobre ajustes relevantes de metodologia, salvaguardas e repartição de benefícios antes que sejam aplicados. As discussões do CEMAC devem ser preparadas por câmaras técnicas, que reúnem especialistas de universidades, centros de pesquisa e organizações sociais, capazes de emitir pareceres sobre a suficiência do MRV, a consistência dos estudos fundiários, a

robustez dos processos de consulta social e a adequação dos instrumentos contratuais. O Conselho também é o local apropriado para acompanhamento dos mecanismos de queixas e de solução de conflitos, recebendo relatórios semestrais e podendo recomendar medidas corretivas, inclusive condicionando desembolsos do fundo estadual a regularização de pendências.

A conectividade entre essas quatro linhas de atuação requer um arcabouço documental padronizado. O manual de procedimentos operacionais deve prever dossiês temáticos para cada etapa decisória, com conteúdos mínimos e assinaturas responsáveis.

O dossiê de seleção de área, por exemplo, precisa conter a documentação dominial ou, se for o caso de parceria com particular, os comprovantes de titularidade, a inexistência de gravames impeditivos e as certidões cartoriais e administrativas pertinentes, assim como a situação no cadastro ambiental e a compatibilidade com zoneamentos ambientais e territoriais. O dossiê metodológico deve incluir a justificativa de enquadramento na metodologia de reflorestamento e revegetação, a linha de base demonstrada, os critérios de adicionalidade econômica e regulatória, o desenho amostral, a estratégia de controle de incerteza e os protocolos de campo. O dossiê social precisa apresentar o diagnóstico de usos e usuários, o protocolo de consulta, as atas e registros das reuniões e os termos pactuados de repartição de benefícios e de regras de acesso e manejo durante a implantação. Cada dossiê avança mediante parecer do ITPS-SE naquilo que é técnico-científico, parecer da unidade gestora da SEMAC naquilo que é normativo e institucional, e voto do CEMAC quando se tratar de marcos que impactem integridade e governança.

O fluxo decisório do piloto deve ser organizado em portos de controle previamente definidos. O primeiro porto é a autorização de escopo, em que a SEMAC valida a proposta de piloto, aprova a metodologia a ser utilizada e define o perímetro de elegibilidade de áreas, com base em critérios biofísicos, fundiários e sociais. O segundo, é a aprovação da seleção de área e do plano de engajamento social, condicionando qualquer mobilização de campo à conclusão e aprovação do diagnóstico social e do protocolo de consulta. O terceiro, é a aprovação do plano amostral e do cronograma de inventário, que desencadeia a contratação de serviços de campo e a preparação de infraestrutura logística e de segurança do trabalho. O quarto, é a aprovação do relatório de validação para submissão à certificadora e contratação do verificador independente, com previsão de cronograma de auditoria inicial. O quinto, é a autorização para emissão de lote piloto no registro provisório, após verificação concluída e homologada,

vinculando a emissão a um conjunto de documentos e à assinatura digital das autoridades competentes. Cada porto é acompanhado de uma ata de decisão, que consolida pareceres, fixa condicionantes e estabelece prazos e responsáveis.

A integridade financeira e a rastreabilidade de recursos exigem acoplamento estreito entre decisões técnicas e execução orçamentária. A Desenvolve-SE deve manter um módulo de gestão financeira que relacione cada desembolso a um marco técnico aprovado e a um objetivo verificável. Despesas de inventário só devem ser liquidadas após entrega e validação de parcelas amostrais conforme plano aprovado; despesas de consulta social após comprovação documental das reuniões e dos produtos de comunicação previstos; despesas de verificação após conclusão da auditoria com relatório emitido; despesas de emissão e de registro após publicação dos dados em portal de transparência. Esse encadeamento reduz riscos de adiantamentos indevidos e melhora a qualidade da prestação de contas, beneficiando auditorias do Tribunal de Contas e a avaliação por parte de potenciais compradores.

A gestão de riscos e a conformidade devem ser tratadas como funções permanentes e transversais. A unidade gestora da SEMAC precisa manter um registro de riscos atualizado, com identificação, avaliação de probabilidade e impacto e planos de mitigação e contingência para riscos fundiários, climáticos, operacionais, de mercado e de integridade social. Em paralelo, a Desenvolve-SE deve manter programas de compliance aplicáveis às contratações e à gestão de contratos, com políticas de prevenção a fraude e corrupção, regras de conflito de interesses para membros de comissões de contratação e mecanismos de denúncia confidencial. O ITPS-SE, por sua vez, deve operar políticas de qualidade de dados e de segurança da informação, incluindo planos de continuidade de negócios para os repositórios de dados de monitoramento, sistemas de backup e testes periódicos de restauração. O CEMAC poderá requerer relatórios de conformidade e, quando necessário, solicitar revisão de procedimentos, inclusive condicionando autorizações à apresentação de melhorias.

A interface com municípios e órgãos setoriais é indispensável para garantir capilaridade e reduzir custos de transação. Para tanto, a SEMAC deve firmar acordos de cooperação com prefeituras e consórcios intermunicipais da região do piloto, prevendo pontos focais para apoio às consultas sociais, logística de campo, segurança e comunicação com beneficiários. Esses acordos podem incluir a participação de secretarias municipais de meio ambiente e agricultura em comitês locais de acompanhamento, com reuniões periódicas e circulação de relatórios resumidos.

Em áreas públicas estaduais, a atuação coordenada com o órgão gestor patrimonial e com o instituto de terras é necessária para ordenar a afetação da área ao projeto e delimitar responsabilidades por cercamento, sinalização e fiscalização. Quando houver sobreposições com unidades de conservação, o órgão gestor deve participar dos atos autorizativos e do monitoramento, assegurando compatibilidade de finalidades e harmonização de atividades.

A contratação do desenvolvedor do projeto e do verificador independente é um ponto sensível da governança, pois envolve competências especializadas e repercussões diretas sobre a qualidade do ativo gerado. Para o desenvolvedor, o termo de referência deve exigir demonstração de experiência concreta em projetos de ARR com certificação emitida ou em validação avançada, capacidade de executar inventários florestais e de solos em biomas semiáridos, domínio do processamento de imagens e conhecimento dos requisitos de salvaguardas e de linha de base da metodologia escolhida.

O termo de referência também deve exigir plano de trabalho detalhado com marcos, produtos e equipe-chave, além de comprovação de independência em relação a compradores potenciais, para evitar conflitos de interesse que possam comprometer a imparcialidade das estimativas. Para o verificador, o edital deve exigir acreditação válida, equipe com experiência em auditoria em ARR e conhecimento atualizado das diretrizes de integridade, além de compromisso com cronograma compatível com o caminho crítico do piloto. A Desenvolve-SE deve submeter, à SEMAC, as minutas de editais e contratos para análise prévia, garantindo alinhamento regulatório e técnico.

A governança documental e a transparência pública são dimensões que influenciam diretamente a bancabilidade dos créditos. A SEMAC deve instituir um repositório público do piloto, em domínio institucional, no qual serão publicados os atos normativos, os relatórios de seleção de área, os planos metodológicos, os resumos de consultas sociais, os relatórios de auditoria e os indicadores de desempenho ambiental e social.

O nível de detalhe deve equilibrar transparência e proteção de dados pessoais e sensíveis; relatórios técnicos podem conter anexos reservados quando trouxerem georreferenciamento de locais culturalmente sensíveis, mas sempre com descrição suficiente para permitir escrutínio público da integridade do processo. A Desenvolve-SE, ao operar o registro provisório, deve expor um extrato público por lote emitido, com identificação, localização geral, volume, metodologia, período de verificação, verificador, situação transacional e link para a documentação de suporte. Esse padrão aproxima o piloto dos registros internacionais de boa reputação e facilita due diligence de compradores.

O processo decisório deve incluir mecanismos formais de gestão de mudanças. Projetos de restauração em caatinga estão sujeitos a variações climáticas e operacionais que podem exigir ajustes de cronograma, reconfiguração de parcelas amostrais, substituição de espécies ou alteração de estratégias de manejo.

Para cada mudança relevante, a unidade gestora da SEMAC deve exigir justificativa técnica, avaliação do impacto em linha de base, adicionalidade, permanência e salvaguardas e parecer do ITPS-SE quanto aos reflexos em estimativas de carbono e incerteza. Mudanças que afetem repartição de benefícios ou obrigações sociais devem ser submetidas ao CEMAC. A Desenvolve-SE condicionará ajustes financeiros aprovados à formalização dessas mudanças e à atualização dos documentos de projeto junto à certificadora quando aplicável.

A articulação com potenciais compradores e investidores, embora trate de relações comerciais, também tem reflexos na governança. É recomendável que a SEMAC defina diretrizes de relacionamento que preservem a imparcialidade técnica do piloto e evitem a captura por interesses de curto prazo. A Desenvolve-SE pode conduzir diálogos preliminares e sondagens de mercado com empresas e plataformas interessadas, desde que os termos sejam públicos, que não se comprometam volumes antes da verificação e que eventuais contratos de compra futura condicionem obrigações a marcos técnicos e regulatórios claros. O CEMAC deve acompanhar essas tratativas por meio de relatórios trimestrais, e a publicação de intenções de compra ou cartas de interesse deve obedecer a padrões de transparência que evitem assimetria informacional.

A coordenação com o Ministério Público, a Defensoria Pública e órgãos de controle pode ser institucionalizada para agregar legitimidade *ex ante* e reduzir litígios *ex post.* Um protocolo de cooperação pode estabelecer que relatórios semestrais do piloto sejam encaminhados a essas instituições, com espaço para sugestões e recomendações

não vinculantes que aprimorem salvaguardas e controles. Quando houver mediação de conflitos comunitários, esses órgãos podem apoiar soluções pactuadas que preservem a continuidade do projeto e os direitos dos envolvidos.

Por fim, a governança deve prever avaliação externa independente do piloto ao final do primeiro ciclo de verificação. Uma avaliação de processo e de resultados, contratada por meio de chamada pública e conduzida por instituição acadêmica ou *think tank* com reputação reconhecida, pode examinar a efetividade do desenho institucional, a suficiência das salvaguardas, a qualidade do MRV e a eficiência do encadeamento financeiro. Suas conclusões devem orientar a decisão de escalar o modelo, os ajustes normativos necessários para a fase de expansão e a priorização de investimentos futuros pelo fundo estadual.

Com esse arranjo, a SEMAC regula e supervisiona, a Desenvolve-SE executa e financia, o ITPS-SE mede e valida e o CEMAC delibera e controla socialmente, compondo um sistema de freios e contrapesos adequado à natureza pública de um programa de créditos ambientais. A clareza de papéis, a documentação rígida de decisões, a transparência e a integração entre técnica, finança e social constituem os elementos que convertem a viabilidade teórica em operação confiável, reduzindo riscos e aumentando a confiança de certificadoras, compradores e da sociedade sergipana.

4. DEFINIÇÃO DO PILOTO EM CAATINGA

Este Capítulo fixa o desenho operacional do projeto-piloto na caatinga, amarrando critérios técnicos, fundiários e socioambientais para a seleção da área, a construção do diagnóstico de base e a preparação dos instrumentos jurídicos que habilitarão a implantação.

A orientação é pragmática e cumulativa: primeiro define-se o território elegível, depois verifica-se a capacidade jurídica de intervir, em seguida estimam-se o potencial de sequestro e os custos logísticos, e por fim organizam-se as salvaguardas e os marcos documentais que permitirão submeter o projeto à certificação escolhida.

A SEMAC conduzirá o processo decisório com pareceres do ITPS-SE e execução técnica e contratual da Desenvolve-SE, preservando a coerência com o arranjo de governança consolidado no capítulo anterior.

4.1. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E DIAGNÓSTICO FUNDIÁRIO E AMBIENTAL

A seleção da área-piloto deve basear-se em critérios explícitos de elegibilidade ecológica, jurídica e operacional. No aspecto ecológico, a área escolhida deve situar-se em um polígono de caatinga com evidências de degradação reversível, preferencialmente em locais de desmatamento consolidado ou de pastagem empobrecida.

Devem ser evitadas, por razões metodológicas e de integridade ambiental, áreas sob disputa recente de supressão vegetal ou em processo avançado de regeneração natural, pois tais condições reduzem a adicionalidade das ações de plantio e revegetação. A elegibilidade ambiental deve ser aferida por meio de séries temporais de uso e cobertura da terra e por índices de vegetação obtidos via sensoriamento remoto. Recomenda-se adotar uma série histórica mínima de vinte anos, de modo a distinguir conversões estruturais de variações sazonais, e utilizar séries mensais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para identificar tendências de degradação ou regeneração.

Áreas com NDVI médio anual inferior a 0,3 nos últimos cinco anos configuram candidatas adequadas à intervenção de Aflorestamento, Reflorestamento e Revegetação (ARR), enquanto valores medianos acima de 0,45, associados à continuidade espacial de vegetação arbustiva ou arbórea, podem indicar trajetória de regeneração natural acelerada, devendo ser acompanhadas de justificativa técnica robusta para intervenção ativa. A análise geoespacial deve considerar também variáveis como declividade, orientação de vertentes, suscetibilidade à erosão, proximidade de corpos hídricos e histórico de incêndios, compondo um mapa de aptidão à restauração para cada município elegível[15].

No plano jurídico, a seleção exige demonstração inequívoca de possibilidade de dispor da área para fins de restauração por prazo compatível com a permanência exigida pela metodologia. A prioridade é a escolha de bens públicos estaduais, em especial

[15] Fontes: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), *Projeto PRODES – Monitoramento do Desmatamento na Caatinga por Satélite*, São José dos Campos, 2023; MapBiomas, *Coleção 8 – Uso e Cobertura da Terra no Brasil (1985–2023)*, São Paulo, 2024; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), *Mapeamento de Biomas e Ecossistemas Brasileiros*, Rio de Janeiro, 2023; Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), *Guidelines for Dryland Restoration – Caatinga Biome Case Studies*, Roma, 2023; NASA Earth Observatory, *MODIS Vegetation Indices (NDVI) Global Dataset*, 2024; Serviço Geológico do Brasil (CPRM), *Mapas de Suscetibilidade à Erosão e Risco Ambiental – Nordeste*, Brasília, 2024.

imóveis sob domínio do Estado com disponibilidade administrativa para afetação e uso ambiental.

Nesses casos, a SEMAC deverá articular com o órgão patrimonial competente a emissão de ato de afetação ou instrumento equivalente que estabeleça finalidade específica de restauração e monitoramento por, no mínimo, trinta anos, com regramento de guarda e responsabilidades por cercamento, sinalização e fiscalização.

A alternativa, quando inexistente área pública apta, é a parceria público-privada com particular, que exige verificação dominial completa. Essa verificação compreenderá, no mínimo, matrícula atualizada, histórico de transmissões, inexistência de ônus ou gravames impeditivos, certidões negativas de ações possessórias e ambientais, compatibilidade do cadastro ambiental e inexistência de embargos que inviabilizem o uso para restauração. Em ambos os cenários, a conformidade com o Código Florestal e com as normas estaduais aplicáveis será verificada ex ante, incluindo a análise de reserva legal e de áreas de preservação permanente, para evitar que a contabilização de créditos recaia sobre obrigações legais não passíveis de remuneração.

A dimensão operacional da seleção considera logística, segurança e custo de transação. Um polígono piloto deve ser acessível em todas as estações do ano, com distância viária aceitável de bases municipais e de centros de serviços, de modo a reduzir custos de inventário, plantio e manutenção. Além do acesso, a disponibilidade de água para viveiros e para manutenção inicial é fator crítico na caatinga; mesmo que o projeto privilegie espécies xerófitas e manejo de plantio apropriado, a fase de estabelecimento exige planejamento hídrico, ainda que pontual.

Outro componente operacional é o risco de incêndio, que deve ser aferido por séries históricas e pela presença de vetores antrópicos, como linhas de transmissão, estradas e roçados, e tratado desde o desenho com aceiros, planos de prevenção e protocolos de contingência. O custo de vigilância e de prevenção a fogo é parte do orçamento do projeto e influência a curva de caixa no período inicial, devendo ser internalizado na seleção para evitar surpresas na execução.

A predefinição de um conjunto de critérios e de um algoritmo de pontuação torna a seleção reprodutível e auditável. Um índice composto de elegibilidade pode ser construído combinando dimensões biofísica, jurídica e operacional, cada uma normalizada em escala de 0 a 1 e ponderada conforme relevância para o sucesso do piloto.

Na dimensão biofísica, a pontuação pode decorrer de uma combinação de NDVI médio recente, distância a fragmentos remanescentes de caatinga que funcionem como fontes de propágulos, textura e profundidade do solo e suscetibilidade à erosão, favorecendo áreas que conciliem potencial de crescimento com necessidade de intervenção. Na dimensão jurídica, a pontuação reflete a clareza dominial e a facilidade de afetação em áreas públicas ou, no caso de PPP, a robustez da prova de propriedade, a ausência de litígios e a existência de cadastro ambiental regular, além da disposição prévia do proprietário em aceitar salvaguardas e CLPI quando houver usuários costumeiros. Na dimensão operacional, a pontuação mede acessibilidade, proximidade de infraestrutura e custo estimado de logística e segurança. A ponderação deve ser justificada em nota técnica, por exemplo atribuindo peso de 0,4 à biofísica, 0,4 à jurídica e 0,2 à operacional, refletindo que não há projeto viável sem base ecológica e segurança jurídica, ainda que se perca alguma eficiência logística[16].

O diagnóstico ambiental da área selecionada cumpre três finalidades: comprovar o estado de referência e a adicionalidade; dimensionar o potencial de sequestro; e desenhar o manejo. A comprovação do estado de referência exige a reconstrução da trajetória de uso e cobertura com base em séries remotas e em validação de campo,

[16] Fontes: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), PRODES e DETER – Monitoramento de Desmatamento e Degradação da Caatinga, São José dos Campos, 2023; MapBiomas, Coleção 8 – Uso e Cobertura da Terra no Brasil (1985–2023), São Paulo, 2024; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Cadastro Ambiental Rural (CAR) – Indicadores de Regularização Fundiária, Rio de Janeiro, 2023; Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Manual Técnico de Avaliação de Projetos de Restauração Ecológica, Brasília, 2023; Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), *Restoration Monitoring and Prioritization Frameworks in Drylands*, Roma, 2023; NASA Earth Science Division, MODIS Vegetation Index User's Guide (NDVI), 2024; Banco Mundial, *Methodological Toolkit for Environmental Scoring and Project Prioritization*, Washington, D.C., 2022. Nota metodológica: O algoritmo de pontuação proposto combina critérios de elegibilidade em um índice composto que integra as dimensões biofísica, jurídica e operacional, todos normalizados em escala de 0 a 1. A normalização é realizada pelo método min–max, garantindo comparabilidade entre variáveis de natureza distinta. Para cada polígono avaliado, a dimensão biofísica (peso 0,4) é calculada como média ponderada dos seguintes indicadores: NDVI médio recente (peso 0,4), distância a fragmentos florestais nativos (0,2), profundidade do solo (0,2) e suscetibilidade à erosão (0,2). A dimensão jurídica (peso 0,4) utiliza parâmetros binários e graduais referentes à situação fundiária, presença no Cadastro Ambiental Rural (CAR), ausência de litígios e existência de anuência prévia do titular ou da comunidade afetada, conforme a Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT). A dimensão operacional (peso 0,2) avalia acessibilidade (distância até vias principais), disponibilidade de infraestrutura e custo logístico médio estimado. O índice final é obtido pela soma ponderada das três dimensões, conforme fórmula: $IE = (0{,}4 \times B) + (0{,}4 \times J) + (0{,}2 \times O)$, em que B representa a pontuação biofísica, J a jurídica e O a operacional. A metodologia segue boas práticas descritas por FAO (2023) e Banco Mundial (2022), assegurando replicabilidade, transparência e rastreabilidade dos critérios de priorização espacial.

produzindo um relatório com mapas datados, fotografias georreferenciadas e descrição de uso atual e de pressões antrópicas. A adicionalidade, no contexto de reflorestamento e revegetação, dependerá da demonstração de que, na ausência do projeto e de seus incentivos, a área permaneceria em uso degradado por razões econômicas e institucionais, algo que pode ser demonstrado por rendimentos historicamente baixos, ausência de políticas públicas de restauração ativa e restrições de crédito rural para investimentos florestais na região. O potencial de sequestro é estimado aplicando equações alométricas e parâmetros de crescimento apropriados às espécies e às condições edafoclimáticas locais, desagregando biomassa aérea e subterrânea e incluindo carbono do solo, quando metodologicamente elegível, com desenho amostral que minimize incertezas e otimiza custo por parcela. Essa estimativa inicial não substitui o inventário do projeto, mas informa a decisão de seguir em frente com a área e ajuda a calibrar o plano financeiro do piloto.

O diagnóstico fundiário deve ir além da leitura cartorial e alcançar a realidade territorial. Mesmo em áreas públicas, a presença de usos costumeiros requer mapeamento e diálogo, sob pena de conflito e de risco ao indicador de permanência. O levantamento deve identificar ocupações, servidões administrativas e de passagem, eventuais autorizações de uso existentes e direitos reconhecidos em processos administrativos ou judiciais. A análise inclui o entorno imediato, mapeando estradas, trilhas, cercas e pontos de acesso, para que o plano de cercamento e de prevenção a fogo não intercepte rotas comunitárias essenciais ou crie riscos de isolamento de fauna.

Quando a alternativa for PPP, a diligência inclui visitas *in loco*, entrevistas com vizinhos, conferência de marcos físicos da matrícula, avaliação de sobreposições com terras públicas ou de uso tradicional e checagem de pendências ambientais e fiscais associadas ao imóvel. A documentação resultante deve compor um dossiê fundiário, com peças principais certificadas e uma narrativa técnica que explique o raciocínio de elegibilidade.

A análise climática e edáfica é parte do diagnóstico ambiental e orienta escolhas de espécies, densidades de plantio e práticas de manejo. Em caatinga, regimes de precipitação concentrados e longos períodos de déficit hídrico exigem arranjos de plantio que maximizem infiltração e minimizem estresse hídrico nos primeiros anos. Curvas de nível, bacias de captação microtopográficas e preparo de solo que combine abertura mínima de covas com conservação de serrapilheira remanescente elevam a taxa de sobrevivência.

A escolha de espécies nativas deve privilegiar combinações que cubram diferentes estratos e que produzam rapidamente sombreamento e microclima, sem descuidar da diversidade funcional necessária para resiliência a pragas e eventos extremos. O diagnóstico edáfico deve caracterizar textura, fertilidade básica, compactação e profundidade efetiva de raízes, bem como a presença de horizontes pedregosos que limitem crescimento. Essa caracterização permite dimensionar insumos mínimos, como corretivos e micorrizas, quando cientificamente justificados e permitidos pela metodologia, e evita superdimensionamento de custos.

O componente de risco de incêndios demanda um subdiagnóstico próprio. O histórico de focos de calor e de incêndios florestais deve ser analisado em série temporal suficiente para identificar meses críticos e padrões espaciais de ignição, correlacionando com uso do solo, proximidade de assentamentos e de queimas agrícolas. O plano do projeto incorporará aceiros estrategicamente posicionados, manejo de material combustível e acordos de vizinhança para calendários agrícolas e de queima controlada, quando aplicável. Também se avaliará a capacidade local de resposta, incluindo corpos de bombeiros, defesa civil e brigadas voluntárias, e a necessidade de capacitar e equipar brigadas comunitárias, cujo custo deve constar do orçamento e cujos treinamentos devem entrar no cronograma como marcos condicionantes.

A dimensão social, além de salvaguardas, integra o diagnóstico com foco em co-benefícios e viabilidade. A leitura de cadeias produtivas locais permite identificar oportunidades de integração entre restauração e geração de renda, como produção de mudas, serviços de plantio e manutenção, apicultura em fragmentos em recuperação e coleta de sementes de espécies nativas, respeitando as regras de acesso e repartição de benefícios quando aplicável. A análise de capital social da área de influência, medindo a presença de associações, cooperativas e arranjos produtivos, informa a estratégia de execução, reduz custos de transação e aumenta aderência local. A coleta de informações demográficas básicas, com recorte de gênero e juventude, orienta metas de inclusão e indicadores de desempenho social que serão monitorados no MRV do piloto.

O diagnóstico financeiro preliminar encerra a etapa de triagem. A partir do potencial estimado de sequestro de carbono e dos custos de implantação e logística, elabora-se uma curva de caixa projetando os fluxos anuais de créditos e despesas com plantio, manutenção, monitoramento, reporte e verificação (MRV), salvaguardas socioambientais, prevenção a incêndios e custos transacionais relacionados à certificação e verificação. Essa projeção subsidia a decisão sobre a necessidade de contratos de

compra antecipada para financiar o investimento inicial (CAPEX) e a operação (OPEX), bem como a conveniência de utilizar recursos do fundo estadual para cobrir eventuais lacunas de financiamento. A seleção final da área deve ocorrer apenas após a análise integrada dos indicadores técnicos, jurídicos, sociais e financeiros, de modo a maximizar a probabilidade de validação e de bancabilidade do lote piloto.

A documentação do diagnóstico deve seguir padrão uniforme, permitindo replicabilidade em ciclos futuros. O relatório de seleção e diagnóstico conterá, de forma integrada, a descrição do polígono com coordenadas e área aferida, a série de uso e cobertura com mapas legendados e metadados de fontes, a análise de NDVI e demais índices com explicitação de algoritmo e períodos, a caracterização edáfica e climática com referências a fontes oficiais, o histórico de incêndios com mapas de densidade de focos, a análise de acessibilidade e infraestrutura, o dossiê fundiário com peças comprobatórias, o levantamento social com mapa de usos e síntese de atores locais, a estimativa preliminar de sequestro por hectare e por período e a curva de custos e receitas. O documento será submetido à unidade gestora da SEMAC e ao ITPS-SE para parecer, e ao CEMAC quando o marco decisório exigir deliberação colegiada, sobretudo se houver questões sensíveis de uso tradicional ou de ocupação.

Para garantir controle de qualidade, o diagnóstico passará por validação cruzada. O ITPS-SE replicará, com dados independentes, a análise de cobertura e de NDVI em amostra aleatória de subáreas, conferirá a coerência entre fotografias de campo e mapas, revisará as equações e parâmetros utilizados na estimativa de sequestro e verificará as premissas de custo de logística e de prevenção a incêndios.

Em paralelo, a unidade jurídica da SEMAC e a Procuradoria-Geral do Estado revisarão o dossiê fundiário e a minuta do ato de afetação ou, na hipótese de Parceria Público-Privada (PPP), a minuta do contrato com o particular, incluindo cláusulas de permanência, salvaguardas e repartição de benefícios. Caso se identifiquem inconsistências ou lacunas, o diagnóstico retornará à equipe técnica para complementação, evitando que a pressa por avançar comprometa a integridade do piloto.

O cronograma da fase de seleção e diagnóstico deve ser realista e dividido em etapas sequenciais. Uma janela de três a quatro meses é adequada para, primeiro, realizar o diagnóstico e varredura dos municípios elegíveis com análise remota e construir um portfólio curto de polígonos; segundo, realizar diligências fundiárias e sociais, com visitas técnicas, entrevistas e coleta documental; terceiro, fechar o diagnóstico integrado e as estimativas de potencial; e, quarto, submeter a aprovação colegiada. Eventos climáticos,

feriados agrícolas e períodos de chuva podem afetar prazos de campo e precisam ser contemplados no cronograma. O caminho crítico desta fase termina com a decisão formal de seleção da área, acompanhada de ato administrativo de afetação, quando pública, ou de assinatura de termo de cooperação e compromisso com o particular, quando PPP, e com a autorização da SEMAC para iniciar a etapa metodológica e de pré-validação junto à certificadora.

Ao final dessa subseção, a SEMAC deve ter em mãos um dossiê robusto que resista ao escrutínio técnico e jurídico e que fundamente a decisão de implantar o piloto no polígono escolhido. A transparência do processo, a rigorosidade do diagnóstico e a clareza de critérios são, por si, parte do ativo institucional que o Estado está construindo: um método replicável de seleção que reduz risco de contestação, aumenta a confiança de certificadoras e compradores e prepara a escala futura prevista neste Produto 5.3.

4.2. ALTERNATIVAS DE ÁREA: PROPRIEDADE PÚBLICA ESTADUAL VERSUS PARCERIA PÚBLICO-PRIVADA

Esta subseção compara, de modo operacional, as duas rotas de implantação do piloto em caatinga: utilização de área de domínio público estadual, com afetação específica para fins de restauração e geração de créditos de carbono, e implantação em imóvel privado mediante parceria público-privada estruturada para assegurar permanência, integridade e repartição de benefícios conforme as diretrizes do programa estadual. O objetivo é oferecer ao tomador de decisão uma matriz clara de viabilidade, riscos e instrumentos jurídicos e financeiros para cada alternativa, permitindo escolha informada em função da disponibilidade fundiária, do cronograma e das metas do piloto.

Na alternativa de propriedade pública estadual, o ponto de partida é a identificação de bem imóvel sob domínio do Estado juridicamente disponível para uso ambiental por prazo compatível com a permanência exigida pela metodologia de reflorestamento e revegetação.

Uma vez selecionado o polígono, a SEMAC deve articular com o órgão patrimonial competente a edição de ato administrativo de afetação que estabeleça a finalidade específica de restauração com vistas à geração de créditos de carbono e o compromisso de manutenção e monitoramento por período mínimo de trinta anos. Esse ato especificará o órgão gestor do imóvel, a delimitação do perímetro, as restrições de uso e a delegação de responsabilidades pela implementação das medidas de cercamento, prevenção a incêndios e fiscalização de acesso. Sendo área pública, não há transferência

de titularidade; há destinação de uso vinculada a política pública, o que simplifica a comprovação de permanência e afasta controvérsias dominiais comuns em imóveis privados no semiárido.

A governança e a execução, nessa hipótese, seguem o arranjo consolidado: a SEMAC regula e supervisiona; a Desenvolve-SE contrata o desenvolvedor do projeto, o verificador independente e eventuais consultores; o ITPS-SE coordena o MRV; e o CEMAC delibera sobre marcos relevantes. O contrato com o desenvolvedor de projeto define o escopo técnico, os marcos e os produtos requeridos pela metodologia adotada, assim como as obrigações de implantação e manutenção nos primeiros anos, podendo incluir, por razões de eficiência, a operação integral das etapas de campo sob fiscalização da unidade gestora do programa.

O Estado, por meio da Desenvolve-SE, permanece titular do projeto e dos créditos gerados, salvo disposição diversa aprovada pelo CEMAC e pela autoridade competente, e outorga ao desenvolvedor direitos de prestação de serviços e, se for o caso, remuneração variável vinculada a resultados verificados. A comercialização, por ser um piloto de política pública, pode se dar por contratos de compra futura ou por leilão conduzido pela Desenvolve-SE, com receitas vinculadas ao FEAAC e regras de repartição de benefícios definidas em resolução do comitê gestor do fundo, garantindo previsibilidade de pagamentos por serviços ambientais e recomposição de reservas de risco.

Os benefícios econômicos e institucionais da alternativa pública são evidentes. Do ponto de vista de integridade, a permanência é reforçada por um ato de afetação que impede a destinação a usos conflitantes no horizonte do projeto. Do ponto de vista de custos transacionais, eliminam-se etapas complexas de *due diligence* dominial e negociações proprietárias, reduzindo tempo e incerteza. Do ponto de vista social, a atuação direta do Estado tende a conferir maior legitimidade às medidas de ordenamento de uso, desde que o processo de CLPI e as salvaguardas sejam efetivos. Há, contudo, desafios.

Em áreas públicas com usos costumeiros ou ocupações informais, conflitos de acesso podem emergir e devem ser endereçados por medidas de gestão participativa, acordos de uso compartilhado e PSA direcionado a usuários legítimos, sob pena de o projeto incorrer em riscos sociais que afetem a verificação. Outro desafio é orçamentário-operacional: o cercamento inicial, a prevenção a incêndios e a manutenção de viveiros e plantios exigem desembolsos no curto prazo que precisam ser programados pelo fundo

estadual e pelos instrumentos de financiamento definidos no Capítulo 6, sob pena de prejuízo ao calendário de implantação e aos indicadores de sobrevivência de mudas nos primeiros anos.

Na alternativa de parceria público-privada com imóvel privado, o vetor de viabilização é o contrato entre o Estado, por meio da Desenvolve-SE, e o proprietário, estabelecendo obrigações recíprocas para implantação do projeto, repartição de benefícios e salvaguardas. Essa rota se torna necessária quando não há área pública apta no cronograma desejado ou quando um imóvel privado apresenta vantagem ecológica e operacional decisiva para o piloto.

A primeira condição de elegibilidade é a comprovação robusta de titularidade pelo particular: matrícula atualizada, cadeia dominial sem vícios relevantes, inexistência de ônus impeditivos e compatibilidade com o cadastro ambiental. Em regiões de caatinga, onde a informalidade é historicamente alta, a diligência deve ser reforçada por vistorias *in loco*, conferência de marcos físicos, entrevistas de vizinhança e checagem de sobreposições com terras públicas ou de uso tradicional. A segunda condição é a concordância do proprietário com as obrigações de permanência por pelo menos trinta anos e com a adoção de salvaguardas sociais, incluindo o CLPI quando houver usuários costumeiros, bem como com a submissão do projeto às metodologias e auditorias independentes.

O instrumento jurídico central nessa alternativa é um contrato de cooperação e desempenho com cláusulas de permanência, salvaguardas e repartição de benefícios, apoiado em termos de adesão ao PSA quando couber. O contrato define o perímetro do projeto, o plano de implantação, os marcos de verificação e as consequências do descumprimento, inclusive hipóteses de substituição de área em caso de sinistros, regras de buffer de risco e mecanismos de reposição de créditos em caso de reversões. Estabelece também a titularidade provisória e final dos créditos: em políticas públicas orientadas a bens coletivos, é usual que o Estado retenha parcela dos créditos para fins de reinvestimento em políticas climáticas e que o proprietário faça jus a parcela como contraprestação pelo serviço ecossistêmico e pela cessão do uso ambiental do imóvel, desde que a área objeto do projeto não corresponda a obrigação legal de recomposição de reserva legal ou de áreas de preservação permanente cuja recuperação seja dever jurídico preexistente e não remunerável. O contrato também prevê as obrigações do desenvolvedor e do verificador, as garantias de execução e o regime de confidencialidade e proteção de dados.

No aspecto financeiro, a PPP permite flexibilidade na estruturação de incentivos e no compartilhamento de riscos. O FEAAC pode financiar custos iniciais de inventário, cercamento e plantio mediante desembolsos atrelados a marcos verificados, enquanto o proprietário participa com contrapartidas em infraestrutura, mão de obra local ou logística, reduzindo o custo total e acelerando a implantação. A remuneração do proprietário pode adotar formas híbridas, combinando pagamentos fixos de PSA com participação variável em receitas de créditos após a verificação, de modo a alinhar interesses e incentivar a manutenção e proteção da área.

Contratos de compra futura com compradores externos podem ser estruturados com a Desenvolve-SE como vendedora e com mecanismos de repasse automático da parcela do proprietário, preservando transparência e controle público sobre a monetização do ativo ambiental. O risco de mercado, em caso de queda de preço de créditos, pode ser parcialmente mitigado por buffers financeiros do FEAAC e por estratégias de hedge tratadas no Capítulo 9, do Produto 5.2 e retomadas no Capítulo 9, deste documento.

A comparação de riscos entre as alternativas exige abordagem criteriosa. Em propriedade pública, o risco dominial é mínimo; em PPP, ele é tão baixo quanto a qualidade da prova de titularidade e a estabilidade da posse. Em propriedade pública, o risco político de mudança de prioridades pode ser mitigado por afetação e por ancoragem orçamentária no PPA e em resoluções do comitê gestor do fundo; em PPP, o risco contratual é mitigado por garantias, por contas vinculadas e por transparência de fluxos financeiros. Em ambas, o risco climático e de incêndios é semelhante e deve ser mitigado por planejamento, infraestrutura e brigadas. Em propriedade pública, a legitimidade social pode ser maior pela natureza do titular, mas a gestão de conflitos de acesso é mais sensível quando há usos costumeiros; em PPP, a legitimidade depende da qualidade do CLPI e do contrato e pode ser pressionada por percepções de privatização de benefícios ambientais se a repartição não for clara e justa.

Do ponto de vista metodológico e de certificação, as exigências são equivalentes. Tanto em área pública quanto em PPP, a validação e a verificação independentes examinam a linha de base, a adicionalidade, o plano de monitoramento, a permanência e as salvaguardas. A diferença prática está no encadeamento documental: em área pública, o ato de afetação e os pareceres internos do Estado substituem alguns documentos de comprovação dominial; em PPP, o dossiê fundiário deve ser completo e auditável, e os contratos privados passam a integrar o pacote de evidências de permanência e de repartição de benefícios. Em ambos os casos, a emissão e o registro provisório das

unidades seguirão o mesmo padrão de metadados e de trilha de auditoria, com a Desenvolve-SE operando a serialização e a publicação de extratos públicos de cada lote emitido, em preparação para a integração futura com o registro estadual definitivo e, quando aplicável, com a camada federal.

A decisão entre as alternativas deve levar em conta o cronograma do piloto e a estratégia de demonstração. Se a intenção é priorizar velocidade e aprendizado institucional, a alternativa de área pública tende a ser preferível, porque reduz incertezas jurídicas e permite ao Estado controlar diretamente o ritmo e a qualidade das intervenções, testando a arquitetura de governança, MRV e registro sob condições administrativamente manejáveis. Se, por outro lado, o objetivo adicional é testar a arrumação contratual com o setor privado e demonstrar a capacidade de atrair contrapartidas e investimentos externos já no piloto, a PPP oferece um laboratório valioso para arranjos de longo prazo, desde que a diligência fundiária seja irretocável e que a estrutura de salvaguardas e de repartição de benefícios seja robusta e transparente. Em ambos os casos, o aprendizado do piloto alimentará a padronização de termos e de manuais para a fase de escala.

Há, ainda, a possibilidade de combinação de rotas numa mesma coorte[17] de implantação, com um núcleo de área pública e um ou dois polígonos PPP adjacentes ou em municípios distintos. Essa solução híbrida amplia a base de evidências para decisões futuras, permite testar diferentes arranjos de execução e de financiamento e diversifica riscos. Do ponto de vista de MRV, a convivência é viável desde que os polígonos sejam monitorados e reportados de forma separada, com documentação segregada e cadeias de custódia e de titularidade inconfundíveis. Do ponto de vista social, é essencial que as mensagens e os processos de consulta reflitam as distinções de governança entre os polígonos e que eventuais expectativas de comunidades não sejam confundidas entre arranjos públicos e privados.

Independentemente da alternativa escolhida, recomenda-se a adoção de cláusulas e salvaguardas padronizadas que confiram homogeneidade e previsibilidade aos projetos futuros. Entre elas, cláusulas de permanência com prazos e condições explícitos; cláusulas de reposição de créditos em caso de reversões por causas controláveis; regras

[17] O termo “coorte” designa um grupo ou conjunto de unidades (pessoas, instituições ou projetos) que compartilham uma mesma característica temporal ou contextual — neste caso, uma etapa comum de implantação. Em estudos sociais e de gestão, “coorte de implantação” refere-se a um grupo de iniciativas iniciadas simultaneamente, monitoradas de forma comparável ao longo do tempo.

de buffer de risco; obrigações de manutenção e de prevenção a incêndios com indicadores mensuráveis; mecanismos de gatilhos de desembolso por resultados; obrigações de transparência e de publicação de relatórios; e cláusulas de resolução de disputas que privilegiem mediação e câmaras técnicas antes de judicialização. Esse conjunto padronizado compõe o arcabouço contratual do programa e facilita a replicação em escala, reduzindo custos de transação e incertezas para investidores e certificadoras.

Por fim, a escolha entre propriedade pública e PPP deve ser formalizada por decisão motivada da SEMAC, com base no dossiê de diagnóstico técnico, fundiário, social e financeiro da subseção anterior e em pareceres do ITPS-SE e da unidade jurídica. A decisão deve explicitar como a alternativa selecionada atende às metas do piloto, quais riscos residuais permaneceram e como serão mitigados, e quais aprendizados são antecipados para o desenho da fase de escala. A publicidade dessa decisão, acompanhada de síntese técnica e de salvaguardas adotadas, é parte da estratégia de legitimação pública do piloto e contribui para a atração de parceiros e compradores que valorizam programas de alta integridade e governança transparente.

4.3. TERMOS DE ADESÃO, PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS E REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS NO PILOTO

Esta subseção estabelece a arquitetura contratual e financeira que regerá a adesão dos titulares ou gestores da área-piloto, a estrutura de pagamentos por serviços ambientais vinculados à restauração da caatinga e a repartição de benefícios decorrentes da monetização dos créditos de carbono. O propósito é traduzir em instrumentos operacionais os princípios de integridade ambiental, segurança jurídica, inclusão social e eficiência econômica assentados nos capítulos anteriores, de modo que cada real desembolsado e cada crédito emitido estejam lastreados em resultados verificáveis pelo MRV-SE e que os agentes públicos e privados tenham previsibilidade de direitos, deveres e riscos.

O termo de adesão é o instrumento jurídico de entrada do beneficiário no piloto. Quando a área for pública estadual, o termo será firmado entre a SEMAC, na qualidade de autoridade ambiental e coordenadora do programa, e a unidade gestora do imóvel público afetado ao projeto, podendo incluir a Desenvolve-SE como interveniente executora. Quando a área for privada sob parceria público-privada, o termo será firmado entre a Desenvolve-SE, na qualidade de operacionalizadora do projeto e do fluxo financeiro, e o proprietário do imóvel, com anuência da SEMAC nas cláusulas técnicas e

socioambientais. Em ambos os casos, o termo de adesão produz efeitos complementares aos atos de afetação (no caso público) ou ao contrato de cooperação e desempenho (no caso de PPP), e sua função é disciplinar a adesão ao pacote de regras do piloto: metodologia e parâmetros técnicos, salvaguardas sociais, regime de monitoramento, gatilhos de pagamento de PSA, mecanismos de resolução de controvérsias e condições de permanência e devolução de benefícios em caso de descumprimento.

O conteúdo mínimo do termo de adesão compreende a delimitação cartográfica do polígono com coordenadas geográficas, a declaração expressa de ausência de obrigações legais de recomposição que inviabilizem adicionalidade remunerável, a concordância com a realização de inventários de biomassa e carbono do solo e de levantamentos sociais, o compromisso com o plano de manejo e prevenção a incêndios aprovado, a aceitação de inspeções e auditorias por parte do verificador independente e dos órgãos de controle, e a submissão a um conjunto de indicadores econômicos, ambientais e sociais que serão monitorados anualmente. No caso de PPP, o termo também registra a vinculação do proprietário ao mecanismo de repartição de benefícios e às cláusulas de permanência e de reposição de créditos em caso de reversão por causas controláveis, com previsão de garantias contratuais adequadas à materialidade dos riscos.

Os pagamentos por serviços ambientais constituem a contrapartida pública aos serviços ecossistêmicos prestados pelo titular ou gestor do polígono, condicionados a resultados verificados. A estrutura proposta combina duas camadas: uma camada basal de incentivo por hectare elegível devidamente implantado e mantido conforme o plano aprovado; e uma camada variável indexada ao volume de carbono efetivamente verificado e elegível à emissão líquida após buffers e descontos metodológicos. Essa dualidade atende a dois objetivos complementares. De um lado, permite dar previsibilidade mínima de fluxo de caixa para manutenção inicial e salvaguardas em anos com menor geração de créditos, como na fase de estabelecimento da restauração. De outro, alinha incentivos de longo prazo ao desempenho climático do projeto, premiando poligonais que consigam, por manejo adequado e proteção contra distúrbios, converter mais biomassa em remoções líquidas certificadas.

A camada basal é calculada por hectare implantado e mantido de acordo com o plano de manejo e com a verificação de sobrevivência mínima de indivíduos em cada campanha anual. Denomine-se P0 o pagamento basal anual por hectare, estabelecido em valor fixo de referência no momento da assinatura do termo de adesão e reajustado pela inflação oficial (IPCA) a cada doze meses.

A condição de elegibilidade do P0 é binária: o hectare deve constar como implantado no cadastro do projeto e cumprir o patamar mínimo de sobrevivência e de manutenção definido no manual técnico do piloto, aferido pelo verificador ou por amostragem supervisionada pelo ITPS-SE. A fórmula do pagamento basal anual por polígono é então PB = P0 × Hs, em que Hs é o número de hectares implantados e em condição de adimplência técnica no ano de referência. Sendo política pública sujeita a controle orçamentário, P0 não deve remunerar obrigação legal e deve ser calibrado por análise de custo de manutenção e de prevenção a fogo, de modo a cobrir custos elegíveis mínimos e induzir a persistência da restauração sem constituir subsídio cruzado a atividades não relacionadas.

A camada variável é determinada a partir do volume de remoções líquidas de carbono verificado e elegível à emissão após aplicação do buffer de risco e de fatores metodológicos. Denomine-se Qv o volume de tCO2e verificado no período anual, Fb o fator de buffer aplicado no registro provisório (por exemplo, 0,15), Fd o fator de descontos por incerteza, vazamentos ou ajustes metodológicos aplicáveis, e Pc o preço de referência do carbono para fins de PSA variável no ano de referência.

O montante variável anual a pagar ao beneficiário primário é dado por PV = α × Pc × Qv × (1 − Fb) × (1 − Fd), em que α é o coeficiente de participação do beneficiário na receita líquida elegível ao PSA, definido na regra de repartição de benefícios. O preço Pc utilizado para PSA não precisa ser idêntico ao preço efetivo de venda dos créditos no mesmo período, mas deve possuir um vínculo explícito com o preço médio ponderado das operações do programa ou com benchmark público crível, com regras de suavização para evitar volatilidade excessiva dos pagamentos.

A governança recomendada é fixar o Pc ex-ante como a média móvel de doze meses dos preços líquidos realizados pelo programa em operações de venda primária de créditos da mesma tipologia, ou, na ausência de operações suficientes, como o valor mediano de indicador de mercado reconhecido, ajustado para refletir custos transacionais médios e descontos de risco aplicáveis à classe de crédito, com publicação dos cálculos e revisão anual pelo comitê gestor do fundo estadual[18].

[18] Fontes: Banco Mundial, *Handbook for Payments for Environmental Services* (PES) and *Carbon Remuneration Models,* Washington, D.C., 2023; International Carbon Reduction and Offset Alliance (ICROA), *Guidelines on Benefit Sharing and Carbon Revenue Allocation*, Londres, 2023; Verra, VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology, 2023; Gold Standard, Value Distribution and Pricing Framework for Land Use Projects, Genebra, 2023; Instituto Clima e Sociedade (ICS), Pagamentos

O coeficiente α é função da matriz de repartição de benefícios, que relaciona os diferentes destinatários legítimos de receitas do programa às fontes de recursos. No piloto, a receita de carbono pode ingressar por duas vias principais: venda de créditos emitidos e receitas programáticas de doadores e compradores antecipados por meio de contratos de compra futura. A regra de rateio deve ser estável o suficiente para orientar expectativas e flexível o bastante para acomodar especificidades dos arranjos público e PPP.

Uma matriz básica para o piloto, a ser testada e eventualmente ajustada na escala, pode atribuir percentuais sobre a receita líquida de carbono por lote emitido e liquidado, após dedução de custos diretos e administrativos elegíveis e recomposição do buffer financeiro. Denomine-se Rl a receita líquida por lote, após deduções.

Uma regra exemplificativa de rateio seria: 35 por cento para o fundo estadual temático, para reinvestimento em políticas climáticas; 25 por cento para o beneficiário primário da área (gestor público da área afetada ou proprietário em PPP), como PSA variável; 20 por cento para o desenvolvedor do projeto, a título de remuneração por desempenho, desde que não remunerado integralmente por preço fixo de serviços; 10 por cento para municípios afetos e fundos municipais de meio ambiente vinculados por acordo de cooperação; 5 por cento para comunidades locais e arranjos produtivos diretamente envolvidos via instrumentos de PSA social; e 5 por cento para cobertura de custos residuais de MRV e auditorias que não tenham sido pré-financiados.

Essa matriz pode ser ajustada por resolução do comitê gestor, com base em simulações de sustentabilidade financeira e de atratividade para beneficiários e

---

por Serviços Ambientais e Precificação de Carbono no Brasil, Rio de Janeiro, 2024; ICVCM, Core Carbon Principles Assessment Framework, Genebra, 2024; ICAP, Emissions Trading Worldwide: Status Report 2025, Berlim, 2025. Nota metodológica: O valor variável do pagamento por serviços ambientais (PSA) vincula-se diretamente ao volume verificado de remoções líquidas de carbono e ao preço de referência do crédito de carbono, com ajustes para riscos e incertezas metodológicas. A equação PV = α × Pc × Qv × (1 − Fb) × (1 − Fd) segue modelos de precificação adotados por programas jurisdicionais e padrões voluntários, assegurando consistência entre resultados técnicos e mecanismos de repartição financeira. O fator de buffer (Fb) reflete o percentual de créditos retidos para cobertura de riscos não permanentes, conforme diretrizes de Verra e Gold Standard, variando entre 10% e 20% conforme a vulnerabilidade ecológica e a robustez do monitoramento. O fator de desconto (Fd) abrange incertezas de medição, vazamentos e ajustes de baseline, sendo definido a partir dos relatórios de verificação. O coeficiente α é determinado pela política estadual de repartição de benefícios, podendo variar conforme categoria de beneficiário (proprietário, arrendatário, comunidade tradicional, ente público). O preço de referência Pc é calculado como média móvel de doze meses dos preços líquidos obtidos em operações primárias do programa ou, na ausência de dados suficientes, pela mediana de benchmarks públicos, como XCBI (X-*Carbon Benchmark Index*) e *ICAP Carbon Market Price Tracker*, ajustado por custos e riscos locais. Essa metodologia garante previsibilidade, transparência e aderência às melhores práticas de precificação de créditos ambientais.

desenvolvedores, desde que preservado um piso para o fundo estadual e para os pagamentos sociais que garantam a natureza pública do programa.

A vinculação dos pagamentos ao MRV-SE exige definição rigorosa de gatilhos e documentos comprobatórios. Para a camada basal, o gatilho é o relatório anual de adimplência técnica emitido pelo ITPS-SE, com base em inspeção de campo amostral e verificação fotográfica georreferenciada, e homologado pela unidade gestora da SEMAC. Para a camada variável, o gatilho é o relatório de verificação independente aprovado, acompanhado do extrato do registro provisório com a emissão das unidades elegíveis e do cálculo de ajustes de buffer e incerteza. O pagamento só é processado após publicação do extrato público do lote emitido e sua vinculação ao polígono em causa, de modo a garantir unicidade e rastreabilidade. Em caso de operações de compra futura que antecipem parte do valor do lote, os pagamentos variáveis poderão ser compensados com os adiantamentos, obedecido o fluxo contratual aprovado e a subconta vinculada mantida pela Desenvolve-SE para conciliação.

A previsibilidade financeira requer cronograma claro de pagamentos. Recomenda-se que a camada basal seja paga semestralmente, em duas parcelas iguais, condicionadas à manutenção de adimplência técnica e à inexistência de sanções pendentes. A camada variável deve seguir a cadência da verificação e da emissão; sendo anual o ciclo de verificação de um projeto ARR, o pagamento variável ocorrerá após a homologação anual, com possibilidade de pagamentos parciais se a metodologia e o verificador admitirem verificações intercalares por coortes de parcelas amostrais. Uma janela temporal padrão, por exemplo até noventa dias após a publicação do relatório de verificação e do extrato de emissão, dá tempo hábil para conciliação e auditorias financeiras. Os prazos e condições constarão dos termos de adesão e dos contratos correlatos.

A integridade contábil dos pagamentos demanda um modelo de custos elegíveis e de deduções transparente. O cálculo de Rl, a receita líquida por lote, parte do valor bruto auferido na venda do lote e exclui custos diretos de certificação e verificação do período, comissões de intermediação quando houver, taxas de registro e custódia e provisão para buffer financeiro do programa.

Custos fixos de estrutura do programa e de gestão do fundo não devem onerar diretamente lotes individuais além do percentual de administração previamente aprovado em resolução, que em programas públicos costuma ser limitado por teto para evitar erosão de repasses a beneficiários. A publicação, a cada lote, de um demonstrativo de

composição de preço e de deduções, com apoio documental, é medida essencial para construir confiança junto a beneficiários, compradores e órgãos de controle.

A política de incentivos e penalidades é instrumento de alinhamento de comportamento. Incentivos adicionais podem ser concedidos sob a forma de bônus de desempenho em PSA variável quando a poligonal superar metas de indicadores sociais e ambientais acordados, como taxa de sobrevivência de mudas acima do patamar de referência, inexistência de incidentes de fogo por período inteiro e engajamento comunitário medido por horas de capacitação e contratação local. Esses bônus devem ser modestos, financeiramente comportáveis e sempre atrelados a métricas verificáveis pelo MRV-SE, com máximo anual para evitar distorções.

Penalidades, por sua vez, incluem redução proporcional do pagamento basal quando a sobrevivência mínima não for alcançada por causas controláveis, suspensão temporária de repasses em caso de descumprimento de obrigações de salvaguardas e, em casos graves, obrigação de devolução de parcelas de PSA e de recomposição de créditos revertidos por causas imputáveis ao beneficiário. A gradação de sanções deve ser clara, escalonada e proporcional, com garantias de ampla defesa e contraditório administrativo.

O alinhamento com a adicionalidade metodológica exige barreiras explícitas contra a remuneração de obrigações legais. O termo de adesão conterá declaração do beneficiário quanto à inexistência de sobreposição entre a área do projeto e áreas de reserva legal ou de preservação permanente cuja recomposição seja exigível por força do Código Florestal ou de termos de ajustamento de conduta vigentes.

A SEMAC verificará essa informação cruzando o polígono com cadastros ambientais, imagens e bases oficiais. Se, ainda assim, algum trecho do polígono vier a ser reconhecido como obrigação legal durante a execução, esse trecho será excluído do escopo remunerável, com recálculo de pagamentos e emissão, sem prejuízo de outras medidas cabíveis. A cláusula protege a integridade do programa e reduz o risco de invalidação de unidades em auditorias de certificadoras e de órgãos de controle.

O vínculo entre PSA e repartição de benefícios deve ser entendido como parte de um ecossistema financeiro maior. O PSA basal e variável atende à dimensão distributiva direta do programa, remunerando atores territoriais e induzindo resultados ambientais. A repartição de benefícios complementa essa dimensão ao assegurar que parte da riqueza gerada retorne ao fundo estadual para reinvestimento em ações climáticas e estruturantes do próprio programa, e ao destinar parcela a municípios e a iniciativas de

inclusão produtiva comunitária. O equilíbrio entre essas dimensões requer simulações regulares de sustentabilidade: cenários de preço de carbono, volume de créditos, custos de MRV, despesas de plantio e manutenção, e necessidades de capital para expansão.

A regra de rateio do piloto, ainda que inicial, deve ser sometida a revisões periódicas com base em dados observados, com a premissa de que mudanças não retroagirão sobre contratos já firmados sem consenso das partes, exceto quando se tratar de adequação a norma superveniente de natureza obrigatória.

A estruturação dos instrumentos contratuais precisa dialogar com eventuais contratos de compra futura de créditos (ERPA ou *offtake agreements*). Em situação de pré-financiamento por compradores, a Desenvolve-SE pode firmar contratos de venda condicional de unidades futuras, vinculando desembolsos a marcos do projeto e estabelecendo cronogramas de liquidação por lote emitido.

Nesses contratos, a repartição de benefícios deverá estar espelhada para que adiantamentos sejam proporcionalmente refletidos no PSA e nos demais destinatários previstos, utilizando contas vinculadas que assegurem que recursos ingressos sejam distribuídos conforme as regras públicas antes de qualquer disponibilidade discricionária. Uma cláusula de prioridade de recomposição de buffers financeiros em caso de reversões protege a solvência do programa e a confiança do mercado.

A interface do PSA e da repartição com o mecanismo de registro provisório exige capacidade operacional fina. A Desenvolve-SE, ao operar o registro, deve manter tabelas relacionando cada lote emitido aos polígonos e respectivos beneficiários, com percentuais aplicáveis, valores unitários e deduções. O sistema registrará, para cada pagamento, o identificador do lote, o período de referência, os documentos-gatilho, a base de cálculo e os comprovantes de transferência, vinculando-os ao prontuário digital do polígono. A auditoria financeira e a verificação independente terão acesso a esses registros em tempo real, e extratos resumidos serão publicados em portal público com a devida proteção de dados pessoais.

O arranjo proposto contempla medidas de mitigação de volatilidade de preços e de riscos de mercado. A adoção de preço de referência Pc baseado em média móvel suaviza flutuações e evita o repasse imediato de picos ou vales a beneficiários, ao custo de defasagem que deve ser calibrada. A criação de uma reserva de estabilização no âmbito do fundo estadual, alimentada por pequeno percentual de receitas em anos de preços elevados, permite complementar pagamentos em anos de baixa, respeitados limites

orçamentários e regras fiscais. A possibilidade de contratos de hedge financeiro com parceiros institucionais, quando disponível e juridicamente cabível, pode ser considerada para volumes futuros a partir da fase de escala, não sendo essencial no piloto.

O dimensionamento dos valores de PSA deve levar em conta a realidade de custos da caatinga e as evidências científicas sobre taxas de sequestro. Tomando como referência parâmetros consolidados no Produto 5.2, uma taxa média de 5,8 tCO2e por hectare por ano nos primeiros dez anos, decaindo para cerca de 2,5 tCO2e por hectare por ano a partir do trigésimo ano, e um buffer de 15 por cento, obtém-se, para fins de simulação, um fluxo anual de créditos elegíveis por hectare na ordem de 4,93 tCO2e nos primeiros anos após o desconto do buffer, sujeito a ajustes por incerteza.

Admitindo-se um preço de referência Pc de quatrocentos reais por tonelada e um coeficiente de participação do beneficiário primário α de 0,25, o pagamento variável anual esperado por hectare seria de $PV \approx 0{,}25 \times 400 \times 4{,}93 \times (1 - Fd)$. Se Fd for, por exemplo, 0,05 para refletir incertezas e vazamentos aceitos, o valor estimado de PV seria aproximadamente 468 reais por hectare por ano nos primeiros anos. Esse valor soma-se ao pagamento basal P0, que, para cobrir manutenção e prevenção a incêndios de forma conservadora, pode ser modelado inicialmente em patamar entre 400 e 600 reais por hectare por ano, reajustável pelo IPCA. Em um cenário de referência com P0 igual a 500 reais, o beneficiário primário perceberia, na hipótese, aproximadamente 968 reais por hectare por ano no início do ciclo, valor que evolui conforme o desempenho de carbono e o índice de preços, e que se ajusta automaticamente em função de verificações anuais e de eventuais sinistros[19].

---

[19] Fontes: Verra, VM0047 *Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology, 20*23; *Gold Standard, Land Use and Forestry Framework Methodology,* Genebra, 2024; Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Taxas de Sequestro de Carbono na Caatinga: Avaliação Empírica e Modelagem Espacial, Campina Grande, 2023; Banco Mundial, *Handbook for Payments for Environmental Services (PES) and Carbon Incentive Mechanisms, Washington, D.C., 2023*; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Custos de Implementação e Manutenção de Projetos de Restauração na Caatinga, Brasília, 2024; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Estimativas de Biomassa e Carbono em Ecossistemas Semiáridos do Brasil, São José dos Campos, 2023.
Nota metodológica: As simulações utilizam parâmetros empíricos derivados de estudos de campo e metodologias reconhecidas, combinando produtividade média de sequestro de carbono e estrutura de pagamentos por serviços ambientais (PSA). A taxa média de 5,8 tCO_2e/ha/ano na fase inicial e 2,5 tCO_2e/ha/ano após o 30º ano reflete resultados observados em experimentos de reflorestamento ativo e regeneração assistida em áreas de Caatinga, considerando variações edafoclimáticas e práticas de manejo. O buffer de 15% segue o intervalo médio aplicado por Verra e Gold Standard para projetos de restauração em ecossistemas semiáridos, cobrindo riscos de não permanência e incertezas de mensuração. O fator Fd (0,05) representa descontos de verificação e vazamento definidos em auditorias de primeira verificação. O preço de referência Pc (R$ 400/tCO_2e) baseia-se em benchmarks médios de créditos de alta integridade

A conjugação de PSA com repartição e com remuneração do desenvolvedor deve evitar dupla contagem de incentivos. Se o desenvolvedor é contratado por preço fixo pelos serviços de projeto, inventário e acompanhamento, sua participação na receita de carbono pode ser nula ou marginal; se, ao contrário, o contrato prevê remuneração variável atrelada a performance, essa parcela deve ser claramente indicada na matriz de rateio e descontada antes de calcular o PSA variável, para que o beneficiário e as demais partes recebam sobre a base líquida. A transparência dessa engenharia financeira é central para prevenir disputas e para satisfazer auditorias de certificadoras e de órgãos de controle.

A proteção jurídica do regime de PSA e de repartição de benefícios exige cláusulas robustas de vedação à cessão irregular e ao gravame de créditos futuros que comprometa o equilíbrio do programa. O termo de adesão deve prever que qualquer cessão, oneração ou promessa de venda de unidades futuras por parte do beneficiário ou de terceiros só terá validade se previamente aprovada pela Desenvolve-SE e se compatível com as regras de rateio e com os mecanismos de salvaguarda do programa. Também deve consignar que os pagamentos públicos são condicionados à regularidade fiscal e trabalhista do beneficiário e à inexistência de sanções ambientais que impeçam o repasse, com regras de suspensão e reabilitação objetivas. Em PPP, cláusulas de *step-in* (cláusulas de intervenção contratual) que permitam ao Estado assumir a gestão do polígono em caso de inadimplemento grave preservam a continuidade do serviço ecossistêmico e a integridade dos créditos.

Por fim, a arquitetura aqui proposta é conscientemente modular e reversível. Como piloto, o objetivo é testar hipóteses de desenho de incentivos, de rateio e de governança financeira em pequena escala, com monitoramento fino de indicadores de desempenho e de satisfação dos participantes.

Ao término do primeiro ciclo de verificação e liquidação de um lote, a SEMAC e a Desenvolve-SE devem produzir avaliação detalhada do arranjo de PSA e repartição, comparando os custos e benefícios observados com as simulações ex ante, e propor, se

negociados em 2024–2025, ajustados para o contexto nacional. O coeficiente α (0,25) expressa o percentual de repartição destinado ao beneficiário primário conforme práticas de programas jurisdicionais. O cálculo $PV = \alpha \times Pc \times Qv \times (1 - Fb) \times (1 - Fd)$ resulta em um valor de R$ 468/ha/ano para o componente variável, ao qual se soma um componente fixo P_0 (R$ 500/ha/ano) destinado a cobrir custos operacionais e de prevenção a incêndios. O total estimado de R$ 968/ha/ano serve como referência inicial para modelagem financeira do piloto, sujeito a atualização conforme as taxas verificadas e a evolução do mercado.

necessário, ajustes graduais em percentuais, pisos e tetos, gatilhos e prazos. A capacidade de iterar com base em evidências, mantendo estabilidade contratual para os compromissos já assumidos, é o que distinguirá um programa de política pública orientado por resultados de arranjos casuísticos pouco replicáveis. O aprendizado acumulado, devidamente documentado, alimentará a padronização de instrumentos para a fase de expansão e a consolidação do RECA-SE, preparando Sergipe para operar, com integridade e eficiência, um portfólio crescente de projetos e programas de carbono em seu território.

4.4. ESTABELECIMENTO DA LINHA DE BASE E ZONEAMENTO OPERACIONAL

Esta subseção descreve, em nível operacional, como será construída a linha de base do projeto-piloto em caatinga e como será definido o zoneamento interno do polígono de intervenção, em conformidade com as diretrizes do IPCC (2006; 2019 Refinement) e com a metodologia aplicável de reflorestamento e revegetação (VM0047/Verra).

O objetivo é produzir um dossiê metodológico auditável que demonstre adicionalidade, quantifique remissões a risco e reduza incerteza por meio de estratificação biofísica, séries históricas de uso e cobertura da terra e inventário de biomassa e carbono do solo coerentes com as condições edafoclimáticas do semiárido. O procedimento aqui proposto é compatível com o MRV-SE mínimo viável definido no Capítulo 4 e utiliza bases públicas como MapBiomas (Coleção 8), INPE/DETER e PRODES, além de dados climáticos e pedológicos de ANA e IBGE, conforme detalhado no Produto 5.2.

O conceito de linha de base, no contexto de ARR, consiste em descrever o cenário contrafactual plausível e documentado do uso e da cobertura da terra na ausência do projeto e de seus incentivos. Em termos práticos, a linha de base para caatinga degradada equivale à permanência do estado de degradação com dinâmica natural de regeneração limitada por fatores econômicos, ecológicos e antrópicos locais.

A metodologia VM0047 exige que, para cada estrato de terreno, o proponente demonstre por documentação objetiva que não há tendência de reflorestamento espontâneo em escala e ritmo comparáveis aos que serão induzidos pelo projeto, devendo para tanto mobilizar séries históricas, indicadores de produtividade agropecuária, custos de oportunidade e evidências de políticas públicas ausentes ou insuficientes que revertam o quadro de degradação.

As Diretrizes do IPCC, por sua vez, orientam que a quantificação de remoções e estoques considere coerência temporal e espacial, garantindo que o cenário contrafactual seja consistente com observações mensuráveis e não com supostos arbitrários.

A construção da linha de base inicia pela reconstituição da trajetória de uso e cobertura da terra no polígono candidato, com janela de observação mínima de vinte anos. Utiliza-se, como camada primária, a série anual MapBiomas (Coleção 8), com validação cruzada por cenas Landsat e Sentinel-2 em anos-chave, de modo a conferir a estabilidade de classes “pastagem”, “solo exposto”, “mosaico de agricultura e pastagem” e “formação savânica/estepes” onde a caatinga raleada é frequentemente classificada.

A sequência anual permitirá identificar o momento e a natureza das conversões, a persistência de estados degradados e eventuais pulsos de regeneração natural. Em paralelo, gera-se a série de NDVI mensal derivada de Sentinel-2 para os últimos cinco a dez anos, processada com máscara de nuvem e composições mensais, de onde se extrairá o NDVI médio anual e a amplitude intra-anual. Uma trajetória de NDVI médio anual consistentemente inferior a 0,3 e amplitude alta em anos secos é indicativa de vegetação rala e alta exposição do solo, enquanto valores médios próximos a 0,45 com baixa amplitude sugerem rebrota e adensamento de vegetação lenhosa. Esses sinais orientam a decisão sobre a elegibilidade ARR e a necessidade de intervenção ativa versus condução de regeneração assistida. As séries serão consolidadas em mapas anuais e gráficos temporais incluídos no dossiê, com metadados completos de fontes e parâmetros de processamento, conforme boas práticas do IPCC para transparência e reprodutibilidade[20].

[20] Fontes: MapBiomas, Coleção 8 – Uso e Cobertura da Terra no Brasil (1985–2023), São Paulo, 2024; *European Space Agency* (ESA), Sentinel-2 Level-*2A Surface Reflectance Product User Guide*, Roma, 2023; *United States Geological Survey* (USGS), *Landsat Collection 2 Surface Reflectance Code (LaSRC) – Technical Documentation, Washington,* D.C., 2023; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Catálogo de Imagens CBERS e Monitoramento de Cobertura da Terra, São José dos Campos, 2023; *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* – Volume 4, Genebra, 2019; *Food and Agriculture Organization (FAO), *Guidelines for the Use of Remote Sensing in Monitoring Land Degradation and Restoration*, Roma, 2022.*
Nota metodológica: A linha de base é construída por meio de análise temporal de uso e cobertura da terra com base em séries históricas de vinte anos. A série MapBiomas (Coleção 8) serve como fonte principal de classificação anual, validada com imagens Landsat 8 e Sentinel-2 em anos de referência (2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2023). As classes são harmonizadas segundo a taxonomia IPCC e ajustadas com inspeção visual assistida por índices de vegetação. O NDVI mensal é derivado das bandas Red (B4) e NIR (B8) do Sentinel-2, processado com remoção de nuvens (Fmask 4.0) e composição mensal mediana. O NDVI médio anual e a amplitude intra-anual são calculados por pixel, gerando métricas de persistência de degradação e de dinâmica fenológica. Valores médios abaixo de 0,3 por mais de cinco anos consecutivos caracterizam áreas degradadas elegíveis a ARR; valores entre 0,3 e 0,45 indicam transição e demandam validação de

A etapa seguinte é a análise de direcionadores de degradação e de barreiras à recuperação natural. O dossiê descreverá os usos dominantes no entorno (extensão de pastagens, agricultura de sequeiro, extrativismo lenhoso, coleta de lenha e carvão), correlacionando com dados municipais de produção agropecuária (IBGE/PAM e PPM) e com indicadores socioeconômicos que evidenciem baixa probabilidade de investimento espontâneo em restauração florestal.

Também serão analisados incentivos públicos ou privados existentes, como programas de crédito rural para sistemas agroflorestais ou de fomento a viveiros, demonstrando sua ausência, baixa cobertura ou inadequação à realidade do polígono. Essa análise cumpre a função metodológica de justificar adicionalidade regulatória e econômica, atendendo à exigência da VM0047 de que o retorno privado esperado, na ausência de receitas de carbono, não supere o custo marginal de restauração, e à orientação IPCC de que a linha de base deve ser factível e suportada por evidências.

Com base nas séries e na análise de barreiras, o proponente define o cenário contrafactual para cada estrato. Em ARR, a prática comum é definir a linha de base como "continuidade do uso atual com variação natural", isto é, manutenção de pastagem empobrecida ou solo exposto com eventuais rebrotas sazonais, sem transição para dossel arbóreo fechado.

No dossiê, isso será formalizado por meio de uma função esperada de NDVI sem projeto, calculada como média móvel dos últimos cinco anos ajustada por anomalias climáticas, e por uma taxa de incremento de biomassa de referência próxima de zero (ou modesta, quando a literatura local indicar regeneração natural lenta), a ser subtraída das remoções induzidas pelo projeto no cálculo de ganhos líquidos. A compatibilidade dessa abordagem com o IPCC decorre da possibilidade de utilizar Tier 2 com parâmetros regionais, desde que as fontes (por exemplo, Embrapa Semiárido para carbono de solo, estudos regionais para biomassa) sejam explicitamente citadas e calibradas.

A estratificação biofísica é um elemento central para reduzir incertezas e custos de amostragem. O polígono será subdividido em estratos homogêneos quanto a solo (textura e profundidade efetiva), declividade, exposição de vertente, estado de degradação

---

campo. Todos os metadados e parâmetros de processamento são documentados segundo o *Good Practice Guidance* do IPCC (2019) e normas FAO (2022), assegurando transparência e reprodutibilidade.

(derivado de NDVI) e histórico de uso. Essa estratificação permite aplicar equações alométricas e fatores de conversão apropriados por estrato e dimensionar tamanhos de amostra menores para alcançar a mesma precisão estatística, como recomendam o IPCC e as metodologias de ARR.

Em caatinga, uma estratificação típica inclui: (i) áreas de solo raso/pedregoso com baixa capacidade de retenção hídrica; (ii) solos medianos com textura franco-arenosa; (iii) fundos de vale e baixios com maior profundidade e umidade; (iv) topos e encostas expostas com alta suscetibilidade à erosão. Em cada estrato, a série de NDVI e a classe de uso/cobertura servirão para definir o estado inicial e calibrar a expectativa de incremento com o manejo proposto[21].

O zoneamento operacional traduz a estratificação em decisões de intervenção. Com base no diagnóstico, o polígono será zonado em no mínimo quatro categorias: Zona A (reflorestamento ativo), onde as condições edáficas e de exposição exigem plantio e manutenção intensiva para estabelecer indivíduos; Zona B (revegetação acelerada), onde a regeneração natural está presente, mas o adensamento demanda plantio de enriquecimento, condução de brota e controle de competidores; Zona C (regeneração assistida), sem plantio, com manejo de proteção contra fogo e herbivoria e indução de sombreamento pontual; Zona D (infraestrutura e aceiros), áreas destinadas a aceiros, trilhas de manejo, viveiros temporários e estruturas de prevenção a incêndios. Cada zona

[21] Fontes: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), *2019 *Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* – Volume 4: *Agriculture, Forestry and Other Land Use**, Genebra, 2019; Verra, *VM0047 *Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology**, Washington, D.C., 2023; Instituto Nacional do Semiárido (INSA), *Manual Técnico de Estratificação e Amostragem em Ecossistemas da Caatinga*, Campina Grande, 2022; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), *Mapeamento de Solos e Topografia Aplicados à Modelagem de Biomassa no Semiárido*, São José dos Campos, 2023; Food and Agriculture Organization (FAO), **National Forest Monitoring: Sampling Design and Stratification Guideline*s*, Roma, 2021.
Nota metodológica: A estratificação biofísica do polígono é conduzida a partir de variáveis edáficas, topográficas e espectrais para reduzir incertezas amostrais e permitir o uso de equações alométricas específicas por estrato. As camadas de solo são derivadas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018) e de produtos de profundidade efetiva e textura do INPE. A declividade e a exposição de vertentes são calculadas a partir de modelos digitais de elevação (SRTM 30 m), enquanto o estado de degradação é obtido pela média móvel de NDVI (Sentinel-2) dos últimos cinco anos. Cada estrato é definido por agrupamento k-means multivariado com número ótimo determinado por índice de silhueta, assegurando homogeneidade interna e distinção entre classes. Para cada estrato, aplicam-se fatores de conversão de biomassa ajustados por condição edáfica e precipitação média anual, conforme diretrizes do IPCC (2019) e metodologias ARR (Verra, 2023). Essa abordagem reduz o número de parcelas necessárias para atingir erro padrão inferior a 10%, garantindo maior eficiência estatística e custo reduzido de MRV.

terá densidades e espécies-alvo, práticas de preparo do solo compatíveis (captação microtopográfica, curvas de nível, cobertura morta) e protocolos de manutenção adaptados aos primeiros três anos, fase crítica de estabelecimento. O zoneamento será cartografado em escala de trabalho (por exemplo 1:10.000), com polígonos editáveis e vinculados a uma base de dados geográfica que integrará o MRV-SE e o registro provisório.

A linha de base espacializada será construída por sobreposição das classes de uso/cobertura anuais com o zoneamento operacional e com a série de NDVI. Para cada estrato-zona, estima-se o estoque inicial de carbono (biomassa aérea e, quando elegível, carbono do solo) e a trajetória contrafactual de incremento sem projeto. O estoque inicial de biomassa aérea é zero ou próximo de zero em solo exposto/pastagem degradada, mas pode ser diferente disso em zonas com vegetação rala.

Para biomassa aérea, utilizar-se-ão equações alométricas regionais validadas para caatinga, convertendo para carbono por fração 0,47, conforme IPCC. Para carbono do solo, quando admitido pela metodologia escolhida, aplica-se o cálculo SOC = BD × D × Cf, com densidade aparente, profundidade e fração de carbono aferidas por amostragem de campo e, quando possível, calibradas por valores regionais da Embrapa Semiárido. A separação entre estoque inicial e incremento ao longo do tempo é indispensável para a contabilidade de remoções líquidas e para evitar dupla contagem com obrigações legais de recomposição.

A seleção de parcelas amostrais para inventário e monitoramento seguirá desenho estatístico estratificado aleatório, com tamanho de amostra por estrato dimensionado para alcançar precisão alvo (por exemplo, erro padrão relativo inferior a 10 por cento em 90 por cento de confiança para o agregado do projeto, e inferior a 15 por cento por estrato), conforme práticas aceitas em ARR.

Quadrantes ou transectos serão georreferenciados com precisão submétrica e marcados em campo para reamostragem anual, com registro fotográfico padronizado e coleta de dados dendrométricos mínimos (diâmetro, altura ou proxies compatíveis com a fisionomia da caatinga, em que diâmetros baixos e arquitetura ramificada exigem protocolo específico).

A amostragem de solo, quando metodologicamente elegível, seguirá plano com profundidades padrão (0–10, 10–30, 30–50 cm), com replicação por estrato e análise em laboratório credenciado para carbono orgânico total. O dossiê metodológico incluirá

mapas das parcelas, planilhas de cálculo, especificações de equipamentos, SOPs de campo e laboratório e trilhas de auditoria de dados desde a coleta até a estimativa final, conforme os requisitos de transparência e reprodutibilidade das diretrizes IPCC[22].

A quantificação de remoções pressupõe o cálculo do incremento anual de biomassa por estrato-zona e sua conversão em carbono e CO2e. Para biomassa aérea, pode-se aplicar funções de crescimento específicas por espécie/grupo funcional ou, na ausência de curvas específicas, utilizar funções generalistas calibradas para caatinga com parâmetros de sítio ajustados a precipitação e textura do solo. O incremento anual líquido será a diferença entre o crescimento observado e a taxa de incremento contrafactual definida na linha de base.

Para biomassa abaixo do solo, aplicar-se-ão razões raiz/parte aérea recomendadas para formações savânicas do semiárido em nível Tier 2, com justificativa bibliográfica explícita. Para carbono do solo, quando incluído, a variação anual será estimada por comparação de estoques entre campanhas e, preferencialmente, pela modelagem de acúmulo em função do manejo e da cobertura, respeitando limites metodológicos da VM0047. A conversão para CO2e utiliza o fator 44/12, e a consolidação anual agregará os estratos ponderados pela área[23].

---

[22] *Fontes: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use**, Genebra, 2019; Verra, *VM0047 *Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C., 2023;* Embrapa Semiárido, *Protocolos de Medição de Biomassa e Carbono em Ecossistemas da Caatinga*, Petrolina, 2022; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), *Diretrizes para Inventários de Carbono Florestal no Semiárido Brasileiro*, São José dos Campos, 2023; *Food and Agriculture Organization (FAO*), **National Forest Inventory Field Manual Template**, Roma, 2021. Nota metodológica: O plano amostral adota delineamento estratificado aleatório, dimensionando o número de parcelas por estrato segundo a variância intraestrato e a meta de precisão global (erro padrão ≤10% no agregado do projeto e ≤15% por estrato, a 90% de confiança). As parcelas são quadradas (20 × 20 m) ou transectos de 10 × 50 m, conforme a fisionomia local, georreferenciadas com receptores GNSS de precisão submétrica (RTK ou pós-processamento). A coleta dendrométrica considera diâmetros ≥3 cm à altura de 30 cm do solo (D30), altura total ou proxies volumétricos compatíveis com espécies lenhosas de múltiplos caules típicas da Caatinga. O carbono do solo é amostrado nas profundidades 0–10, 10–30 e 30–50 cm, com replicação mínima de três unidades por estrato, e analisado por combustão seca (método LECO) em laboratório acreditado pela RBLE/Inmetro. Todos os dados brutos, SOPs e registros fotográficos são arquivados em trilhas de auditoria digital, conforme padrões IPCC (2019) e Verra (2023), assegurando rastreabilidade e reprodutibilidade do inventário.

[23] Fontes: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), 2019 *Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Genebra, 2019; Verra, VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C., 2023; Embrapa Semiárido, Funções Alométricas e Modelagem de Biomassa para Espécies Lenhosas da Caatinga, Petrolina, 2022; Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Manual Técnico de Estimativas de

A integridade metodológica requer o tratamento explícito de incertezas e de riscos de não permanência. O componente de incerteza se desdobra em amostragem (erro de estimativa em campo e laboratório), processamento (classificação de uso/cobertura e NDVI) e modelo (equações alométricas e fatores de conversão). O dossiê apresentará o cálculo do erro padrão relativo por componente e o erro combinado por propagação, com base em fórmulas de variância estratificada e aproximações de primeira ordem para funções não lineares, conforme orientação do IPCC.

O plano de redução de incerteza poderá incluir aumento de amostras em estratos de maior variabilidade, melhoria de protocolos de classificação remota e calibração local de equações quando viável. O risco de reversão, por sua vez, será tratado por três camadas: prevenção (aceiros, brigadas, manejo de combustível e acordos de vizinhança), resposta (planos de contingência e seguros, quando disponíveis) e compensação (buffer de risco no registro provisório e cláusulas contratuais de recomposição). A taxa de buffer proposta para o piloto é de 15 por cento do volume verificado, sujeita a revisão pelo verificador com base em matriz de risco do projeto, prática compatível com a VM0047 e com padrões de alta integridade.

A avaliação de vazamentos (*leakage)* é parte da linha de base ampliada. Em ARR, o vazamento mais relevante costuma ser o deslocamento de atividades extrativas ou pecuárias para áreas adjacentes, anulando parte do benefício climático.

O dossiê definirá uma área de influência do projeto (por exemplo um anel de 10 km) para monitorar sinais de intensificação de desmatamento ou de mudança de uso que possam ser atribuídos à implantação. Séries DETER e MapBiomas serão utilizadas para varrer esse entorno anualmente, e indicadores de pressão (por exemplo, densidade de

---

Carbono em Ecossistemas de Caatinga, Campina Grande, 2023; *Food and Agriculture Organization* (FAO), *Global Forest Biomass Estimation and Carbon Accounting Manual*, Roma, 2021.
Nota metodológica: A quantificação das remoções é realizada por estrato, considerando o incremento anual de biomassa aérea e subterrânea e sua conversão para carbono e CO_2 equivalente. Para biomassa aérea, utilizam-se funções de crescimento ajustadas a dados regionais ou modelos generalistas calibrados para precipitação e textura do solo, com equações alométricas do tipo $Y = a \times (D^2 \times H)^b$, onde D é o diâmetro médio e H a altura total. O incremento líquido corresponde à diferença entre o crescimento observado e a taxa contrafactual da linha de base. Para biomassa subterrânea, aplicam-se razões raiz/parte aérea de 0,24 ± 0,06 (Tier 2), conforme IPCC (2019). O carbono do solo, quando incluído, é estimado pela diferença entre campanhas sucessivas e modelagem baseada em taxa de acúmulo dependente do manejo e cobertura (0,3–0,7 tC/ha.ano). A conversão para CO_2e segue o fator 44/12, e os resultados anuais são agregados por estrato ponderado pela área, assegurando rastreabilidade e consistência com os parâmetros metodológicos da VM0047.

trilhas e novas áreas de pastagens) poderão ser monitorados por imagens de alta resolução quando disponíveis. Caso o verificador identifique vazamento atribuível, aplicar-se-ão descontos na emissão conforme a metodologia, e medidas mitigadoras (PSA para vizinhança, acordos de uso, fiscalização) serão acionadas para reduzir a pressão. O plano de vazamento será descrito com responsabilidades, prazos e indicadores.

O componente climático e hidrológico será integrado à linha de base como variável de controle. Séries de precipitação e de temperatura (ANA/INMET) serão vinculadas ao banco de dados do projeto para contextualizar variações anuais de incremento de biomassa e NDVI, evitando atribuir a manejo aquilo que se deve a anomalias climáticas.

A modelagem de crescimento poderá incluir covariáveis climáticas simples (por exemplo precipitação acumulada na estação chuvosa) para explicar parte da variância interanual, desde que tal modelagem seja transparente e não introduza vieses favoráveis ao projeto. Essa abordagem está em linha com o refinamento de 2019 das Diretrizes IPCC, que recomenda explicitar fatores de variabilidade e evitar confundimento de efeitos em séries de AFOLU.

O dossiê metodológico a ser submetido à certificadora conterá, resumidamente: (i) descrição do projeto e justificativa de enquadramento na metodologia; (ii) caracterização da área, com mapas e séries de uso/cobertura e NDVI; (iii) análise de barreiras e adicionalidade; (iv) definição do cenário contrafactual para cada estrato-zona; (v) plano amostral e protocolos de inventário e de solo;(vi) equações, fatores de conversão e hipóteses de crescimento; (vii) procedimentos de processamento de imagens e métricas de qualidade; (viii) estratégia de vazamento e de permanência, com buffer proposto; (ix) plano de monitoramento anual e de verificação; (x) governança de dados, metadados e trilha de auditoria; (xi) salvaguardas sociais e integração com CLPI; (xii) zoneamento operacional e manejo diferenciado por zona; (xiii) cronograma de marcos metodológicos e de verificação. Cada item trará referências explícitas às Diretrizes IPCC (2006; 2019), à VM0047/Verra e às fontes de dados nacionais citadas, com anexos técnicos contendo scripts de processamento, planilhas de cálculo e SOPs.

A coerência entre linha de base, zoneamento e planos operacionais é condição de bancabilidade. O zoneamento operacional define insumos e custos por zona e, portanto, retroalimenta a modelagem financeira do piloto. Ao mesmo tempo, o desempenho climático esperado por zona alimenta as simulações de receita e a definição de contratos de compra futura (ERPA) com marcos e volumes consistentes com a

capacidade de entrega. Por essa razão, a aprovação da linha de base e do zoneamento no CEMAC será condicionante para a publicação do edital de contratação do desenvolvedor e para a submissão a validação junto à certificadora. O ITPS-SE emitirá parecer técnico sobre a coerência dos estratos, a suficiência do plano amostral e a robustez do tratamento de incerteza e vazamento; a unidade gestora da SEMAC analisará a consistência regulatória e a aderência a salvaguardas sociais; e a Desenvolve-SE confirmará a exequibilidade financeira do manejo proposto por zona.

O controle de qualidade e a reprodutibilidade serão assegurados por duas práticas: versionamento de dados e auditoria cruzada. Todo insumo geoespacial e tabular receberá identificadores de versão, com carimbo temporal, hash de integridade e descrição de processamento. A cada atualização anual, os conjuntos serão congelados e arquivados, permitindo recomputar resultados em auditorias independentes.

Em pelo menos um ciclo de verificação, será realizada auditoria cruzada por consultoria externa acadêmica, contratada por chamada pública, que replicará amostragens e procedimentos em subamostra aleatória, emitindo relatório público com achados e recomendações. Essa prática, embora não mandatória pela metodologia, eleva a confiança de compradores e está alinhada à orientação de transparência de padrões de alta integridade.

A documentação da linha de base incluirá, ainda, um capítulo específico de exclusões legais e elegibilidade. Nele, o proponente demonstrará que nenhuma parcela do polígono corresponde a obrigação legal de recomposição de reserva legal ou de áreas de preservação permanente que inviabilizem a remuneração por carbono. Mapas de CAR, cruzamentos com APPs e RLs declaradas e situação administrativa perante órgãos ambientais serão anexados. O texto explicitará que eventuais trechos assim identificados serão excluídos do escopo remunerável e de emissão, preservando a integridade metodológica e o cumprimento do princípio de adicionalidade.

O percurso descrito é replicável e escalável. O método de séries históricas, NDVI, estratificação e zoneamento poderá ser aplicado a novos polígonos em ciclos subsequentes, com adaptações marginais. A padronização de scripts de processamento (por exemplo, em Google Earth Engine) e de planilhas de cálculo reduzirá custos transacionais e tempos de processamento, permitindo que o MRV-SE opere em regime contínuo com painéis de controle e alertas para variações anômalas em NDVI, focos de calor e mudanças de uso no entorno. Esse aparato técnico não apenas sustenta a verificação e a emissão de créditos, como alimenta a gestão adaptativa do manejo por

zona, realocando esforços para áreas de menor desempenho ou maior risco, com reflexos diretos na eficiência climática e financeira do piloto.

Com a aprovação da linha de base e do zoneamento pelo CEMAC, a SEMAC emitirá ato autorizando a submissão à certificadora, anexando o dossiê metodológico e os pareceres técnicos. A Desenvolve-SE, em paralelo, publicará o cronograma de implantação por zona, com metas de plantio e manutenção, e ajustará o planejamento financeiro para refletir o perfil de custos e receitas esperado, inclusive o dimensionamento de PSA basal e variável por zona e estrato.

O verificador independente será engajado para a auditoria inicial, revisando a linha de base, o plano amostral, o zoneamento e as salvaguardas, e recomendando eventuais ajustes antes da validação. Concluída essa etapa, o piloto terá estabelecido, com precisão e transparência, o alicerce técnico-metodológico necessário para a geração de créditos de alta integridade em caatinga, condição indispensável para bancabilidade, aceitação de mercado e escalabilidade do programa.

5. METODOLOGIA DE PROJETO E MRV-SE MÍNIMO VIÁVEL

Este Capítulo especifica, em nível operacional, o enquadramento metodológico do piloto de caatinga, o desenho do sistema estadual mínimo de monitoramento, relato e verificação (MRV-SE) e os procedimentos de inventário, sensoriamento remoto, calibração e auditoria necessários para assegurar mensuração acurada das remoções de carbono e a rastreabilidade dos resultados.

A ênfase é a compatibilidade formal com as diretrizes do IPCC de 2006 e com o Refinement de 2019, bem como a aderência à metodologia de reflorestamento e revegetação aplicável em programas de certificação reconhecidos no mercado voluntário, com destaque para a VM0047 do Verra em sua versão vigente. O capítulo também define padrões de dados, metadados, qualidade e trilha de auditoria para o proto-registro estadual, de modo a que a cadeia de custódia dos créditos seja inequívoca desde a fase piloto.

5.1. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO (VM0047/VERRA; IPCC 2006/2019) E DESENHO DO MRV-SE MÍNIMO VIÁVEL

O enquadramento metodológico do piloto será o de projeto de reflorestamento e revegetação de áreas degradadas de caatinga, operando na categoria ARR conforme a taxonomia internacional, com submissão à validação e verificação independentes por entidade acreditada em programa de certificação de alta integridade.

Para assegurar reconhecibilidade de mercado, adotar-se-á, como referência principal, a metodologia VM0047 do Verra para *Aforestation, Reforestation and Revegetation of Lands Other Than Wetlands*, em versão 2.0 ou superior, com observância dos módulos e ferramentas complementares aplicáveis a linhas de base, adicionalidade, permanência, incerteza, vazamento e salvaguardas.

A escolha da VM0047 decorre de três razões técnicas e regulatórias. A primeira, trata de metodologia amplamente utilizada para biomas sazonais e savânicos, com requisitos claros de estratificação e de planos amostrais compatíveis com a fisionomia lenhosa e arbustiva da caatinga. A segunda, da metodologia explicita mecanismos de buffer para riscos de não permanência e modulariza o tratamento de vazamentos, elementos cruciais para reduzir incerteza de preço e facilitar contratos de compra futura. A terceiro, da VM0047 é construída sobre princípios de mensuração e transparência convergentes com as diretrizes do IPCC, o que facilita a reconciliação entre estimativas do projeto e o inventário estadual que o MRV-SE produzirá em paralelo.

A aderência às diretrizes do IPCC é condição *sine qua non* para a credibilidade das estimativas. Sob o IPCC 2006, Volume 4 (AFOLU), a mensuração de remoções por reflorestamento envolve a quantificação anual de mudanças de estoque em biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo e, quando metodologicamente elegível, carbono orgânico do solo.

O refinamento metodológico realizado em 2019 atualiza fatores por região e clima, aperfeiçoa equações para ambientes áridos e semiáridos e recomenda práticas de propagação de incerteza e de estratificação que se alinham ao delineamento do piloto. O nível de complexidade adotado será Tier 2, com uso de parâmetros regionais calibrados a partir de literatura científica para caatinga e de dados de campo levantados no âmbito do projeto. Quando viável e justificável, elementos Tier 3 poderão ser incorporados, sobretudo no que tange a séries contínuas de sensoriamento remoto e a curvas de crescimento específicas por grupo funcional de espécies nativas plantadas ou conduzidas.

O MRV-SE mínimo viável é um arranjo técnico-institucional e informacional que permite medir, relatar e verificar, com acurácia e custo compatíveis ao estágio piloto, as remoções anuais e os co-benefícios sociais e ambientais pactuados. O desenho proposto se apoia em cinco subsistemas articulados. O subsistema de dados e governança define padrões de captura, armazenamento, versionamento e publicação. O subsistema de campo e inventário organiza o plano amostral, a coleta de variáveis dendrométricas e de solo, a pesagem, a secagem e as rotinas laboratoriais. O subsistema de sensoriamento remoto processa séries de NDVI, mapas anuais de uso e cobertura e produtos auxiliares de umidade do solo e detecção de distúrbios, provendo covariáveis e checagens independentes. O subsistema de estimativa consolida os fluxos de dados em rotinas de cálculo de biomassa, carbono e CO2e, com propagação de incertezas e aplicação de fatores metodológicos e de buffer. O subsistema de auditoria e verificação estabelece a trilha documental e as rotinas de conferência interna e externa, incluindo o protocolo de acesso do verificador independente aos conjuntos de dados, scripts e relatórios.

No subsistema de dados e governança, adota-se uma arquitetura em camadas com repositório central operado pelo ITPS-SE, integrado a um catálogo de metadados em padrão aberto. Cada objeto de dado relevante para o MRV recebe identificador persistente, carimbo temporal e registro de proveniência. As categorias mínimas incluem dados de campo por parcela, dados laboratoriais de carbono de solo quando coletados, geometrias do projeto e dos estratos, mapas anuais de uso e cobertura, séries de NDVI mensais, registros de eventos de distúrbios como fogo e tempestades, relatórios metodológicos e scripts de processamento.

O versionamento é obrigatório: nenhuma sobreposição de dados é permitida sem registro explícito de nova versão, com preservação do estado anterior. O repositório suporta exportação em formatos abertos amplamente reconhecidos, como GeoPackage e CSV para dados tabulares, e inclui mecanismos de assinatura digital e *hashing* para assegurar integridade. A governança define papéis: o ITPS-SE é curador técnico e garante a qualidade dos dados; a SEMAC é proprietária institucional e define as políticas de acesso e transparência; a Desenvolve-SE opera camadas transacionais vinculadas a pagamentos e registro; e o verificador tem acesso de leitura sob acordo de confidencialidade limitado a dados sensíveis.

No subsistema de campo e inventário, o plano amostral estratificado descrito no capítulo anterior é detalhado em termos operacionais. Em cada estrato-zona, as parcelas permanentes de medição são distribuídas por amostragem aleatória com restrições de

acessibilidade e segurança. O tamanho e o número de parcelas por estrato são definidos para alcançar erro padrão relativo-alvo, com cálculo de poder estatístico *ex ante* a partir de variâncias esperadas derivadas de bibliografia de caatinga e de campanhas piloto de mensuração.

As parcelas são georreferenciadas com receptores GNSS que assegurem precisão horizontal submétrica, preferencialmente com correção diferencial, e são fisicamente demarcadas em campo com marcos duráveis e coordenadas auxiliares para relocalização. As medições incluem contagem de indivíduos por classe de diâmetro, medição de diâmetro à altura padrão conforme protocolo adaptado à fisionomia da caatinga, altura total por amostra sistemática de indivíduos e, quando apropriado, coleta de discos ou amostras não destrutivas para calibração de densidade de madeira em espécies dominantes.

A biomassa abaixo do solo é estimada por razões raiz/parte aérea específicas ou generalistas validadas para ambientes semiáridos. Se o carbono do solo for incluído conforme a metodologia, o plano de amostragem vertical segue profundidades padrão e procedimentos de coleta, secagem e análise para carbono orgânico total em laboratório acreditado, com controle de qualidade por duplicatas, brancos e padrões.

O subsistema de sensoriamento remoto utiliza fontes abertas e de acesso público, priorizando a continuidade temporal e a possibilidade de replicação por terceiros. As séries anuais de uso e cobertura derivam de MapBiomas, com validação amostral local e correções pontuais quando se identifiquem inconsistências que comprometam a elegibilidade ou a estratificação.

As séries mensais de NDVI derivam de Sentinel-2, com pré-processamento de correção atmosférica e máscara de nuvens e sombras, compositando[24] cada mês em valor mediano para reduzir ruído. Indicadores auxiliares, como fração de vegetação, EVI e SAVI, podem ser calculados para análise de sensibilidade, mas o NDVI será o indicador oficial de condição de vegetação por sua tradição e compatibilidade com séries históricas amplas. A detecção de fogo utiliza produtos de focos de calor e cicatrizes, e a umidade superficial pode ser inferida de sensores de micro-ondas quando necessário para

[24] Compositar no jargão técnico de monitoramento significa combinar múltiplas imagens (por exemplo, de vários dias de um mesmo mês) em uma única imagem representativa — geralmente escolhendo o valor mediano, mínimo ou máximo de cada pixel — com o objetivo de reduzir ruído atmosférico, nuvens e sombras.

interpretar variações de vigor vegetativo. Esses produtos alimentam tanto a aferição de linha de base quanto o acompanhamento de desempenho anual, com painéis que exibem o NDVI médio por estrato-zona, anomalias sazonais e alertas de queda abrupta compatíveis com distúrbios.

No subsistema de estimativa, os passos de cálculo são formalizados em rotinas transparentes. Para biomassa aérea, selecionam-se equações alométricas adequadas a espécies e fisionomia locais; na ausência de equações específicas para todas as espécies nativas, adotam-se equações por grupos funcionais ou generalistas para ambientes secos validadas em literatura, com justificativa técnica e calibração por dados de campo do próprio projeto.

A biomassa aérea individual é agregada por parcela e por estrato-zona, convertida em carbono pela fração de 0,47 para lenhosas e, então, em CO2e pelo fator 44/12. A biomassa abaixo do solo, quando não diretamente amostrada, segue razões raiz/parte aérea recomendadas e validadas, com análise de sensibilidade para os limites do intervalo plausível. O carbono do solo, quando incluído, resulta de diferenças de estoque por camada em campanhas sequenciais e de modelagem de acúmulo compatível com o manejo e as condições edafoclimáticas, respeitando limites metodológicos da VM0047 quanto a elegibilidade e crédito.

Em todos os casos, o incremento anual líquido resulta da diferença entre o crescimento observado no projeto e a trajetória contrafactual da linha de base definida por estrato-zona. A propagação de incertezas utiliza fórmulas de variância estratificada, com componentes de amostragem, modelo e processamento, e resulta em intervalos de confiança reportados por lote e por agregado de projeto, conforme a prática recomendada pelo IPCC.

O subsistema de auditoria e verificação estabelece a trilha completa de evidências. Cada medição de campo é associada a um registro digital com data, hora, geolocalização, equipe responsável, fotografias georreferenciadas e arquivos brutos das leituras de GNSS. Os dados laboratoriais vêm com certificados de análise, lotes, padrões utilizados e controles internos. Os scripts de processamento de imagens e de cálculo de índices são marcados em suas versões (versionados) em repositório de código com documentação e testes mínimos de consistência.

Relatórios intermediários descrevem decisões metodológicas, mudanças de protocolo e justificativas técnicas, de modo que o verificador independente possa

reconstituir o caminho de dados e verificar as estimativas por amostragem. A auditoria interna anual, conduzida pelo ITPS-SE, revisa amostras de parcelas, replicando medições e verificando a consistência de fotos e coordenadas; a auditoria externa, conduzida pelo verificador acreditado, segue o plano de verificação aprovado no processo de validação da metodologia, com inspeções de campo, entrevistas, checagem de dados e testes de recálculo.

A operacionalização do buffer de risco e do tratamento de reversões integra o desenho metodológico. O piloto adotará, por padrão, um buffer de risco de 15 por cento do volume verificado, depositado em conta técnica do registro provisório, sem comercialização, para cobrir perdas por incêndios, pragas, eventos climáticos extremos e outras causas não permanentes.

A taxa poderá ser ajustada pelo verificador com base na matriz de risco do projeto, que inclui probabilidade e impacto de distúrbios e capacidade de prevenção e resposta. O protocolo de reversão define como a área afetada é mapeada, como o volume de carbono perdido é estimado e como se aciona a reposição a partir do buffer. Em caso de reversões por causas controláveis atribuíveis ao beneficiário, contratos preveem sanções e obrigações de recomposição além do uso do buffer, preservando a integridade ambiental e econômica do programa.

O desenho mínimo viável do MRV-SE inclui, ainda, um plano de integração com o proto-registro estadual e com os fluxos financeiros vinculados aos pagamentos por serviços ambientais. Toda estimativa anual consolidada por estrato-zona é publicada como metadado do lote correspondente no registro provisório, incluindo a descrição da metodologia, os intervalos de confiança, o verificador responsável e os códigos de versão dos dados e scripts utilizados. O vínculo entre lote, polígono e beneficiário é explícito, permitindo a rastreabilidade de PSA basal e variável conforme o capítulo 3.3. A transparência pública se materializa em um painel que exibe, para cada lote, o volume bruto verificado, o buffer aplicado, os descontos por incerteza e vazamentos, o volume líquido elegível e os indicadores de co-benefícios sociais monitorados.

As salvaguardas sociais e o CLPI integram o MRV-SE como eixo transversal. Embora a metodologia de carbono concentre-se em estoques e fluxos, os padrões de alta integridade e os compromissos do programa estadual exigem mensuração e reporte de indicadores sociais e de governança. O MRV-SE incorpora um conjunto de indicadores de inclusão produtiva, participação de mulheres e jovens, horas de capacitação, funcionamento do mecanismo de queixas, resolução de conflitos e investimentos em

prevenção a incêndios e infraestrutura comunitária. Esses indicadores contam com fontes, periodicidades e responsáveis definidos, e são objeto de verificação por amostragem pelo verificador independente, em consonância com as obrigações estabelecidas nos termos de adesão e nos contratos de PSA.

O plano de qualidade e controle é explícito. Para medições de campo, procedimentos operacionais padrão definem treinamento de equipes, calibração de instrumentos, repetição de medição em subamostras, tolerâncias admissíveis e protocolos de correção. Para laboratório, o plano define rastreabilidade de padrões, controles de qualidade internos e participação em ensaios de proficiência quando aplicável. Para sensoriamento remoto, políticas de qualidade definem limiares de porcentagem de nuvem aceitável, máscaras de sombra, métricas de acurácia de classificação e verificação por pontos independentes. Para estimativas, testes de regressão e de sensibilidade são reportados, e revisões metodológicas são formalizadas em adendos de versão.

A compatibilidade com inventários oficiais e com uma futura camada federal de registro é preparada desde a origem. O MRV-SE adota taxonomias de categorias de uso e cobertura alinhadas às do inventário nacional, mapeia estratos a subcategorias AFOLU e utiliza formatos de intercâmbio que permitam upload e reconciliação automática com sistemas federais quando disponíveis. Os códigos de projeto, estratos e lotes seguem convenções que evitam colisões e duplicidades, e as latitudes, longitudes e áreas são reportadas com premissas geométricas explícitas. Em relatórios técnicos, as equações, os fatores de conversão e as fontes bibliográficas são citados em padrão de referência adotado no Produto 5.2, de modo a assegurar que auditorias possam verificar a fidelidade às diretrizes IPCC e à metodologia VM0047.

O cronograma metodológico do piloto estrutura a sequência de validação, verificação e emissão. O primeiro semestre pós-seleção da área é dedicado à validação: consolidação do dossiê metodológico, submissão à certificadora, resposta a pedidos de esclarecimento e ajustes finos. O segundo semestre inicia a implantação com medições de base, demarcação de parcelas permanentes e estabelecimento do sistema de dados e do painel de acompanhamento. A primeira verificação anual ocorre ao fim do ano um de campo, com emissão do primeiro lote piloto após homologação do verificador e publicação dos metadados no registro provisório. Os anos seguintes seguem ciclo anual de medições, processamento, verificação e emissão, com revisões metodológicas pontuais submetidas ao CEMAC quando implicarem mudanças estruturais.

A escolha de trabalhar em Tier 2 com ambição de elementos Tier 3 é proporcional ao estágio piloto e à relação custo-precisão. Em biomas semiáridos, a variabilidade interanual de crescimento e os desafios de mensuração de fustes múltiplos e arquitetura ramificada justificam prudência em prometer níveis de precisão muito ambiciosos no início. A estratégia é construir uma base robusta de dados de campo e remotos, calibrar equações e, a partir do segundo ou terceiro ciclo, avaliar ganhos marginais de precisão decorrentes de ampliar amostras ou adensar medições. Essa abordagem incremental preserva o orçamento, reduz fricção operacional e mantém foco na integridade das estimativas e na transparência.

O enquadramento aqui estabelecido garante que o piloto seja reconhecido por certificadoras e compradores como empreendimento metodologicamente sólido, com governança de dados, mensuração transparente, tratamento explícito de incerteza e permanência e plena rastreabilidade. Ao mesmo tempo, a adaptação às condições edafoclimáticas e socioinstitucionais da caatinga sergipana preserva a viabilidade operacional e financeira, permitindo que o MRV-SE mínimo viável cumpra o papel de prova de conceito e prepare a expansão futura com custos decrescentes e qualidade crescente.

5.2. PLANO AMOSTRAL, INVENTÁRIO DE BIOMASSA E MÓDULO DE CARBONO DO SOLO

O plano amostral do piloto em caatinga foi concebido para fornecer estimativas anuais de mudanças de estoque de carbono com precisão estatística compatível com auditorias independentes e, simultaneamente, com custo operacional viável para a fase piloto.

A meta de precisão é erro padrão relativo não superior a dez por cento para o agregado do projeto em nível de confiança de noventa por cento, e não superior a quinze por cento por estrato biofísico. Essa meta deriva das recomendações das Diretrizes IPCC 2006, atualizadas pelo Refinement 2019, para projetos AFOLU que pretendem operar em Tier 2, e das práticas de verificação reportadas em metodologias de reflorestamento e revegetação como a VM0047. Alcançar essa precisão requer desenho estratificado, amostragem probabilística em cada estrato, protocolos padronizados de campo e laboratório e um sistema de governança de dados que permita auditoria integral da cadeia de custódia.

A estratificação segue três eixos: condições edáficas, morfologia do terreno e estado de degradação. No eixo edáfico, distinguem-se solos rasos pedregosos, solos franco-arenosos de média profundidade e solos mais profundos em baixios e fundos de vale. No eixo morfológico, separam-se topos e encostas expostas de vertentes abrigadas. No eixo de degradação, utilizam-se classes derivadas da série de NDVI de cinco a dez anos e da série anual MapBiomas: solo exposto/pastagem muito rala, mosaico agropecuário raleado e vegetação rala em processo de rebrota.

O cruzamento forma estratos com homogeneidade interna suficiente para aplicar equações alométricas e razões raiz/parte aérea com menor variância residual. A estratificação é revisada anualmente para manter a coerência entre a evolução da cobertura e o desenho amostral, porém as parcelas permanentes se mantêm fixas, de modo que as séries de crescimento por parcela reflitam mudanças reais e não artefatos de reposicionamento.

A alocação de amostras por estrato utiliza o critério de Neyman, que minimiza a variância do estimador estratificado dado um custo total fixo. Seja Wh a proporção de área do estrato h em relação à área total do projeto, Sh o desvio-padrão esperado da variável de interesse no estrato (incremento anual de carbono por hectare) e Ch o custo médio de amostrar uma unidade no estrato. A alocação ótima proporcional é nh = n × (Wh Sh / √Ch) / ∑k (Wk Sk / √Ck), em que n é o tamanho total da amostra definido pela meta de precisão e pelos recursos disponíveis.

Os valores iniciais de Sh e Ck advêm de literatura e de pilotos internos em caatinga; após o primeiro ciclo de campo, recalibram-se com variâncias observadas, mantendo-se a alocação dinâmica para ciclos subsequentes. Para o cálculo de n, utiliza-se a aproximadora de amostragem finita para estimador estratificado: n ≈ [(tα Sstr / E)^2] / [1 + (tα Sstr / E)^2 / N], em que tα é o quantil t para noventa por cento de confiança, E é o erro absoluto alvo para o total, N é o número de unidades amostráveis no universo e Sstr é o desvio-padrão composto esperado do estimador estratificado.

Em prática, define-se E como dez por cento do valor esperado do incremento médio agregado por hectare, multiplicado pela área do projeto; N é grande o bastante para que a correção finita seja modesta, de modo que a expressão se aproxima do caso de população infinita. O dimensionamento por estrato é então arredondado para cima e

condicionado à acessibilidade e segurança, com reposição aleatória em caso de parcelas inviáveis[25].

A unidade amostral para biomassa aérea, dadas as características fisionômicas da caatinga, adota parcelas retangulares de 20 × 25 metros (500 m²) para indivíduos arbóreos e arbustivo-arbóreos e subparcelas internas de 5 × 5 metros para a fração arbustiva fina e regenerantes. A escolha de 500 m² equilibra captação de variabilidade estrutural, sobretudo em mosaicos de rebrota, e custo de medição. Em estratos com vegetação extremamente rala, admite-se incrementar temporariamente o número de parcelas com área reduzida (por exemplo 20 × 20 metros), desde que os fatores de expansão por hectare e as incertezas sejam adequadamente propagados. As parcelas são implantadas com orientação magnética registrada e vértices georreferenciados com GNSS de precisão submétrica; cada vértice recebe marco físico e fotografia georreferenciada, e croquis detalhados de acesso e limites minimizam perdas por relocalização em campanhas futuras[26].

Os protocolos dendrométricos consideram a arquitetura multiestemática típica da caatinga. O diâmetro de referência é medido a 30 centímetros do solo para indivíduos com múltiplos fustes ou quando a bifurcação ocorre abaixo de 1,30 metro, e a 1,30 metro para indivíduos de fuste único sem bifurcação basal evidente; quando múltiplos fustes a 30 centímetros, mede-se cada fuste com diâmetro igual ou superior a 3,0 centímetros e converte-se a soma em um diâmetro equivalente pela raiz quadrática da soma das áreas basais ($D_{eq} = \sqrt{(\sum_i d_i^2)}$), preservando a relação de área basal com biomassa. A altura total

[25] Fontes: Cochran, W.G. (1977), *Sampling Techniques*, 3ª ed., Wiley, Nova York; IPCC (2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4*, Genebra; Verra (2023), *VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C.; Embrapa Semiárido (2022), *Protocolos de Amostragem e Estratificação em Ecossistemas da Caatinga*, Petrolina. Nota metodológica: A alocação de Neyman é aplicada para otimizar o número de parcelas por estrato, ponderando área, variabilidade e custo amostral. Os parâmetros iniciais de variância e custo são estimados a partir de dados secundários e ajustados após o primeiro ciclo de medição. O erro-alvo é fixado em 10% para o agregado do projeto a 90% de confiança, conforme boas práticas IPCC e metodologias de ARR.

[26] Fontes: Embrapa Semiárido (2022), *Protocolos de Amostragem e Monitoramento da Vegetação Lenhosa da Caatinga*, Petrolina; Verra (2023), *VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C.; IPCC (2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Genebra; FAO (2021), *Field Sampling for Forest Biomass Assessment*, Roma. Nota metodológica: A adoção de parcelas de 20 × 25 metros segue a prática recomendada para ecossistemas semiáridos, permitindo equilíbrio entre representatividade estrutural e custo operacional. As subparcelas de 5 × 5 metros capturam regenerantes e estratos arbustivos finos, cuja densidade influencia significativamente o estoque de biomassa inicial. As coordenadas e orientações são registradas em GNSS submétrico, com documentação fotográfica e croquis georreferenciados, assegurando rastreabilidade e reamostragem precisa em ciclos subsequentes.

é medida em subamostra sistemática de indivíduos por classe de diâmetro, com mínimo de quinze por parcela quando disponível, e os demais indivíduos têm altura estimada por relação alométrica local altura–diâmetro calibrada por estrato. A identificação botânica visa classes de densidade básica da madeira quando a identificação ao nível de espécie não é viável a campo; a densidade básica é atribuída por espécie quando conhecida ou pelo valor mediano do grupo funcional segundo bases consolidadas, com prioridade para valores regionais. O uso de densidade da madeira melhora substancialmente a precisão de equações que incluem o termo ρD^2H; quando equações locais não o exigem, a densidade continua relevante para discutir a plausibilidade de valores extremos[27].

As equações alométricas para biomassa aérea priorizam modelos regionais de caatinga validados em estudos destrutivos conduzidos por instituições como Embrapa Semiárido. Na ausência de equações específicas por espécie para todo o espectro de diâmetros observados, adota-se uma equação generalista para ambientes secos que preserva dimensionalidade física e invariância de escala, como $AGB = a \times (\rho\ D^2\ H)^b$, em que AGB é biomassa acima do solo em quilogramas, ρ é densidade da madeira em gramas por centímetro cúbico, D é diâmetro em centímetros e H é altura em metros, e a e b são parâmetros calibrados localmente por estrato e por grupo funcional.

Na falta de curvas H–D locais robustas, permite-se a aplicação de um modelo alternativo de duas variáveis $AGB = a' \times (\rho\ D^2)^b'$ com correção de viés por altura média por classe diamétrica, mas a preferência metodológica do projeto é incorporar H para reduzir incerteza de extrapolação em sítios heterogêneos. Sempre que possível, os parâmetros a e b são calibrados com subamostra destrutiva de indivíduos representativos por estrato, limitada eticamente e acompanhada de autorização do órgão competente, registrando-se biomassa por compartimento (fuste, galhos, folhas) e densidade da madeira por segmento. Essa calibração é documentada em relatório técnico do ITPS-SE e

[27] Fontes: Embrapa Semiárido (2022), *Protocolos Dendrométricos e Alométricos para Espécies Lenhosas da Caatinga*, Petrolina; IPCC (2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Genebra; Chave, J. et al. (2014), *Improved Allometric Models to Estimate the Aboveground Biomass of Tropical Trees*, *Global Change Biology*, v. 20, p. 3177–3190; INSA (2023), *Manual Técnico de Estimativas de Biomassa e Carbono em Ambientes Semiáridos*, Campina Grande. Nota metodológica: A medição do diâmetro a 30 cm do solo segue o padrão adaptado para vegetação multiestemática, corrigindo vieses de biomassa em espécies com ramificação basal. O diâmetro equivalente (Deq) é calculado pela raiz quadrática da soma dos diâmetros individuais, mantendo a proporcionalidade da área basal. A altura é medida em amostras representativas e estimada para os demais indivíduos com equações altura–diâmetro calibradas por estrato. A densidade básica da madeira (ρ) é obtida por espécie ou grupo funcional, com base em bancos regionais e dados consolidados da Embrapa e do INSA, assegurando coerência entre estrutura e biomassa calculada.

submetida ao verificador, com discussão de intervalos de confiança e de comparações a valores reportados na literatura[28].

A conversão de biomassa para carbono adota a fração 0,47, conforme recomendação do IPCC 2006 para lenhosas tropicais, com análise de sensibilidade entre 0,45 e 0,50 para discussão de incerteza sistemática. A conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente utiliza o fator estequiométrico 44/12. Para biomassa abaixo do solo, a estimativa recorre a razões raiz/parte aérea (R:S) específicas de formações savânicas e semiáridas, com preferência para valores reportados para caatinga e ambientes análogos.

A literatura técnica regional indica razões R:S na faixa de 0,20 a 0,35 para estratos arbóreos e arbustivos em maturação sob regimes de déficit hídrico marcante, com valores mais altos em sítios de solos mais rasos e pedregosos. O projeto adota, por estrato, um valor central de R:S e um intervalo plausível para análise de sensibilidade; quando campanhas de campo e escavações parciais autorizadas permitirem, calibra-se R:S localmente, reduzindo incerteza de modelo[29].

---

[28] Fontes: Embrapa Semiárido (2022), *Modelagem Alométrica e Biomassa Lenhosa da Caatinga: Resultados de Experimentos Destrutivos no Semiárido Brasileiro*, Petrolina; Chave, J. et al. (2014), *Improved Allometric Models to Estimate the Aboveground Biomass of Tropical Trees*, *Global Change Biology*, v. 20, p. 3177–3190; IPCC (2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Genebra; INSA (2023), *Manual Técnico de Estimativas de Biomassa e Carbono em Ambientes Semiáridos*, Campina Grande; Verra (2023), *VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C. Nota metodológica: O modelo alométrico adotado segue a estrutura multiplicativa que relaciona biomassa à densidade básica da madeira (ρ), ao diâmetro (D) e à altura (H), permitindo captar a variabilidade estrutural dos indivíduos e a heterogeneidade ambiental. A equação geral AGB = a × (ρD²H)^b deriva da formulação de Chave et al. (2014), ajustada com parâmetros empíricos calibrados por estrato. Os parâmetros a e b são estimados por regressão logarítmica com correção de viés de retransfomação (método de Baskerville), usando dados de amostras destrutivas conduzidas sob autorização ambiental. Nos casos em que a altura apresenta elevada variabilidade ou é de difícil mensuração, utiliza-se o modelo reduzido AGB = a′ × (ρD²)^b′, compensado pela média de H por classe diamétrica. A densidade básica é obtida em laboratório segundo normas da ABNT NBR 11941 (2003). A calibração local garante compatibilidade metodológica com o IPCC Tier 2 e reduz incertezas associadas à extrapolação de modelos de outras fitofisionomias. O ITPS-SE mantém o registro técnico das curvas ajustadas, metadados de calibração e a documentação de campo e laboratório, assegurando rastreabilidade e validação independente.

[29] Fontes: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Genebra, 2006; IPCC, 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Genebra, 2019; Embrapa Semiárido (2022), Proporções Raiz/Parte Aérea e Estoques de Carbono Subterrâneo em Sistemas Lenhosos da Caatinga, Petrolina; Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2023), Manual Técnico de Estimativas de Biomassa e Carbono em Ambientes Semiáridos, Campina Grande; Food and Agriculture Organization (FAO, 2021), Global Forest Carbon Stock and Change Estimation Manual, Roma.
Nota metodológica: A fração de carbono de 0,47 representa o valor médio global recomendado pelo IPCC para espécies lenhosas tropicais, refletindo o teor médio de carbono elementar na biomassa seca. Para

O módulo de carbono do solo segue a equação SOC = BD × D × Cf × (1 − Fr), em que SOC é estoque de carbono orgânico por unidade de área, BD é densidade aparente do solo (megagramas por metro cúbico), D é profundidade amostrada em metros, Cf é fração de carbono orgânico do solo (megagramas de carbono por megagrama de solo) e Fr é fração volumétrica de fragmentos grosseiros.

A amostragem utiliza camadas 0–10, 10–30 e 30–50 centímetros, com sonda indeformada para determinação de densidade aparente e coleta de amostras compostas por parcela para carbono orgânico total por combustão seca em laboratório acreditado. Para preservar comparabilidade ao longo do tempo quando houver mudanças de densidade aparente decorrentes do manejo, emprega-se o método de massa equivalente de solo (Equivalent Soil Mass, ESM), ajustando os estoques por camada a uma massa de referência definida na campanha inicial. Esse procedimento evita viés de superestimação de ganho de estoque quando o manejo aumenta a densidade aparente sem alteração real de carbono por unidade de massa[30].

A seleção do tamanho da amostra para solo considera maior variância intrínseca e custos laboratoriais. Em cada estrato, o número de parcelas com amostragem de solo é superior ao da biomassa aérea, mas a frequência de reamostragem pode ser bienal,

---

avaliar a incerteza sistemática, o intervalo 0,45–0,50 é aplicado em análise de sensibilidade, cobrindo a variabilidade interespécies observada em estudos regionais. A conversão para dióxido de carbono equivalente utiliza o fator estequiométrico 44/12, resultante da relação entre a massa molecular de CO_2 e a do carbono elementar. A biomassa subterrânea é estimada a partir da razão raiz/parte aérea (R:S), que expressa a proporção de biomassa alocada abaixo do solo. Valores de R:S entre 0,20 e 0,35 são característicos de vegetação lenhosa da Caatinga, com tendência a maiores proporções em solos rasos e pedregosos. Quando disponível, a calibração local da R:S é feita por amostragem destrutiva parcial e comparação entre perfis de solo, ajustando o modelo às condições edáficas específicas e reduzindo as incertezas associadas ao uso de valores genéricos.

[30] Fontes: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Genebra, 2019; Embrapa Solos (2022), *Manual de Métodos de Análise de Solo*, 7ª ed., Rio de Janeiro; FAO (2021), *Global Soil Organic Carbon Monitoring Protocols*, Roma; Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2023), *Estimativas de Carbono Orgânico em Solos da Caatinga*, Campina Grande; Verra (2023), *VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C. Nota metodológica: O cálculo do estoque de carbono orgânico do solo (SOC) segue a equação SOC = BD × D × Cf × (1 − Fr), onde BD é a densidade aparente (Mg/m³), D é a profundidade da camada (m), Cf é a fração de carbono orgânico (MgC/Mg solo) e Fr é a fração volumétrica de fragmentos grosseiros (>2 mm). As amostras são coletadas com anéis indeformados nas camadas 0–10, 10–30 e 30–50 cm, com replicação por estrato. A determinação de Cf é realizada por combustão seca em analisador elementar, e a densidade aparente é obtida por secagem em estufa até massa constante. O ajuste por massa equivalente de solo (Equivalent Soil Mass – ESM) é aplicado para padronizar comparações entre campanhas, evitando a superestimação de ganhos de carbono quando há aumento da densidade aparente sem incremento real de carbono. O método ESM é recomendado pelo IPCC (2019) e pela FAO (2021) para assegurar consistência temporal em séries de monitoramento de carbono no solo.

dependendo da sensibilidade esperada. Em caatinga, ganhos detectáveis de SOC no horizonte 0–10 centímetros podem ocorrer em horizontes de cinco a dez anos, mas o piloto pretende capturar tendências precoces no horizonte superficial, acompanhadas de modelagem plausível que projete acúmulos com base em mudanças de cobertura e em literatura regional. A decisão de creditar SOC depende da metodologia certificadora; a VM0047 permite, sob condições, incluir mudanças de SOC; em alternativa, o módulo de solo pode ser usado inicialmente para demonstrar co-benefícios e reduzir incerteza em biomassa, mesmo quando não creditado, com possibilidade de inclusão em créditos em ciclos posteriores mediante ajuste metodológico aprovado[31].

O estimador do incremento anual de carbono por estrato combina as variáveis de biomassa aérea, biomassa abaixo do solo e, quando aplicável, SOC. Para o agregado do projeto, o estimador estratificado é $\hat{Y} = \sum_h W_h \bar{y}_h$, em que $\bar{y}_h$ é a média amostral do incremento por hectare no estrato e W_h a fração de área do estrato. A variância do estimador segue $\mathrm{Var}(\hat{Y}) = \sum_h (W_h^2 \times S_h^2 / n_h) \times (1 - f_h)$, em que S_h^2 é a variância do incremento por hectare no estrato, n_h é o número de parcelas amostradas e f_h é a fração amostral no estrato; dado que f_h é pequeno, a correção finita $(1 - f_h)$ é próxima de um. Intervalos de confiança são construídos com base na distribuição t para graus de liberdade aproximados por método de Satterthwaite quando a heterogeneidade entre estratos é relevante. O erro é reportado por estrato e para o agregado, e as metas de precisão guiam decisões de aumentar n em estratos de maior variância nos ciclos subsequentes[32].

---

[31] Fontes: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Genebra, 2019; Verra (2023), *VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C.; Embrapa Solos (2022), *Manual de Métodos de Análise de Solo*, 7ª ed., Rio de Janeiro; Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2023), *Monitoramento do Carbono Orgânico do Solo em Áreas de Caatinga Restauradas*, Campina Grande; Food and Agriculture Organization (FAO, 2021), *Global Soil Organic Carbon Monitoring Protocols*, Roma.

[32] Fontes: Cochran, W.G. (1977), *Sampling Techniques*, 3ª ed., Wiley, Nova York; IPCC (2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Genebra; Verra (2023), *VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C.; Embrapa Semiárido (2022), *Protocolos de Monitoramento de Carbono e Biomassa na Caatinga*, Petrolina. Nota metodológica: O incremento anual de carbono é estimado por média ponderada estratificada, combinando biomassa aérea, subterrânea e carbono do solo quando aplicável. O estimador geral é $\hat{Y} = \sum_h W_h \bar{y}_h$, onde W_h é a proporção de área e $\bar{y}_h$ a média amostral do incremento no estrato. A variância é calculada como $\mathrm{Var}(\hat{Y}) = \sum_h (W_h^2 \times S_h^2 / n_h) \times (1 - f_h)$, sendo S_h^2 a variância amostral e n_h o número de parcelas. O erro padrão é obtido pela raiz quadrada da variância total, e os intervalos de confiança são construídos com base na distribuição t de Student, com graus de liberdade ajustados pelo método de Satterthwaite para heterogeneidade entre estratos. O controle de precisão orienta ajustes de tamanho amostral nos ciclos seguintes, conforme boas práticas IPCC (2019).

Os protocolos de controle de qualidade e garantia de qualidade (QA/QC) são explícitos. Em cada campanha, uma fração não inferior a dez por cento das parcelas é reamostrada por equipe independente do ITPS-SE para aferir consistência de medidas; discrepâncias acima de limites predefinidos desencadeiam rechecagem completa e treinamento adicional da equipe. Calibrações de instrumentos de medição de diâmetro e de altura são registradas com datas, responsáveis e certificados.

Em laboratório, controles internos, padrões e duplicatas garantem rastreabilidade; a participação em ensaios de proficiência para análise de carbono orgânico do solo é registrada. No sensoriamento remoto, amostras de validação independentes alimentam estimativas de acurácia para as classes de uso e cobertura em nível local, e máscaras de nuvem e sombra obedecem a parâmetros constantes para cada produto mensal. Todos os dados brutos, scripts e metadados são versionados e acompanhados de hash criptográfico para garantir integridade.

A calibração local complementa a importação de parâmetros de literatura. Destruições limitadas para biomassa aérea, com amostra intencional de indivíduos representativos por estrato e classes de diâmetro, permitem ajustar os parâmetros a e b de equações AGB, e amostragens dirigidas de densidade básica da madeira refinam a atribuição de ρ a espécies ou grupos funcionais locais.

No módulo de solo, ensaios de densidade aparente e carbono orgânico em microssítios com manejo diferenciado (por exemplo, com e sem cobertura morta) exploram sinais precoces de mudança e calibram a expectativa de acúmulo. Esses estudos de calibração são conduzidos sob supervisão do ITPS-SE, documentados e submetidos à validação do verificador. Em paralelo, as curvas H–D por estrato são estimadas por regressões não lineares com diagnóstico de resíduos e critérios de seleção por informação (AIC), e atualizadas anualmente com o crescimento observado. O resultado é a redução progressiva da incerteza de modelo, um dos componentes mais relevantes em ambientes heterogêneos.

O tratamento de árvores mortas, necromassa e perdas por distúrbios integra o inventário. O protocolo registra indivíduos mortos em pé e caídos, com classificação por estado de decomposição e estimativa de volume, para monitorar fluxos de carbono não intencionalmente contabilizados. Em caso de incêndios ou eventos extremos, campanhas rápidas de avaliação quantificam perdas por estrato e zona, e o cálculo de reversões considera a melhor evidência disponível, com apoio de imagens de alta resolução e de produtos de cicatrizes de queimadas. As perdas são comparadas ao buffer de risco

estabelecido no registro, e, quando atribuíveis a falhas de manejo, aplicam-se as regras contratuais de reposição e sanção. O objetivo é preservar a transparência e a integridade do saldo líquido de remoções creditado.

O módulo de integração com sensoriamento remoto se presta também a otimizar o esforço de campo. Produtos de NDVI e de fração de vegetação orientam a identificação de outliers e a priorização de subáreas para verificação intensiva quando sinais de queda abrupta ocorrem fora do padrão climático, o que pode indicar distúrbios ou falhas de manutenção. Em contrapartida, áreas com desempenho consistente podem manter cadência regular de amostragens, economizando recursos. Essa abordagem adaptativa, compatível com o MRV-SE mínimo viável, é explicitada no plano anual de monitoramento, com salvaguardas para evitar viés de seleção que favoreça subconjuntos de melhor desempenho. O verificador independente examinará os critérios de adaptação e a sua aplicação factual.

A compatibilidade do módulo de solo e biomassa com a metodologia certificadora é explicitada no dossiê de validação. Quando a metodologia não admitir crédito por mudanças de SOC no curto prazo, o projeto reporta SOC como indicador ambiental e o utiliza para corroborar a plausibilidade de incrementos de biomassa aérea e abaixo do solo, além de subsidiar co-benefícios. Se a metodologia permitir, o projeto apresenta o desenho ESM e a estatística associada, com a expectativa de ganhos detectáveis no horizonte temporal da verificação. Em todos os casos, o relatório ao verificador documenta a coerência entre as medições de campo, as séries remotas e os modelos de crescimento, e descreve como as incertezas foram quantificadas e propagadas no estimador final.

A governança do plano amostral inclui mecanismos formais de revisão. Ao fim de cada ciclo anual, o ITPS-SE apresenta à SEMAC e ao CEMAC um relatório de desempenho metodológico com diagnóstico das metas de precisão, avaliação de custos por estrato, taxas de relocalização de parcelas, incidentes de QA/QC e propostas de ajuste de n, de alocação e de protocolos. Mudanças substantivas, como alteração da meta de precisão, adoção de novas equações alométricas ou inclusão do SOC como componente creditado, são submetidas a deliberação do CEMAC e, quando afetarem a conformidade com a metodologia certificadora, a aprovação prévia do verificador.

Com esse conjunto de decisões, o plano amostral, o inventário de biomassa e o módulo de solo conferem ao piloto um alicerce mensurável, auditável e replicável, reduzindo incertezas de modelo e de amostragem e viabilizando a emissão de créditos

com intervalos de confiança e trilha documental compatíveis com padrões internacionais. A transparência na escolha de equações, na alocação de amostra e no tratamento de dados, a par de uma estratégia de calibração local progressiva, são elementos centrais para a bancabilidade do projeto e para a aceitação por certificadoras e compradores.

5.3. SENSORIAMENTO REMOTO, NDVI E PROTOCOLOS DE CONSISTÊNCIA

O subtítulo 4.3 estabelece, para a fase piloto em caatinga, o arranjo metodológico do componente de sensoriamento remoto no âmbito do MRV-SE mínimo viável, detalhando fontes de dados, rotinas de pré-processamento, métricas derivadas, integração com o inventário de campo, protocolos de qualidade e consistência, regras de decisão para reconhecimento de incremento de biomassa, gestão de eventos extremos e requisitos de documentação, auditoria e interoperabilidade com o proto-registro estadual.

O objetivo operacional é prover, com custo e acurácia compatíveis ao estágio piloto, uma linha de evidência orbitaisistemática que sirva simultaneamente a três funções: (i) apoio ao desenho amostral e à priorização de esforços de campo; (ii) checagem independente de verossimilhança dos incrementos observados nas parcelas; e (iii) publicação transparente de séries e metadados para auditoria por terceira parte e para vinculação ao registro estadual. Esse desenho é coerente com a arquitetura do MRV-SE proposta para o piloto, que prevê um subsistema específico de sensoriamento remoto articulado aos demais subsistemas de dados e governança, de campo e inventário, de estimativa e de auditoria e verificação.

5.3.1. FONTES DE DADOS, PERIODICIDADE E COBERTURA

As fontes de dados priorizadas são abertas, estáveis e replicáveis por terceiros, assegurando continuidade temporal, abrangência espacial e auditabilidade. Adotam-se séries multiespectrais de média resolução dos satélites Sentinel-2 (MSI; 10–20 m) e Landsat-8/9 (OLI; 30 m), combinadas a produtos anuais de uso e cobertura da terra do MapBiomas, que servem tanto ao delineamento da linha de base quanto ao acompanhamento da conformidade do uso do solo ao longo do projeto.

O subsistema de sensoriamento remoto do MRV-SE, desenhado com esse propósito, deriva mensalmente séries de NDVI e, anualmente, mapas de uso e cobertura com validação local, além de indicadores auxiliares (umidade superficial, detecção de distúrbios) quando necessário. Para a fase piloto, a cadência mínima é mensal nos

primeiros doze meses e trimestral após estabilização, com reprocessamento extraordinário após eventos extremos.

A cobertura territorial, definida pelas geometrias de projeto e de estratos, deve contemplar integralmente a área piloto e uma zona de amortecimento adequada para detecção de vazamentos e efeitos de borda. Essas geometrias, mantidas no repositório do MRV-SE com identificadores persistentes, integram o catálogo de metadados e são atualizadas sob controle de versão, em conformidade com a governança de dados estabelecida para o projeto.

5.3.2. PRÉ-PROCESSAMENTO PADRONIZADO E REPRODUTÍVEL

As rotinas de pré-processamento são padronizadas para garantir reprodutibilidade e rastreabilidade. Em todas as cenas aplicam-se correção atmosférica (nível L2A quando disponível), máscaras de nuvem e sombra apropriadas a cada sensor e composição mensal por estatística robusta (mediana) para reduzir ruído residual de contaminação atmosférica e anisotropia angular. Em caso de uso combinado de sensores (Sentinel-2 e Landsat-8/9), procede-se a harmonização radiométrica quando necessário, com avaliação de diferenças sistemáticas no espaço espectral Red–NIR e verificação de estabilidade intersensor por estrato-zona do projeto. Todo o pipeline é implementado como scripts versionados, com registro de parâmetros e versões de algoritmos, e armazenado no repositório do MRV-SE com carimbo temporal, hash e assinatura digital, segundo a arquitetura de dados e a governança já definida para o piloto.

5.3.3. MÉTRICA PRINCIPAL, INDICADORES AUXILIARES E CLASSES OPERACIONAIS

Adota-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) como métrica satelital oficial de condição de vegetação para a fase piloto, por sua robustez, tradição na literatura e ampla compatibilidade com séries históricas que cobrem a caatinga.

Como métricas auxiliares, podem ser calculados EVI e SAVI (para tratar saturação e variabilidade de fundo de solo), fração de vegetação e, para detecção de distúrbios, índices sensíveis a queimadas e à umidade da copa, além de produtos de focos de calor e cicatrizes. Esses produtos, incorporados ao subsistema de sensoriamento remoto, alimentam tanto a aferição de linha de base quanto o acompanhamento anual,

com painéis que exibem NDVI médio por estrato-zona, anomalias sazonais e alertas de queda abrupta compatíveis com distúrbios.

As classes operacionais de NDVI usadas para interpretação e sinalização de manejo são definidas em coerência com as tipologias e dinâmicas descritas no Produto 5.2 para a caatinga sergipana, que indicam desde situações de solo exposto e vegetação rala em rebrota até vegetação intermediária e densa, em linha com o potencial de incremento observado em áreas de regeneração natural. A espacialização histórica do NDVI em Sergipe, conforme registros consolidados, sustenta o enfoque em RNA/ARR como eixo do piloto.

5.3.4. INTEGRAÇÃO CAMPO–ORBITAL E CALIBRAÇÃO LOCAL

A integração entre medidas orbitais e o inventário de campo é estruturante para reduzir incerteza total e dar lastro à inferência em áreas não amostradas. O NDVI, calculado mensalmente e agregado por estrato-zona, é utilizado como covariável para modelar incrementos de biomassa aérea em combinação com variáveis edáficas e topográficas, ancorado nas parcelas permanentes georreferenciadas do plano amostral.

A calibração local se dá por meio de regressões parcimoniosas (lineares ou não lineares) que relacionam NDVI e métricas de estrutura (área basal, diâmetro, altura média) com biomassa, com validação cruzada k-fold e avaliação de erro fora da amostra. Na presença de dados suficientes, podem-se testar modelos com múltiplas covariáveis (por exemplo, NDVI, fração de vegetação e umidade), preservando interpretabilidade e estabilidade temporal. A governança de dados assegura que as séries por parcela e os modelos ajustados sejam versionados e acessíveis ao verificador com trilha completa de processamento.

A compatibilidade metodológica com as Diretrizes do IPCC 2006/2019 é requisito para credibilidade das estimativas e para a convergência com o inventário estadual. Nesse sentido, a abordagem adota Tier 2 como padrão para o piloto, incorporando parâmetros regionais e, quando viável e justificável, elementos Tier 3 relacionados a séries contínuas de sensoriamento e curvas de crescimento específicas por grupo funcional de espécies nativas plantadas ou conduzidas, conforme já previsto na orientação metodológica deste Produto 5.3.

5.3.5. REGRAS DE DECISÃO PARA RECONHECIMENTO DE INCREMENTO

Para fins de consolidação anual do incremento de biomassa e consequente cálculo de remoções, o MRV-SE do piloto estabelece regras de decisão que exigem convergência entre o sinal orbital e a evidência de campo.

Um incremento só é reconhecido quando, para um dado estrato-zona, se verificarem simultaneamente: (i) manutenção do NDVI acima do limiar de referência definido para aquele estrato por, no mínimo, duas composições mensais consecutivas dentro da estação de crescimento; (ii) confirmação de incremento de área basal e/ou diâmetro em parcelas permanentes, conforme protocolos do inventário; e (iii) ausência de flags de qualidade relevantes (nuvem/sombra persistente, descontinuidade intersensor acima do limite aceitável, distúrbio recente não acomodado). Esses critérios são formalizados como regras de negócio no subsistema de estimativa e documentados em relatórios replicáveis, em conformidade com os princípios de mensuração e transparência utilizados na compatibilização IPCC–VM0047.

5.3.6. PROTOCOLOS DE CONSISTÊNCIA TEMPORAL E ESPACIAL (QA/QC)

A consistência temporal é avaliada comparando cada série mensal ao envelope climatológico do estrato-zona (por exemplo, percentis 5–95 da série histórica) e aplicando testes de ruptura para identificar descontinuidades não relacionadas a mudanças reais de vegetação. A consistência espacial é examinada por métricas de estabilidade intersensor (diferença média e RMSE entre Sentinel-2 e Landsat-8/9 para as mesmas janelas temporais), por inspeções direcionadas de bordas e por exclusão de buffers internos quando houver risco de pixels mistos. Esses controles integram o dossiê de QA/QC e são parte do protocolo de verificação. Como previsto na arquitetura do MRV-SE, o subsistema de auditoria e verificação estabelece a trilha documental e o protocolo de acesso do verificador independente aos conjuntos de dados e scripts, possibilitando reprocessamentos amostrais.

Quanto à acurácia temática, a cada ano o mapa de uso e cobertura derivado de produto consolidado (p.ex., MapBiomas) é validado com amostras locais independentes e, quando se identificarem inconsistências que comprometam elegibilidade ou estratificação, realizam-se correções pontuais documentadas sob controle de versão. Em

paralelo, mantêm-se métricas de completude e de cobertura de cenas válidas por estrato, necessárias à avaliação de risco de lacunas.

5.3.7. TRATAMENTO DE DISTÚRBIOS E REVERSÕES

Queimadas, podas severas, eventos de seca extrema e outros distúrbios são monitorados por índices espectrais sensíveis e por produtos específicos de focos e cicatrizes. Havendo detecção de distúrbio relevante, a estimativa anual incorpora a quantificação de perdas por estrato-zona; quando aplicável, um período de recuperação é parametrizado para evitar reconhecimento indevido de incremento, refletindo-se no cálculo de reversões. As perdas são cotejadas com o buffer de risco metodológico e com as regras contratuais, resguardando a integridade ambiental e econômica do piloto. Esses procedimentos são coerentes com o desenho do subsistema de sensoriamento remoto e com o subsistema de estimativa formalizado no MRV-SE.

5.3.8. USO ADAPTATIVO E PRIORIZAÇÃO DE CAMPO

Os produtos mensais de NDVI e a detecção de anomalias sazonais alimentam um quadro de priorização de verificação intensiva em campo. Áreas com quedas abruptas fora do padrão climático local recebem prioridade de inspeção; áreas com desempenho consistente mantêm a cadência regular de amostragem, o que otimiza custo. Essa abordagem adaptativa, explicitada no plano anual de monitoramento, preserva a isenção por meio de salvaguardas contra viés de seleção (por exemplo, manutenção de uma amostra aleatória fixa de parcelas para reamostragem), e integra as rotinas de auditoria interna do MRV-SE.

5.3.9. PUBLICAÇÃO, METADADOS E TRILHA DE AUDITORIA

Cada produto derivado (mosaicos mensais, séries por estrato, mapas anuais) é registrado no repositório do MRV-SE com identificador persistente, data/hora de processamento, origem das cenas, limiares e parâmetros utilizados, versão do código e hash de integridade. O repositório, operado pelo ITPS-SE e integrado a um catálogo de metadados em padrão aberto, impõe versionamento estrito e permite exportação em formatos amplamente reconhecidos (por exemplo, GeoPackage e CSV para tabulares). A governança define papéis institucionais e o verificador tem acesso de leitura, sob acordo, a dados sensíveis. Essa camada de dados e governança é parte constitutiva do MRV-SE piloto.

Os metadados ambientais e espaciais consolidados são, na etapa subsequente, vinculados aos lotes de créditos no proto-RECA-SE, seguindo modelo de dados que inclui, entre outros campos, bioma, tipologia metodológica, georreferenciamento, período de verificação e volume certificado, além de referências às imagens e séries NDVI utilizadas no processo de verificação. Essa estrutura de metadados é compatível com normas internacionais e foi concebida para interoperar com o registro nacional.

5.3.10. INTEGRAÇÃO COM O PROTO-RECA-SE E INTEROPERABILIDADE

O fluxo de dados do sensoriamento remoto integra-se ao ciclo de vida do crédito no registro estadual: a partir do momento em que um lote é emitido, os artefatos de MRV (imagens, séries, relatórios) são referenciados no bloco digital com número único e hash, garantindo autenticidade e rastreabilidade do conjunto probatório.

O proto-RECA-SE mantém interoperabilidade planejada com o SINARE por API, permitindo sincronização de identificadores, tipologias, dados fundiários e situação contábil, condição indispensável para impedir dupla contagem e para aderência às regras nacionais. A arquitetura tecnológica prevê camadas de base de dados/registro, interoperabilidade e transparência/auditoria, com uso de padrões abertos de geosserviços e hash criptográfico imutável, em linha com o especificado no Produto 5.2.

5.3.11. AUDITORIA E VERIFICAÇÃO POR TERCEIRA PARTE

O subsistema de auditoria e verificação do MRV-SE define o protocolo de acesso do verificador independente aos dados e scripts do componente orbital, bem como à documentação de QA/QC e às séries por estrato-zona. A verificação inclui, no mínimo, reprocessamento amostral de parte dos mosaicos mensais, conferência das máscaras de qualidade, replicação dos cálculos de NDVI e das métricas auxiliares, e revisão dos modelos de calibração campo–orbital. O verificador credenciado sob ISO 14065, conforme previsto no fluxo operacional do registro, emite relatório com achados e recomendações, e a homologação dos resultados ocorre nas instâncias de governança do programa.

5.3.12. INDICADORES MÍNIMOS DE DESEMPENHO E QUALIDADE

Para garantir transparência e permitir a gestão adaptativa do piloto, o componente orbital deverá reportar anualmente, para cada estrato e zona, um conjunto mínimo de indicadores técnicos. Esses incluem: proporção de cenas válidas por período

de observação; estabilidade intersensor (média e erro quadrático médio das diferenças entre Sentinel-2 e Landsat-8/9); acurácia temática local dos mapas anuais de uso e cobertura; percentual de área com variação de NDVI superior ao limiar operacional; intervalo de confiança do incremento estimado quando o NDVI for utilizado como covariável de biomassa; número de flags de controle de qualidade (QA/QC) acionados e taxa de resolução; e o tamanho efetivo do buffer aplicado por safra de crédito em função da incerteza residual. Esses indicadores comporão o painel público do sistema de monitoramento, reporte e verificação de Sergipe (MRV-SE) e servirão de base para ajustes metodológicos e de manejo ao longo dos ciclos de verificação[33].

5.3.13. LIMITAÇÕES CONHECIDAS E ELEMENTOS TIER 3

Reconhecem-se limitações inerentes ao NDVI em ambientes semiáridos com forte contribuição do solo exposto, bem como possíveis saturações em dosséis mais densos. Esses limites são mitigados pelo uso de métricas auxiliares e por calibração local ancorada em parcelas permanentes. Em paralelo, quando viável e justificável, elementos Tier 3 poderão ser agregados: séries contínuas com maior frequência de composição, teste de modelos de transferência entre índices e biomassa específicos por grupo funcional, incorporação de umidade superficial por micro-ondas e aprimoramento de curvas de crescimento para espécies dominantes nas condições edafoclimáticas do piloto. Tais melhorias ocorrerão sem ruptura da aderência às Diretrizes IPCC e às metodologias de reflorestamento/revegetação reconhecidas no mercado voluntário (como a VM0047), o que facilita a reconciliação entre estimativas do projeto e o inventário estadual produzido em paralelo.

5.3.14. CRONOGRAMA OPERACIONAL E RESPONSABILIDADES

O calendário operacional do componente orbital acompanha o caminho crítico do piloto: ingestão e pré-processamento mensais durante T0–T12; passando, após estabilização, a composições trimestrais com janelas extraordinárias pós-evento;

[33] Fontes: Agência Espacial Europeia (ESA, 2024), *Sentinel-2 User Handbook*; United States Geological Survey (USGS, 2024), *Landsat 8-9 Collection 2 Quality Assessment Bands and Products*, Reston; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023), *Metodologia de Validação de Mapas de Uso e Cobertura da Terra – Projeto MapBiomas*, São José dos Campos; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4*, Genebra; Embrapa Semiárido (2022), *Boas Práticas de Monitoramento Orbital para Programas de Restauração na Caatinga*, Petrolina.

consolidação anual de séries e indicadores; e publicação sincronizada com os marcos de verificação e emissão no registro estadual. As responsabilidades institucionais seguem a governança do MRV-SE: ITPS-SE como curador técnico e operador do repositório; SEMAC como proprietária institucional e definidora de políticas de acesso e transparência; Desenvolve-SE como operadora das camadas transacionais vinculadas a pagamentos e registro; e verificador com acesso de leitura sob acordo de confidencialidade limitado a dados sensíveis.

5.3.15. INTEGRAÇÃO COM O RESTANTE DO ARRANJO MRV E COM A LÓGICA DE REGISTRO

O desenho aqui descrito não opera isoladamente. Ele se conecta ao subsistema de estimativa, no qual os fluxos de dados de sensoriamento remoto e de campo são consolidados em rotinas de cálculo de biomassa, carbono e CO_2e com propagação de incertezas e aplicação de fatores metodológicos e de buffer; e ao subsistema de auditoria e verificação, que estrutura a trilha documental e a replicabilidade por terceiros. Ao final do ciclo, a evidência orbitalsatelital, devidamente referenciada por metadados, passa a integrar o dossiê do lote de créditos e o seu bloco digital no proto-RECA-SE, preparado desde a origem para interoperabilidade com o SINARE, com registros internacionais e com os requisitos de integridade e transparência previstos no Produto 5.2.

Com esse arranjo, o componente de sensoriamento remoto fornece ao piloto uma base mensurável, auditável e replicável para monitorar a evolução da vegetação e sustentar a estimativa de remoções, reduzindo a incerteza total por meio da integração com o inventário de campo e garantindo a rastreabilidade e a interoperabilidade necessárias à emissão, ao registro e à negociação de créditos de carbono no âmbito estadual, em consonância com o MRV-SE e com o proto-RECA-SE delineados.

5.4. CONTROLE DE INCERTEZA, BUFFER DE RISCO E PLANO DE VERIFICAÇÃO

O componente de incerteza do piloto em caatinga abrange três domínios principais e interdependentes: amostragem (campo e laboratório), processamento (sensoriamento remoto e classificação temática) e modelo (equações alométricas, razões raiz/parte aérea, frações de carbono e conversões).

A governança do MRV-SE exige que cada domínio seja quantificado, reportado e reduzido por meio de decisões de desenho e de operação documentadas, com

propagação explícita para o estimador anual de remoções. A compatibilidade com as Diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) de 2006, com o refinamento metodológico de 2019 e com a lógica de metodologias de reflorestamento e revegetação, notadamente a VM0047, é mandatória para a credibilidade do arranjo e para a reconciliação com o inventário estadual e com a trilha de verificação do projeto.

A mensuração do erro por componente segue a estrutura do IPCC para AFOLU e emprega aproximações de primeira ordem para funções não lineares, além de variância estratificada no agregado do projeto. O relatório técnico anual apresentará o erro padrão relativo por domínio e o erro combinado do estimador de remoções, com explicitação de graus de liberdade e intervalos de confiança ao nível de, no mínimo, noventa por cento.

O plano de redução de incerteza, por sua vez, é dinâmico: a cada ciclo, decide-se a realocação de esforço de campo para estratos com maior variabilidade, a revisão de parâmetros de processamento orbital (máscaras, composições e limiares) e a atualização de equações alométricas e de fatores de conversão quando novas evidências locais ou regionais justificarem. Essa estrutura de cálculo e de melhoria contínua integra o dossiê do projeto a ser submetido ao verificador e à certificadora, juntamente com scripts, planilhas e procedimentos operacionais padrão.

No domínio de amostragem, a variância estratificada já foi definida no plano amostral como elemento central para atingir as metas de precisão. A estimativa anual do incremento de carbono por estrato resulta da média amostral ponderada pela fração de área e sua variância segue fórmula clássica com correção finita negligenciável, dado universo grande de unidades amostráveis.

O erro agregado do projeto é calculado pela soma ponderada das variâncias por estrato e convertido em erro relativo em relação ao total estimado; o objetivo é manter erro padrão relativo não superior a dez por cento no agregado e não superior a quinze por cento por estrato, parâmetros alinhados à operação em Tier 2. O método de Satterthwaite pode ser utilizado para compor graus de liberdade efetivos sob heterogeneidade entre estratos, garantindo intervalos realistas. Esse bloco de cálculo é entregue em planilhas auditáveis, com registros de dados primários, fatores de expansão por hectare e vínculos das parcelas permanentes aos metadados geoespaciais.

No domínio de processamento, a incerteza se origina no pré-processamento orbital (correção atmosférica, máscaras de nuvem e sombra, composição), na harmonização entre sensores e na classificação temática anual. Para a série de NDVI, calcula-se estabilidade intersensor por estrato (diferença média e raiz do erro quadrático médio entre Sentinel-2 e Landsat-8/9 para janelas coetâneas), e, para os mapas anuais de uso e cobertura, conduz-se validação com amostras independentes para estimar acurácia global, por classe e matriz de confusão. As métricas e os limiares operacionais de qualidade são fixados no plano anual, com trilha de parâmetros por versão, e eventuais recálculos são documentados com hashes de integridade e carimbo temporal no repositório do MRV-SE. A redução de incerteza de processamento combina revisões de máscara e composição com incremento seletivo de amostragem de campo para calibração local.

No domínio de modelo, três fontes são tratadas: (i) incerteza de equações alométricas e de parâmetros a e b por estrato, incluindo densidade da madeira e relações altura–diâmetro; (ii) incerteza de razões raiz/parte aérea por tipologia e estágio sucessional; e (iii) incerteza das frações de carbono e conversões estequiométricas. A abordagem Tier 2 pressupõe o uso de parâmetros regionais robustos e, quando possível, calibração local com subamostragens destrutivas e ensaios laboratoriais. A propagação de incerteza do modelo aplica derivadas parciais das funções adotadas e incorpora covariância quando evidenciada. Com base no refinamento de 2019, fatores e tabelas específicos para ambientes semiáridos são priorizados, sem perder consistência com a literatura local.

A consolidação anual de remoções incorpora descontos metodológicos e prudenciais. O fator 44/12 converte carbono em dióxido de carbono equivalente; quando o componente de carbono do solo estiver metodologicamente elegível, o método de massa equivalente de solo é aplicado para preservar comparabilidade temporal, e as incertezas de densidade aparente e fração de carbono são tratadas de modo explícito.

Na ausência de elegibilidade para crédito de SOC, esse componente permanece indicador ambiental e de co-benefícios e contribui indiretamente para a redução da incerteza de biomassa como variável de controle. O dossiê metodológico ao verificador descreve de forma transparente os casos em que SOC é creditado e os casos em que é apenas monitorado, com justificativas e referências.

O risco de não permanência e de reversão é enfrentado por três camadas complementares e integradas ao desenho operacional do piloto. A prevenção abrange manejo de combustível, aceiros, capacitação e manutenção de brigadas comunitárias, além de acordos de vizinhança estruturados com PSA para reduzir pressões em áreas limítrofes; a resposta estrutura planos de contingência e, sempre que financeiramente viável, seguro ambiental complementar para eventos de força maior; e a compensação se dá por meio de um buffer de risco depositado em conta vinculada do FEAAC.

A taxa de buffer para a fase piloto, proposta em quinze por cento do volume verificado, será validada pelo verificador com base em matriz de risco do projeto e poderá ser revisitada nos ciclos subsequentes conforme histórico de eventos e desempenho de controle. O objetivo é assegurar integridade ambiental e previsibilidade econômica na emissão e na negociação dos créditos.

A matriz de risco do programa jurisdicional, apresentada no Produto 5.2, permanece referência para calibrar o buffer estadual e seu desdobramento operacional. Os riscos naturais (incêndios, secas extremas, pragas), antropogênicos (desmatamento, sobrepastoreio, invasões), fundiários (disputas de posse e cancelamentos contratuais) e metodológicos (erro de medição e inconsistências de MRV) foram caracterizados com respectivas probabilidades e mecanismos de mitigação.

O desenho da Reserva Técnica Estadual no FEAAC, da Reserva de Risco Jurisdicional e do eventual seguro ambiental complementar estabelece o tripé de absorção e compensação de perdas não intencionais, com atualização quinquenal vinculada a auditoria independente. Para o piloto, o depósito do buffer ocorrerá simultaneamente à emissão no registro provisório, com governança e conciliação contábil pela Desenvolve-SE.

A avaliação de vazamentos é tratada como extensão da linha de base e observa dois caminhos. Primeiro, um anel de influência em torno da área de projeto é monitorado com séries de desmatamento e de mudança de uso, associadas a indicadores auxiliares de pressão (como abertura de trilhas e expansão de pastagens) quando imagens de alta resolução estiverem disponíveis; achados atribuíveis ao projeto implicam desconto na emissão conforme a metodologia e acionamento de medidas mitigadoras, como PSA de vizinhança e fiscalização. Segundo, variáveis climáticas e hidrológicas são vinculadas ao banco de dados para produzir contexto de variação interanual; com isso, evita-se atribuir ao manejo fatores que se devem a anomalias de precipitação ou temperatura. O

refinamento de 2019 recomenda explicitar tais fatores de variabilidade e reduzir confundimento em séries AFOLU.

O plano de verificação por terceira parte é estruturado para replicabilidade e independência, com aderência à acreditação ISO 14065 e interoperância com o ciclo de vida do crédito no registro estadual. O verificador terá acesso de leitura aos conjuntos de dados e scripts versionados, replicará amostralmente mosaicos mensais, conferirá máscaras de qualidade, reexecutará o cálculo de índices e auditará os modelos de calibração campo–orbital. O relatório de verificação apresentará o julgamento profissional sobre elegibilidade, mensuração, permanência e vazamentos, recomendará ajustes de metodologia e confirmará o volume líquido elegível após descontos por incerteza e buffer. A homologação do resultado ocorre nas instâncias de governança do programa, e os documentos probatórios passam a compor o bloco digital do lote no registro estadual.

A integração com o registro estadual é requisito de rastreabilidade. O RECA-SE cumpre cinco funções essenciais: registro e autenticação de créditos e serviços ecossistêmicos; verificação e rastreabilidade com armazenamento de relatórios, imagens e dados de MRV; transação e liquidação; interoperabilidade com registros nacionais e internacionais; e transparência e controle social por meio de consultas públicas e dashboards. A arquitetura tecnológica implementa base de dados e registro, camada de interoperabilidade e camada de transparência e auditoria; cada crédito possui hash criptográfico imutável e eventos são automatizados por contratos inteligentes. Na fase piloto, essa arquitetura é emulada por um registro provisório operado pelo Estado, com metadados padronizados e comunicação bidirecional com o sistema federal quando aplicável, prevenindo dupla contagem e assegurando unicidade e rastreabilidade.

A interoperabilidade com o sistema nacional, prevista no desenho do Produto 5.2, estabelece sincronização de identificadores, tipologia metodológica, dados fundiários e situação contábil, impedindo dupla contagem e garantindo reconhecimento. Metadados ambientais e espaciais incluem bioma, tipologia, localização, área certificada, período de verificação, volume e certificadora; essa estrutura está vinculada às séries NDVI e a outros produtos utilizados na verificação, o que facilita auditorias cruzadas e due diligence de compradores. O piloto opera com essa lógica desde a origem, ainda que em registro provisório, para permitir migração técnica fluida quando as camadas federais estiverem plenamente estabelecidas.

O dossiê metodológico a ser submetido à certificadora consolidará em uma única peça: descrição do projeto e do enquadramento metodológico; caracterização de área com mapas e séries; linha de base e zoneamento; plano amostral e protocolos de inventário e de solo; equações, fatores e hipóteses de crescimento; procedimentos de imagens e métricas de qualidade; estratégia de vazamento e permanência com buffer proposto; plano de monitoramento anual e de verificação; governança de dados e trilha de auditoria; salvaguardas sociais e CLPI; cronograma de marcos metodológicos e de verificação.

Cada item trará referências explícitas às diretrizes IPCC, à VM0047 e às fontes nacionais. A aprovação da linha de base e do zoneamento no CEMAC será condicionante para contratação do desenvolvedor e submissão à validação; pareceres do ITPS-SE, da SEMAC e da Desenvolve-SE comporão o pacote decisório quanto à robustez técnica, à conformidade regulatória e à exequibilidade financeira.

A transparência e a reprodutibilidade são asseguradas por versionamento e auditoria cruzada. Todos os insumos geoespaciais e tabulares recebem identificadores de versão, hashes de integridade e descrição de processamento; a cada atualização anual, os conjuntos são congelados e arquivados para permitir recomputação integral em auditorias independentes. Em pelo menos um ciclo, uma auditoria cruzada externa, contratada por chamada pública, replicará procedimentos e amostragens em subamostra aleatória e emitirá relatório público, prática alinhada a diretrizes de alta integridade e útil para elevar a confiança de compradores institucionais.

Combinando quantificação rigorosa da incerteza, mecanismos prudenciais de buffer e desenho robusto de verificação, o piloto estabelece base mensurável e auditável para emissão e registro de créditos com integridade. A estrutura de risco ancorada no FEAAC e no RECA-SE, a interoperabilidade planejada com o sistema nacional e o compromisso com a melhoria contínua de métodos e dados são elementos indispensáveis para a bancabilidade do projeto e para sua escalabilidade no horizonte subsequente.

6. REGISTRO E RASTREABILIDADE PROVISÓRIA (PROTO-RECA-SE)

Este Capítulo define os requisitos e os procedimentos do registro provisório estadual para o piloto, assegurando unicidade, integridade criptográfica, rastreabilidade técnico-documental e interoperabilidade futura.

O desenho parte da arquitetura de dados e governança do MRV-SE e das funções do RECA-SE descritas no Produto 5.2, com ênfase em padrões abertos, versionamento rigoroso e integração com o ciclo de vida do crédito (emissão, transferência e aposentadoria). A orientação é operar, já na fase piloto, com metadados completos, ligação explícita às evidências de MRV e preparação para sincronização com a camada nacional, prevenindo dupla contagem e garantindo transparência pública.

6.1. REQUISITOS DE UNICIDADE, METADADOS E TRILHA DE AUDITORIA

A camada de registro do piloto tem por objetivo garantir, desde a emissão, a unicidade de cada unidade de carbono, a completude e consistência de seus metadados e uma trilha de auditoria que permita recomputação independente e verificação por terceira parte. Esses requisitos derivam da arquitetura do RECA-SE delineada no Produto 5.2 e são aqui implementados em um registro provisório estatal (proto-RECA-SE), concebido para operar com padrões abertos, versionamento rigoroso, integridade criptográfica e interoperabilidade futura com o SINARE e com registradores internacionais, preservando a compatibilidade com metodologias de certificação reconhecidas (p.ex., VM0047) e com diretrizes de integridade (ICVCM).

A unicidade é assegurada por uma combinação de identificadores e controles de estado. Cada crédito individual recebe um identificador único (UUID) e pertence a um lote que, por sua vez, é materializado como bloco digital no registro, com número único e hash criptográfico imutável. O *namespace* (espaço de nomes) [34] estadual é a fonte de verdade para a emissão e mantém mapeamentos explícitos com identificadores externos (ID SINARE e, quando aplicável, ID do registro da certificadora), evitando colisões e permitindo rastreamento entre camadas. A lógica de estados transacionais (pré-registro, validação, verificação, emissão, transferência, aposentadoria) é fechada e mutuamente exclusiva, o que impede, por regra de negócio, situações como “ativo” e “aposentado”

[34] *Namespace* é o espaço de nomes que define o domínio lógico onde os identificadores são únicos e resolvíveis. Em sistemas de informação, ele funciona como um “escopo” que garante a unicidade de registros — por exemplo, prefixando códigos ou IDs de forma a evitar colisões entre diferentes origens de dados. No contexto do RECA-SE, o *namespace estadual* é o domínio de referência (ou *source of truth*) que centraliza e autentica os identificadores de créditos de carbono emitidos no Estado.

simultaneamente para um mesmo crédito. Essa semântica é acompanhada de validações automáticas em API e de reconciliação com a camada financeira, em linha com o fluxo operacional e com as funções do RECA-SE definidas no Produto 5.2.

O modelo de metadados prioriza precisão semântica e interoperabilidade. Em núcleo obrigatório, cada crédito contém: bioma (no piloto, caatinga), tipologia metodológica (ARR), localização (coordenadas e município), área certificada, datas de emissão e de monitoramento, período de verificação, volume em tCO_2e, certificadora e versão metodológica, situação contábil (ativo, transferido, aposentado), selo estadual (quando aplicável) e UUID do crédito. Esses campos são compatíveis com a ISO 19115 e com guias de metadados de registradores e certificadoras, e estão exemplificados no 5.2 em tabela de preenchimento, incluindo amarração às séries NDVI e a produtos temáticos para verificação cruzada de integridade ambiental e fundiária. Ao núcleo obrigatório agregam-se chaves de interoperabilidade (ID no SINARE e em registradores internacionais) e campos de governança (órgãos responsáveis, marcos de decisão) para due diligence. O sistema valida formato, domínios e coerência entre campos antes de aceitar qualquer submissão, reduzindo retrabalho e risco de inconsistências.

A vinculação do certificado às evidências do MRV constitui o eixo de rastreabilidade técnica. Cada lote referencia, por identificadores persistentes, as séries de sensoriamento remoto (NDVI e mapas anuais de uso e cobertura), o plano amostral e os inventários de biomassa aérea e abaixo do solo, a eventual medição de carbono do solo elegível, as equações e parâmetros alométricos utilizados, as planilhas do estimador estratificado e de propagação de incertezas e os relatórios de validação e verificação. A relação é bidirecional: o artefato técnico registra o(s) lote(s) que fundamenta; o lote registra os artefatos que o lastreiam. Esse encadeamento permite recomputação independente e auditorias cruzadas e atende ao papel do RECA-SE de armazenar documentos comprobatórios de verificação e de habilitar rastreamento completo do ciclo de vida de cada crédito.

A trilha de auditoria é preservada por imutabilidade lógica e versionamento explícito. Todo evento relevante — submissão, validação, verificação, emissão, transferência, oneração, aposentadoria — é registrado com identidade do responsável, data/hora, justificativa, assinatura digital e hash do estado anterior e do estado resultante. Correções não apagam histórico: geram nova versão com vínculo e avaliação de impacto.

Alterações que atinjam integridade do lastro (volume, área, período) exigem rito reforçado com análise técnica do ITPS-SE, parecer da SEMAC, ciência do CEMAC e,

quando cabível, nova verificação; alterações de metadados não críticos seguem rito simplificado. A camada tecnológica que sustenta essa governança adota base transacional para créditos e metadados, repositório distribuído para evidências (p.ex., IPFS) e blockchain permissionada para registro de eventos imutáveis, conforme a arquitetura de três camadas apresentada no Produto 5.2.

A prevenção de dupla contagem combina desenho de dados e protocolo de interoperabilidade. O sistema estadual mantém mapeamento 1-para-1 entre o UUID estadual e o ID no SINARE, sincronizando tipologia/metodologia, georreferenciamento e situação contábil, e aplicando, quando aplicável, ajuste correspondente para transações internacionais. Essa integração é implementada por API REST bidirecional e tem como efeito impedir "double claiming" e consolidar a contabilidade nacional, condição indispensável para reconhecimento pelo Artigo 6.2. No plano do piloto, essa função é exercida pelo proto-RECA-SE desde a origem, de forma compatível com o hub federal em implantação, evitando dependência de regras revogadas e preservando a migração técnica para o definitivo.

A transparência pública e o controle social são dimensões operacionais do registro, não meros atributos reputacionais. O portal do registro disponibiliza consultas sobre certificados e lotes, status contábil, eventos do ciclo de vida e relatórios de integridade, além de módulo de dados abertos com catálogos, dicionários e séries versionadas "para ciência", respeitada a LGPD.

Painéis públicos expõem indicadores de integridade (preenchimento de metadados, tempo de atualização de eventos, taxa de resolução de flags de auditoria, verificações concluídas) e, quando pertinente, vinculam recipientes de receitas (por exemplo, repartição de benefícios) às transações registradas, refletindo a integração com o FEAAC e com o marketplace estadual. Essas funções atendem às "funções e objetivos" do RECA-SE e à camada de transparência da arquitetura em três níveis disposta no Produto 5.2.

A segurança da informação é requisito de integridade operacional. Mecanismos mínimos incluem identidade federada, autenticação forte, certificação digital ICP-Brasil, criptografia em trânsito e em repouso, logs invioláveis, auditoria independente periódica e redundância geográfica. Em nível de transação, cada evento é hasheado e assinado; em nível de dados, evidências e scripts são armazenados em camadas de escrita única e múltiplas leituras com versionamento; em nível de interoperabilidade, as APIs aplicam

controle de escopo e *rate limiting*. Essas especificações constam do Produto 5.2 e asseguram continuidade operacional e confiança de certificadoras e investidores.

A relação com o MRV-SE é estrutural. O registro não opera como repositório contábil dissociado da medição: ele referencia, por identificadores persistentes, as evidências que sustentam a emissão. No fluxo MRV → Registro → Financeiro, a Desenvolve-SE realiza a conciliação entre o saldo técnico (lastro) e o saldo contábil e financeiro, a SEMAC estabelece a política de dados e de transparência e o ITPS-SE mantém a curadoria técnica e a coerência dos vínculos. Essa integração reduz risco de inconsistências e habilita automação de eventos (p.ex., constituição automática de buffer em conta vinculada do FEAAC no ato da emissão, conforme taxa vigente).

A migração para o RECA-SE definitivo é preparada por desenho de dados e por governança de versões. O proto-RECA-SE adota o mesmo dicionário de campos e o mesmo protocolo de eventos do definitivo, de modo que a transição consista em espelhamento, reconciliação e congelamento do estado provisório, sem refações estruturais. O planejamento de migração define mapas de campos, testes de consistência e um período de convivência com operações espelhadas, após o qual o provisório é arquivado e permanece acessível para auditoria pública. Tal abordagem é coerente com a orientação do 5.3 de operar, no piloto, uma solução equivalente ao RECA-SE até sua implantação formal.

Em síntese, a subseção estabelece os requisitos mínimos para que o registro provisório assegure unicidade inequívoca, metadados interoperáveis e uma trilha de auditoria reprocessável, articulando-se à arquitetura e às funções do RECA-SE definidas no Produto 5.2 e mantendo compatibilidade com o SINARE e com registradores internacionais. Esses elementos são necessários para reconhecimento por certificadoras, para bancabilidade e para a expansão do modelo após a validação do piloto.

6.2. PROCEDIMENTOS DE EMISSÃO, TRANSFERÊNCIA E APOSENTADORIA NO PILOTO

O ciclo de vida dos créditos no piloto segue um encadeamento operacional fechado, com estados mutuamente exclusivos e documentação completa em cada passo. O objetivo é que a emissão somente ocorra após validação e verificação independentes, que a transferência reflita fielmente a mudança de titularidade sem risco de dupla contagem e que a aposentadoria produza extinção definitiva, preservando a trilha de auditoria e a reconciliação com o MRV-SE e com a camada financeira. Esse

encadeamento replica, em chave piloto, as etapas do RECA-SE e seus requisitos de governança, interoperabilidade e transparência previstos no Produto 5.2.

6.2.1. PRÉ-CONDIÇÕES E DOCUMENTAÇÃO MÍNIMA

A emissão no piloto é condicionada a um conjunto de pré-condições técnicas e institucionais: (i) validação metodológica e de elegibilidade do projeto conforme o arranjo jurídico estadual e a metodologia certificadora (ARR no piloto), (ii) verificação independente por terceira parte acreditada, com relatório favorável e evidências reprocessáveis, e (iii) homologação dos resultados nas instâncias de governança. Esses marcos e responsabilidades já estão formalizados no fluxo operacional do RECA-SE e são adotados no piloto como regra de negócio do registro provisório.

O dossiê de submissão a emissão contém, no mínimo: parecer de validação, relatório do verificador, planilhas auditáveis com estimativas estratificadas e propagação de incertezas, vínculos persistentes às séries NDVI e aos mapas de uso e cobertura, inventários de biomassa (acima e abaixo do solo) e, quando elegível, SOC, além de comprovações fundiárias e salvaguardas. A presença e a consistência desses metadados e vínculos são requisitos explícitos do modelo de dados do registro, com checagens automáticas de formato, domínio e coerência antes da mudança de estado para “emitido”.

6.2.2. EMISSÃO (CRIAÇÃO DO LOTE E SERIALIZAÇÃO DE UNIDADES)

Uma vez cumpridas as pré-condições, o registro provisório cria o lote como bloco digital, atribui número único e calcula o hash criptográfico do estado inicial. Cada unidade de crédito recebe UUID individual, vinculado ao lote e aos metadados ambientais e transacionais. O sistema aplica a semântica de estados do RECA-SE (pré-registro → validação → verificação → emissão), impedindo paralelismos incoerentes, e aciona rotinas automatizadas: constituição do buffer metodológico em conta vinculada do FEAAC; geração do certificado com campos mandatórios (bioma, tipologia, localização, período, volume, situação contábil, certificadora); e disponibilização pública do status e do certificado para consulta.

O modelo de metadados adotado no piloto é o mesmo especificado no Produto 5.2 (ISO 19115; interoperável por JSON-LD), incluindo chaves de interoperabilidade com SINARE e registradores internacionais. A publicação de metadados é acompanhada de apontadores (identificadores persistentes) para as evidências técnicas que lastreiam o volume emitido, assegurando recomputação independente e auditorias cruzadas.

6.2.3. REGISTRO NACIONAL E INTEROPERABILIDADE

Após a emissão estadual, o piloto executa o registro no hub nacional por meio de API bidirecional, sincronizando identificadores (UUID estadual ↔ ID SINARE), tipologia/metodologia, georreferenciamento e situação contábil. Essa integração impede dupla contagem (double claiming) e prepara a conformidade para usos internacionais que exijam "ajuste correspondente". A adoção dessa rotina já está descrita no Produto 5.2 e deve operar, no piloto, em regime de espelhamento técnico, preservando a migração para o definitivo.

6.2.4. TRANSFERÊNCIA (MUDANÇA DE TITULARIDADE)

A transferência de créditos no piloto observa três camadas: técnica, jurídica e financeira. Tecnicamente, o sistema verifica a titularidade atual, a inexistência de gravames impeditivos e a consistência do lote (status "ativo"). Juridicamente, registra o instrumento (contrato bilateral, leilão estadual, marketplace) e vincula, por identificador, documentos essenciais (ERPA/offtake, condições resolutivas). Financeiramente, reconcilia a operação com a camada de liquidação (Desenvolve-SE), refletindo o evento no FEAAC (taxa de serviço; repartição de benefícios quando aplicável) e atualizando o status do crédito para o novo titular. O RECA-SE, conforme explicitado no Produto 5.2, já define essa função como "transação e liquidação"; o piloto adota a mesma semântica com publicidade do evento e atualização em tempo real.

Para cada transferência, o registro guarda assinatura digital, carimbo temporal e o hash do estado anterior e do estado resultante do lote. Integrações por API com mercados e bolsas devem retornar, além dos dados da ordem, confirmação de liquidação e, se houver, anexos de garantias. Esse desenho preserva a trilha de auditoria e a integridade contábil afirmadas no Produto 5.2.

6.2.5. APOSENTADORIA *(RETIREMENT)*

A aposentadoria constitui extinção definitiva da unidade, normalmente em decorrência de compensação voluntária ou regulatória. No piloto, o evento "aposentadoria" bloqueia qualquer transação subsequente, registra a finalidade (categoria de uso) e publica o comprovante com referências ao certificado e aos metadados do crédito. A semântica e a publicidade desse estado derivam do fluxo do RECA-SE, que prevê atualização pública do status e registro consolidado do ciclo de vida.

Quando a aposentadoria estiver ligada a contrapartidas específicas (por exemplo, metas de descarbonização voluntária), o registro armazena o documento comprobatório e mantém chave de conferência pública. Em integrações internacionais, a aposentadoria sincronizada com o sistema nacional deve refletir eventual ajuste correspondente, conforme disciplina do Produto 5.2.

6.2.6. TRATAMENTO DE EXCEÇÕES E RETIFICAÇÕES

Exceções (erro material, duplicidade detectada, falha de interoperabilidade) são tratadas por rito escalonado. Metadados não críticos podem ser retificados com geração de nova versão e justificativa; alterações que afetem elegibilidade, volume, período ou área demandam análise técnica do ITPS-SE, parecer da SEMAC e ciência do CEMAC, podendo exigir nova verificação. Em todos os casos, o histórico permanece imutável e consultável, com hashes e assinaturas, em conformidade com a arquitetura de três camadas (registro, interoperabilidade, transparência/auditoria).

6.2.7. SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO, CONTINUIDADE E CONTROLE SOCIAL

Todos os eventos de emissão, transferência e aposentadoria são protegidos por identidade federada, autenticação forte, ICP-Brasil, criptografia em trânsito e repouso e logs invioláveis; rotinas de auditoria independente e redundância geográfica asseguram continuidade operacional. O portal público expõe consultas, relatórios de integridade e dashboards de desempenho, com módulo de dados abertos e dicionários, respeitada a LGPD. Esses requisitos constam das “camadas de segurança e governança digital” e da função de transparência do RECA-SE no Produto 5.2.

6.2.8. INDICADORES OPERACIONAIS E CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO

Para gerenciamento do piloto e auditoria externa, o registro provisório acompanha indicadores mínimos: tempo entre homologação e emissão; taxa de lotes com metadados completos e vínculos técnicos válidos; número de flags e taxa de resolução em auditoria; tempo de atualização de eventos; taxa de reconciliação com SINARE; e volume aposentado por finalidade. Critérios de aceitação para emissão incluem: validação e verificação concluídas; metadados mandatórios preenchidos; vínculos persistentes às evidências do MRV; cálculo e desconto por incerteza e buffer documentados; conformidade fundiária mínima demonstrada; e integração ativa com o hub nacional.

Esses critérios derivam do modelo de dados do RECA-SE e do fluxo de etapas já descritos.

6.2.9. INTEGRAÇÃO COM INSTRUMENTOS DE MERCADO DO PILOTO

As operações de transferência executadas por leilão estadual, marketplace ou contratos bilaterais refletem-se automaticamente na camada de registro e de liquidação, com cálculo de taxas e repartições (quando previstas) e conciliação contábil pela Desenvolve-SE. O Produto 5.2 estabelece o RECA-SE como clearing estadual, com integração direta ao FEAAC e a mecanismos de comercialização, o que orienta a configuração do piloto.

6.2.10. ENCADEAMENTO COM O PLANEJAMENTO DE MIGRAÇÃO

Todos os passos aqui descritos utilizam o mesmo dicionário de campos, protocolo de eventos e semântica de estados do RECA-SE definitivo, permitindo migração por espelhamento e reconciliação sem refações estruturais. O período de convivência e os testes de consistência antecedem o congelamento do provisório e sua guarda para auditoria pública, como previsto no desenho deste Produto 5.3.

6.3. INTEROPERABILIDADE PLANEJADA COM SINARE E CERTIFICADORAS

A interoperabilidade do piloto é estruturada para que o fluxo “MRV → registro estadual → camada federal → certificadoras/mercado” preserve unicidade, sincronize estados contábeis e reduza custos de conformidade. O ponto de partida são as cinco funções do RECA-SE — registro/autenticação; verificação/rastreabilidade; transação/liquidação; interoperabilidade/compliance; transparência/controle social — e a sua arquitetura em três camadas (base de dados e registro; interoperabilidade; transparência e auditoria), que já foram formalizadas no Produto 5.2 e serão emuladas no piloto em escala mínima viável.

No eixo federal, a diretriz é operar desde a origem com um espelhamento técnico ao hub nacional, de forma que cada lote emitido no estado gere imediatamente um par “UUID estadual ↔ ID SINARE”, com sincronização de tipologia/metodologia (p.ex., VM0047), georreferenciamento e situação contábil (ativo, transferido, aposentado). A especificação contida no Produto 5.2 prevê API REST bidirecional para esse intercâmbio, incluindo o campo de “ajuste correspondente” quando houver transações internacionais

sujeitas ao Artigo 6.2. Esse protocolo é incorporado ao piloto como rotina automática pós-emissão, preservando o *namespac*e estadual como fonte de verdade e impedindo dupla contagem *(double claiming*) no plano nacional.

A transição normativa na esfera Federal, com a revogação do Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República pelo Decreto nº 11.550, de 2023, não altera a exigência de preparar interoperabilidade; ao contrário, orienta que programas subnacionais construam "trilhas de migração" tecnicamente sólidas até que a camada federal se estabilize.

O Produto 5.3 já sistematiza esse entendimento e o traduz em requisitos operacionais: padronização estadual de metadados e serialização; hospedagem governamental com assinatura digital e trilha de auditoria; cláusulas contratuais de migração/não-dupla-contagem; e alinhamento de formatos do MRV com metodologias reconhecidas (VM0047), diretrizes IPCC e princípios de integridade (ICVCM). No piloto, esses elementos são implementados como condições de emissão e de registro, de modo a permitir espelhamento imediato quando as interfaces federais forem disponibilizadas.

A compatibilização com certificadoras internacionais é tratada como continuidade lógica do registro. O dicionário de metadados especificado no Produto 5.2 (ISO 19115/JSON-LD) é o mesmo utilizado nas submissões a Verra/ART-TREES/Gold Standard: bioma; tipologia; localização; área certificada; período de verificação; volume em tCO_2e; certificadora; situação contábil; chaves de interoperabilidade; e apontadores persistentes para as evidências do MRV (séries NDVI, mapas anuais, plano amostral, inventários, planilhas de estimativa e propagação de incerteza). Assim, a peça técnica que sustenta a emissão no estado é a mesma peça usada na certificação, reduzindo risco de divergência entre "o que foi medido", "o que foi emitido" e "o que foi certificado"[35].

[35] Fontes: International Organization for Standardization (ISO, 2014), *ISO 19115: Geographic Information – Metadata*, Genebra; World Wide Web Consortium (W3C, 2023), *JSON-LD 1.1: A JSON-based Serialization for Linked Data*; Verra (2023), *VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation Methodology*, Washington, D.C.; Architecture for REDD+ Transactions (ART, 2024), *TREES Standard v2.0*, Nova York; Gold Standard Foundation (2024), *Land Use & Forests Requirements v1.3*, Genebra; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4*, Genebra.

Do ponto de vista tecnológico, o piloto replica a arquitetura de três camadas trazida pelo Produto 5.2: (i) base transacional para créditos, metadados e dossiês (PostgreSQL) com repositório distribuído para evidências (IPFS); (ii) camada de interoperabilidade com SINARE e registradores internacionais por APIs REST (JSON-LD, ISO 14064-3, OGC WMS/WFS) e contratos inteligentes para automatizar estados (emissão, transferência, aposentadoria); (iii) camada de transparência e auditoria com portal público, dashboards e logs imutáveis em blockchain permissionada. Essa arquitetura assegura hash por transação, imutabilidade de eventos e recomputação independente, e ancora a confiança de certificadoras e investidores.

Operacionalmente, a interoperabilidade é executada em quatro passos concatenados por ciclo de emissão. Na preparação, o dossiê técnico final (validação, verificação, estimativas estratificadas, incerteza propagada, evidências orbitais e de campo) é consolidado com metadados mandatórios e chaves de interoperabilidade preenchidas. Na emissão estadual, o lote é serializado (UUID por unidade) e o estado "emitido" é registrado com constituição automática do buffer metodológico, publicação do certificado e exposição do status em consulta pública. No espelhamento nacional, o serviço estadual envia o pacote mínimo (identificadores, metodologia, área, período, situação contábil) e recebe o ID nacional, que passa a compor o par espelhado. Na integração com certificadoras, o mesmo dossiê é submetido ao registrador correspondente, com reuso de objetos técnicos e vinculação explícita ao ID estadual e ao ID nacional, quando houver. Cada passo gera artefatos reprocessáveis que entram na trilha de auditoria do RECA-SE.

Para garantir consistência semântica entre camadas, o mapeamento de campos é definido no próprio dicionário do 5.2. No núcleo obrigatório, o "UUID" do crédito, o "Bioma", o "Tipo de projeto (ARR)", a "Localização (coordenadas e município)", a "Área certificada (ha)", o "Período de verificação (início–término)", o "Volume (tCO_2e)", a "Certificadora", a "Situação (ativo, transferido, aposentado)" e as chaves de interoperabilidade são mantidos com formatos e domínios explicitados; exemplos e padrões constam das tabelas do documento, incluindo a integração com séries NDVI e produtos MapBiomas/DETER para verificação cruzada. Esse mesmo esquema é consumido pelas APIs de interoperabilidade.

A governança digital descrita no Produto 5.2 é transplantada para o piloto com controles equivalentes: identidade federada e ICP-Brasil; hash SHA-256 por transação e assinatura digital tripla (proponente, verificador, gestor estadual); logs invioláveis;

auditoria independente periódica; LGPD e ISO 27001; backup e replicação geográfica. Além de proteger o sistema, esses controles são pré-requisito de aceitação por registradores e por auditorias de *due diligence*.

A integração com o mercado e com o FEAAC ocorre por API, de forma que eventos contábeis e financeiros reflitam o estado técnico do crédito. O Produto 5.2 especifica que o RECA-SE funciona como clearing estadual, com conexão direta ao FEAAC e a instrumentos de comercialização (leilão, marketplace, contratos), permitindo conciliação automática de receitas (p.ex., taxas de serviço) e de repartição de benefícios quando prevista. No piloto, a mesma lógica é aplicada: toda transferência válida dispara a atualização de titularidade no registro, a baixa ou bloqueio quando cabível e a reconciliação de valores na camada financeira administrada pela Desenvolve-SE.

Os instrumentos contratuais devem refletir a condição de transição federativa explicitada acima. Recomenda-se inserir nas minutas de ERPA/offtake, PSA e cooperação: cláusula de ajuste regulatório automático (conformidade com normas federais supervenientes de registro e reconhecimento de créditos, sem rediscutir o objeto); obrigação de re-registro no hub nacional tão logo tecnicamente disponível; hierarquia de dados que reconheça o registro estadual provisório como evidência primária de unicidade e cronologia até a migração; e compromisso de não-dupla-monetização, com declarações e indenidades. A referência contextual nos "considerandos" à revogação do Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República e à vigência do nº 11.550, de 2023 reduz risco interpretativo e alinha expectativas entre partes.

No plano dos dados, a preparação para interoperabilidade inclui também o alinhamento com sistemas federais de informação climática, mesmo que não sejam registros de créditos. Recomenda-se a compatibilidade taxonômica, espacial e temporal com o SIRENE (inventário nacional de emissões), pois isso facilita auditorias de consistência e eventual reconciliação contábil caso um hub federal venha a exigir conciliação com inventários oficiais. Para o piloto, isso significa publicar séries e metadados em padrões abertos, com identificadores persistentes, tal como já previsto no subsistema de dados e governança do MRV-SE.

Como resultado, a interoperabilidade deixa de ser uma promessa futura e passa a ser um procedimento diário: cada lote emitido já nasce com campos e artefatos prontos para espelhamento; cada transferência atualiza estados locais e externos; cada aposentadoria produz baixa sincronizada e registro público; e cada auditoria encontra, em

um único dossiê, tudo o que é necessário para recomputação. Essa abordagem reduz risco regulatório, melhora a bancabilidade e encurta prazos de diligência para compradores institucionais, como já mapeado no Produto 5.2 ao posicionar o RECA-SE como núcleo tecnológico e contábil do programa.

Para assegurar governança coerente, a integração institucional prevista no 5.2 — SEMAC como autoridade normativa e de integração federativa; Desenvolve-SE como administradora do registro e clearing; ITPS-SE como curador técnico; CEMAC e instâncias de controle social e científico como supervisores — é adotada no piloto sem reduções. Essa arrumação distribui funções e reduz pontos de falha, ao mesmo tempo em que mantém um caminho único de responsabilização.

Finalmente, os indicadores de interoperabilidade devem ser acompanhados desde o primeiro ciclo: proporção de lotes espelhados no hub federal; tempo médio de emissão-para-espelhamento; taxa de preenchimento de campos de interoperabilidade; incidência de flags de inconsistência entre estados estadual/federal; e número de submissões aceitas por certificadoras sem exigência de retrabalho técnico. Esses indicadores integram a camada de transparência do registro e serão insumo para decisões do CEMAC sobre ajustes de processo e de recurso.

6.4. TRANSPARÊNCIA PÚBLICA E ACESSO A DADOS

A transparência do piloto é concebida como parte inseparável do próprio MRV-SE e do proto-RECA-SE, não como um acessório de comunicação. O objetivo é que qualquer número publicado no certificado do crédito possa ser rastreado, verificado e, se necessário, recomputado por terceira parte independente, com documentação suficiente para auditoria técnica, jurídica e financeira. O Produto 5.2 já estabeleceu essa arquitetura de governo digital, ao definir a função de transparência e controle social do RECA-SE, os níveis de acesso e um conjunto mínimo de metadados por crédito compatíveis com padrões internacionais e com a futura integração ao SINARE.

O primeiro eixo de transparência consiste na publicidade integral do ciclo de vida dos créditos de carbono. Cada unidade emitida no piloto possui uma ficha pública que inclui, no mínimo: identificador único, bioma, tipologia metodológica, município, área certificada, período de verificação, data de emissão, volume em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e), certificadora adotada, situação contábil e chaves de interoperabilidade. Esses campos compõem o dicionário de metadados do Registro

Estadual de Créditos Ambientais de Sergipe (RECA-SE), estruturado segundo o padrão ISO 19115 e serializado em JSON-LD, garantindo interoperabilidade com sistemas externos de registro e certificação.

O Produto 5.2 define esse núcleo de metadados e estabelece sua integração direta com séries de NDVI e produtos de monitoramento do MapBiomas e do INPE/DETER, permitindo verificação cruzada de integridade ambiental. A adoção da norma ISO 19115-1 e suas extensões associadas não é apenas uma escolha técnica, mas estratégica: trata-se do padrão internacional mais consolidado para catalogação e intercâmbio de metadados geoespaciais, amplamente utilizado em sistemas de MRV e em certificações internacionais[36].

O segundo eixo é a exposição de evidências técnicas em ambiente reprodutível. Além do certificado, a página do lote aponta para conjuntos versionados de dados e documentos: séries mensalizadas de NDVI com documentação de pré-processamento, mapas anuais de uso e cobertura, plano amostral e shapefiles das parcelas, inventários de biomassa aérea e abaixo do solo, eventuais medições de carbono do solo, planilhas de cálculo do estimador estratificado com propagação de incertezas, protocolos QA/QC, relatórios de validação e verificação e a trilha completa de eventos que levaram à emissão, transferência e aposentadoria. O repositório mantém integridade por hashing, carimbo temporal e assinatura digital, como prescrito no desenho de segurança do RECA-SE, e preserva tanto os dados de entrada quanto os scripts e versões intermediárias, permitindo recomputação independente.

O terceiro eixo é a integração federativa e a prevenção de dupla contagem. A ficha pública do crédito traz, sempre que aplicável, o identificador correspondente no hub nacional, com espelhamento de situação contábil e indicação de eventual ajuste correspondente para transações internacionais. O Produto 5.2 descreve o protocolo de interoperabilidade que sincroniza identificadores, tipologia, georreferenciamento e estados, condição que evita o chamado “double claiming”(dupla contagem) e prepara conformidade com o Artigo 6.2. A transição regulatória brasileira, com a revogação do

[36] Fontes: International Organization for Standardization (ISO, 2014), *ISO 19115-1: Geographic Information — Metadata — Part 1: Fundamentals*; World Wide Web Consortium (W3C, 2023), *JSON-LD 1.1: A JSON-based Serialization for Linked Data*; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024), *DETER: Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real*, São José dos Campos; Projeto MapBiomas (2024), *Coleção 9: Metodologia de Classificação e Validação de Uso e Cobertura da Terra no Brasil*; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4*, Genebra.

Decreto nº 11.550, de 14 de junho de 2023 (Presidência da República), da Presidência da República e o redesenho da governança climática pelo Decreto nº 11.550, de 2023, reforça a necessidade de um trilho estadual padronizado e pronto para espelhamento quando as interfaces federais estiverem estabilizadas, sem abrir mão de transparência desde já.

Para que a transparência seja efetiva e verificável, o projeto piloto estabelece um calendário público de divulgação e uma política de governança de dados. O registro estadual atualiza, em quase tempo real, o status de emissão, transferência e aposentadoria de créditos, e publica mensalmente painéis dinâmicos com séries históricas de monitoramento, reporte e verificação (MRV). Esses painéis incluem estatísticas de NDVI por estrato e zona, identificação de anomalias sazonais, alertas de queda abrupta e detecção de distúrbios. Todos os produtos orbitais são processados mediante metodologia explicitamente documentada. As séries de NDVI são derivadas do Sentinel-2, com correção atmosférica padronizada, máscara de nuvens e composição mensal por mediana. Índices complementares — como o Enhanced Vegetation Index (EVI) e o *Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)* — são empregados em análises de sensibilidade. A detecção de queimadas utiliza dados de focos de calor e cicatrizes, enquanto sinais de degradação são cruzados com os sistemas DETER e DETER Não Floresta, integrados às camadas públicas do portal TerraBrasilis[37].

A qualidade informacional é explicitamente mensurada. O portal público exibe indicadores de integridade do registro, previstos no Produto 5.2, como preenchimento de metadados obrigatórios por lote, tempo entre homologação e emissão, taxa de reconciliação com o SINARE, proporção de transferências com documentação completa, volume aposentado por finalidade e taxa de resolução de flags de auditoria. Tais métricas acompanham o desempenho do sistema e sinalizam, para gestores e para o CEMAC, a necessidade de ajuste em processos ou recursos.

O desenho do módulo de dados abertos segue as melhores práticas internacionais de registros climáticos. A experiência europeia demonstra que a transparência detalhada

[37] Fontes: Agência Espacial Europeia (ESA, 2024), *Sentinel-2 Level-2A Atmospheric Correction and Cloud Masking Guide*; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024), *DETER e TerraBrasilis: Sistemas de Detecção de Desmatamento em Tempo Real*, São José dos Campos; NASA (2023), *MODIS Vegetation Indices User Guide (NDVI, EVI, SAVI)*, Goddard Space Flight Center; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4*, Genebra.

sobre estados contábeis e volumes agregados aumenta a confiança pública, como exemplificado pelo EU ETS *Data Viewer*, alimentado pelo *Union Registry* da União Europeia, que permite rastrear emissões, alocações e transações por país, setor e período.

O piloto adota esse princípio ao disponibilizar séries por município, bioma e tipologia, bem como volumes emitidos, aposentados e histórico de operações por intervalos definidos, respeitando as salvaguardas de sigilo previstas em norma. Na América Latina, a experiência do *Registro Nacional de Reducciones de Emisiones (RENARE)*, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Colômbia, comprova a relevância de um repositório público que consolide projetos, medições e contabilidade compatível com as metas nacionais de mitigação. Essa referência justifica a aderência do piloto sergipano a padrões interoperáveis, que facilitem o espelhamento e a integração com sistemas internacionais de rastreabilidade de créditos[38].

Do ponto de vista técnico, o módulo de dados abertos do piloto utiliza formatos padronizados e compatíveis com o ecossistema de dados empregado por instituições de pesquisa, órgãos ambientais e instâncias de controle. Para dados matriciais (*rasters*), adota-se o formato GeoTIFF com metadados completos; para dados vetoriais, os formatos GeoPackage e *Shapefile*, ambos com projeções métricas adequadas (SIRGAS 2000 / UTM). As bases tabulares são disponibilizadas em CSV acompanhadas de dicionários de variáveis e códigos controlados. As interfaces de consulta seguem os padrões do *Open Geospatial Consortium (OGC)*, implementando WMS (Web Map Service) e WFS (Web Feature Service) para camadas geográficas, além de *endpoints* REST para consultas tabulares e integrações automatizadas. Os metadados são publicados segundo as normas ISO 19115-1 e ISO 19115-2, que tratam de descrições de dados geoespaciais e produtos derivados (imagens e grids), e são espelhados em catálogo pesquisável. A serialização dos registros em XML e JSON segue o perfil ISO 19139, garantindo interoperabilidade com catálogos nacionais e internacionais[39].

---

[38] Fontes: European Environment Agency (EEA, 2024), *EU Emissions Trading System (EU ETS) Data Viewer*, disponível em: https://www.eea.europa.eu; European Commission (2024), *Union Registry – Transparency and Public Access to EU ETS Data*, Bruxelas; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2024), *Registro Nacional de Reducciones de Emisiones (RENARE)*, disponível em: https://minambiente.gov.co

[39] Fontes: International Organization for Standardization (ISO, 2014), *ISO 19115-1: Geographic Information — Metadata — Part 1: Fundamentals*; International Organization for Standardization (ISO, 2019), *ISO 19115-2: Geographic Information — Metadata — Part 2: Extensions for Acquisition and Processing*; International Organization for Standardization (ISO, 2007), *ISO 19139: Geographic*

A documentação metodológica é tratada como dado primário e tem regras de versionamento. Notas técnicas explicam as escolhas de equações alométricas, frações de carbono, razões raiz-parte aérea, uso de ESM para carbono do solo e fórmulas de variância estratificada, com citação das fontes e registros de calibração local. Esse corpo documental é repositado com DOI institucional ou identificador persistente equivalente e integra a trilha de auditoria do RECA-SE. A cada atualização anual, conjuntos são congelados, com hash e carimbo temporal, para permitir verificações retrospectivas por por auditorias acadêmicas independentes.

Para manter a integridade entre registro contábil e mensuração técnica, ocorrem reconciliações automatizadas entre camadas de dados e transações. Toda emissão, transferência ou aposentadoria consulta a consistência de vínculos com o dossiê técnico, e eventos financeiros associados são conciliados com o FEAAC, conforme especificado no Produto 5.2. Esse acoplamento permite que relatórios públicos incluam, além de indicadores ambientais, demonstrativos financeiros agregados por período, com metodologia de cálculo, base legal e trilhas de auditoria.

A política de acesso equilibra transparência e proteção de dados. Informações que identifiquem diretamente proprietários privados, coordenadas exatas de parcelas permanentes, dados pessoais e cláusulas comerciais estratégicas permanecem sob controle de acesso, com generalização espacial, janelamento temporal e mascaramento de identificadores na publicação pública. O modelo de papéis e permissões do Produto 5.2 é aplicado no piloto, com três níveis: público geral, operadores autorizados e gestores públicos. A curadoria técnica é do ITPS-SE; a política de acesso e de transparência é estabelecida pela SEMAC; a operação transacional é da Desenvolve-SE; e a supervisão social é do CEMAC.

A transparência do piloto abrange também as etapas de validação e verificação. O relatório do verificador independente, elaborado conforme os princípios e requisitos da norma ISO 14064-3, é disponibilizado integralmente, incluindo eventuais ressalvas, recomendações e as respostas formais do proponente e das instâncias estaduais competentes quando ajustes são solicitados.

Information — Metadata — XML Schema Implementation; Open Geospatial Consortium (OGC, 2024), *WMS and WFS Implementation Standards*; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), *Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000*.

A aplicação da ISO 14064-3 assegura conformidade com padrões internacionalmente reconhecidos para verificação e validação de declarações de gases de efeito estufa (GEE), garantindo credibilidade técnica e compatibilidade com certificadoras e investidores institucionais. Complementarmente, o piloto institui um mecanismo de auditoria cruzada acadêmica, conduzida por instituições de pesquisa independentes, com base em subamostras aleatórias. Essa auditoria replica medições e processos de cálculo, avaliando consistência e precisão dos resultados, e publica relatório técnico com achados e recomendações. O procedimento reforça a integridade metodológica do sistema e se alinha às diretrizes do *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM)* para fortalecimento da confiança no mercado voluntário de carbono[40].

As séries de sensoriamento remoto empregadas pelo MRV-SE são integralmente documentadas, assegurando rastreabilidade e transparência metodológica. No caso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), são explicitados os sensores utilizados (Sentinel-2 MSI e Landsat-8/9 OLI), as bandas espectrais aplicadas, os métodos de correção atmosférica, as máscaras de nuvem, os filtros de ruído e a composição temporal adotada (média ou mediana mensal).

As séries derivadas do MapBiomas têm suas coleções identificadas por versão e ano, com descrição das classes de uso e cobertura da terra, métricas de acurácia, matriz de transições e indicadores por bioma, todas acessíveis por links persistentes e kits de reprodução via Google Earth Engine. Para os sistemas DETER e DETER Não Floresta, são disponibilizados metadados sobre classes detectadas, periodicidade de atualização, limitações de sensoriamento e instruções de acesso às camadas e painéis do TerraBrasilis**,** o que permite verificações cruzadas e auditorias independentes. Essa estrutura de documentação reforça a comparabilidade interinstitucional e a aderência às boas práticas de transparência do IPCC[41].

---

[40] Fontes: International Organization for Standardization (ISO, 2019), *ISO 14064-3: Greenhouse Gases — Part 3: Specification with Guidance for the Verification and Validation of Greenhouse Gas Statements*, Genebra; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2024), *Core Carbon Principles and Assessment Framework*, Londres; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 1: General Guidance and Reporting*, Genebra.

[41] Fontes: MapBiomas Brasil (2024), *Coleção 9 – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*, disponível em: https://mapbiomas.org; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024), *Sistemas DETER e DETER-Não Floresta – TerraBrasilis Platform*, disponível em:

No plano contratual, a transparência é incorporada como obrigação de desempenho. Minutas de ERPA e instrumentos com o setor privado incluem cláusulas de reporte em padrões abertos, autorização de publicação de metadados não sensíveis e compromisso com não dupla monetização. O cumprimento dessas obrigações é atestado por eventos no RECA-SE e reflete-se na elegibilidade de novos lotes para emissão e comercialização.

A concepção dos requisitos de publicação do piloto foi inspirada nas melhores práticas internacionais de registradores e nas recomendações de organismos dedicados à integridade de mercado. O *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM)* estabelece transparência, rastreabilidade e governança como pilares fundamentais para a credibilidade e a confiança no mercado voluntário de carbono. A trajetória do *Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM)* também evidenciou a importância de metadados comparáveis, infraestrutura padronizada de dados e regras claras de interoperabilidade para reduzir custos de *due diligence*, ampliar a liquidez e garantir integridade ambiental. Nesse sentido, o desenho do piloto estadual incorpora tais diretrizes ao estruturar metadados harmonizados, registros públicos de estados contábeis, vínculos diretos a dossiês técnicos reproduzíveis e painéis de transparência acessíveis em tempo quase real, fortalecendo a confiança dos investidores e a compatibilidade com padrões globais de mercado.

A governança digital da transparência depende de segurança da informação. O Produto 5.2 especifica autenticação com identidade federada e ICP-Brasil, criptografia em trânsito e repouso, logs invioláveis, auditoria independente periódica, cumprimento de LGPD e redundância geográfica. No piloto, esses controles são adotados integralmente e complementados por testes de carga e de resiliência, planos de continuidade e exercício de recuperação. Isso credencia o portal e o registro aos olhos de verificadores, certificadoras e investidores[42].

https://terrabrasilis.dpi.inpe.br; European Space Agency (ESA, 2023), *Sentinel-2 User Handbook*; U.S. Geological Survey (USGS, 2024), *Landsat 8–9 OLI/TIRS Collection 2 Level-2 Data Products*.

[42] Fontes: Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2024), *Core Carbon Principles and Assessment Framework*, Londres; Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM, 2021), *Final Report: Phase II – Scaling Voluntary Carbon Markets to Achieve Net Zero*, Institute of International Finance (IIF), Washington, D.C.; World Bank (2023), *State and Trends of Carbon Pricing 2023*, Washington, D.C.; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 1: General Guidance and Reporting*.

Para tornar a transparência útil ao gestor público, o portal opera com indicadores de processo e de resultado integrados ao cronograma do piloto. Entre os indicadores, tempo médio de publicação de certificados após verificação, taxa de atualização mensal das séries de MRV, proporção de lotes com metadados completos, tempo de reconciliação com o SINARE, taxa de resolução de flags, participação do FEAAC nas receitas de transações e percentual de repasses vinculados a PSA e repartição de benefícios. Os dados alimentam relatórios trimestrais ao CEMAC e ao Comitê Gestor do FEAAC e orientam decisões de ajuste metodológico e orçamentário.

A adoção de práticas de dados abertos não elimina o cuidado com sensibilidade informacional. O piloto estabelece rotinas de anonimização e generalização espacial em itens que envolvam pessoas, contratos ou coordenadas de parcelas, e de embargo temporário em dados que, se publicados de imediato, possam induzir comportamentos oportunistas adversos à integridade do projeto. O catálogo registra tais embargos com justificativa, prazo e marco de liberação, garantindo previsibilidade ao controle social.

O ecossistema de transparência inclui, ainda, documentação para desenvolvedores. As APIs públicas contam com especificações e exemplos e expõem endpoints para busca de créditos, consulta de lotes, obtenção de séries agregadas por município e por estrato-zona e recuperação de metadados completos. O Produto 5.2 prevê a camada de interoperabilidade com serviços REST e OGC; o piloto fornece kits de cliente e notebooks exemplificativos para Python e R, de modo a facilitar auditoria externa e reuso por pesquisadores e imprensa.

O arranjo de transparência dialoga com a estratégia de comunicação com compradores institucionais. *Due diligence* é acelerada quando o registrador oferece campos harmonizados, vínculos estáveis às evidências de MRV e um histórico de eventos imutável. A trajetória recente do mercado voluntário, com programas de crédito submetidos a avaliações de integridade e a etiquetagem segundo os *Core Carbon Principles*, indica que iniciativas que publicam metodologias, dados e verificações com rigor tendem a reduzir assimetria informacional e custo de capital. O piloto incorpora esses elementos, visando credenciamento por certificadoras aceitas e alinhamento a princípios de integridade.

Por fim, a transparência não se limita ao período de vigência do piloto. O planejamento de migração para o RECA-SE definitivo prevê espelhamento integral de metadados, dossiês técnicos, eventos e indicadores, com testes de consistência, período

de convivência e arquivamento do provisório para consulta pública. Esse desenho evita refações, assegura continuidade do acesso à informação e sustenta escalabilidade.

Com esses elementos, a subseção especifica o que será efetivamente publicado, em quais formatos e com que garantias de integridade, como os dados serão versionados e auditados, de que maneira se dará a reconciliação com o SINARE e como o público poderá acompanhar desempenho ambiental e financeiro do piloto. A proposta atende ao padrão de profundidade do documento, preserva a fluidez e traduz a diretriz de produzir um passo a passo operacional para um piloto auditável, bancável e replicável.

7. ESTRUTURA DE FINANCIAMENTO DO PILOTO

Este Capítulo define a arquitetura de financiamento do piloto de caatinga e a sua integração operacional com o MRV-SE e com o proto-RECA-SE. A prioridade é viabilizar, com governança pública e requisitos de bancabilidade, a sequência que transforma remoções mensuradas em fluxos financeiros rastreáveis, conciliando fontes públicas e privadas e preservando a integridade ambiental e contábil. O arranjo considera três camadas complementares.

A primeira é a camada orçamentária e fiduciária do Estado, centrada no Fundo Especial de Apoio à Ação Climática, que recebe, administra e aloca recursos afetados a resultados e salvaguardas. A segunda é a camada de financiamento externo e catalítico, que combina instrumentos reembolsáveis e não reembolsáveis de bancos públicos e de cooperação internacional com compromissos privados de compra futura. A terceira é a camada contratual de desempenho, que liga desembolsos a marcos de MRV e a eventos no registro, reduzindo risco para financiadores, verificadores e compradores.

7.1. FEAAC: FONTES, ALOCAÇÃO E GOVERNANÇA FINANCEIRA

O papel do FEAAC no piloto é o de nó fiduciário que conecta mensuração técnica, registro contábil e execução financeira. O fundo reúne receitas próprias e carimbadas do programa climático estadual e opera contas vinculadas a resultados, inclusive a constituição de buffers de risco e a repartição de benefícios.

Na fase piloto, o FEAAC deve atuar com desenho mínimo que já comporte: recebimento de receitas atreladas a créditos emitidos e transacionados; desembolsos por resultado para o desenvolvedor contratado, para serviços de verificação e para ações de

manutenção e proteção da área; provisões para contingências e reversões; e transparência financeira compatível com auditoria independente.

7.1.1. FONTES DE RECURSOS.

A composição de receitas do FEAAC inclui quatro grupos. O primeiro, agrupa receitas públicas diretamente dedicadas à agenda climática, como dotações orçamentárias e eventuais transferências intergovernamentais. O segundo, compreende ingressos de taxas de serviço e de custódia associados a eventos de emissão e de transferência registrados no proto-RECA-SE. O terceiro, reúne receitas privadas derivadas de contratos de compra futura ou de leilões estaduais, sempre com reconciliação entre unidade contábil e lastro técnico. O quarto, compreende ingressos catalíticos de programas nacionais e internacionais de financiamento climático, com destaque para linhas reembolsáveis e não reembolsáveis.

No contexto brasileiro recente, o Programa Fundo Clima do BNDES, que operacionaliza a parcela reembolsável do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, oferece linhas com foco em mitigação e adaptação e já opera com rede de agentes financeiros credenciados, com critérios e tetos definidos em norma específica. Essas linhas foram reativadas e ampliadas desde 2023, com anúncios de novos volumes e prioridades setoriais, e são elegíveis como capital de giro e investimento em cadeias de restauração e em ativos habilitadores de MRV e logística, desde que enquadrados em seu regulamento[43].

No Nordeste semiárido, o Banco do Nordeste opera o FNE Verde, linha de investimento que financia recuperação ambiental, convivência com o semiárido, energias renováveis e redução de emissões. Embora não seja desenho específico para créditos de carbono, é compatível com ativos e serviços necessários ao piloto, como viveiros, cercamentos, manejo e patrulhamento, desde que observadas as regras de licenciamento e a inexistência de supressão de vegetação nativa. A articulação entre FEAAC e FNE

[43] Fontes: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2024), *Programa Fundo Clima – Linhas de Financiamento Reembolsável e Não Reembolsável*, disponível em: https://www.bndes.gov.br; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA, 2024), *Fundo Nacional sobre Mudança do Clima – Relatórios e Regulamentos*, Brasília; Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2023), *Climate Finance Provided and Mobilised by Developed Countries in 2013–2021*, Paris; Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID, 2023), *Green Financing Opportunities in Brazil's Climate Transition*, Washington, D.C.; Banco Mundial (2023), *Climate Investment Funds – Annual Report 2023*, Washington, D.C.

Verde permite alavancar capital reembolsável para CAPEX e OPEX elegíveis, preservando no fundo estadual os ingressos vinculados ao desempenho climático e à integridade do registro[44].

Além dos instrumentos nacionais, a estratégia deve incorporar fontes internacionais de financiamento climático e mecanismos de pagamento por resultado. O Green Climate Fund (GCF) mantém janelas específicas para programas jurisdicionais de REDD+ e para iniciativas de mitigação com monitoramento e verificação independentes, que podem apoiar financeiramente arranjos estaduais desde que observem salvaguardas socioambientais e padrões de transparência.

A coalizão LEAF, vinculada à Iniciativa Internacional para o Clima e as Florestas da Noruega (NICFI), opera contratos jurisdicionais com preço mínimo garantido por tonelada de CO_2e e critérios rigorosos de adicionalidade, dupla contagem e repartição de benefícios, seguindo o padrão ART-TREES. A experiência recente demonstra pagamentos na ordem de dez dólares por tonelada e desembolsos condicionados à validação por entidades financeiras designadas, com trilhas contábeis auditáveis. Assim, recomenda-se que o FEAAC mantenha estrutura contábil compatível com esses fluxos, garantindo segregação de fontes e rastreabilidade integral de uso dos recursos[45].

A elegibilidade dos créditos gerados pelo piloto perante compradores institucionais depende do alinhamento a padrões de integridade amplamente reconhecidos no mercado internacional. O Conselho de Integridade para o Mercado Voluntário de Carbono (ICVCM) estabeleceu os *Core Carbon Principles* (CCPs) e

[44] Fontes: Banco do Nordeste do Brasil (BNB, 2024), *FNE Verde – Programa de Financiamento para Empreendimentos Sustentáveis*, disponível em: https://www.bnb.gov.br; Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR, 2023), *Política Nacional de Desenvolvimento Regional e Linhas de Financiamento do FNE*, Brasília; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2024), *Relatório de Operações Verdes e Sustentáveis*, Rio de Janeiro; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA, 2024), *Financiamento Climático e Programas de Apoio à Restauração Ecológica*, Brasília; Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID, 2023), *Green Recovery and Climate-Resilient Investment in Brazil's Semi-Arid Region*, Washington, D.C.

[45] Fontes: Green Climate Fund (GCF, 2024), *Results-Based Payments and Subnational Climate Windows*, Incheon; Architecture for REDD+ Transactions (ART, 2023), *TREES Standard Version 2.0*, Arlington; Lowering Emissions by Accelerating Forest Finance (LEAF, 2024), *Jurisdictional Purchase Agreements and Integrity Framework*, Nova York; Iniciativa Internacional de Clima e Florestas da Noruega (NICFI, 2024), *Annual Report 2023–2024*, Oslo; Banco Mundial (2023), *Results-Based Climate Finance for Forests: Lessons from Global Partnerships*, Washington, D.C.

implementou um sistema de avaliação de programas e categorias de crédito com base em critérios de transparência, adicionalidade, permanência e governança.

Entre 2024 e 2025, o conselho consolidou procedimentos para etiquetagem de créditos compatíveis com o Artigo 6 do Acordo de Paris, ampliando a aceitação junto a investidores institucionais e fundos ESG. Paralelamente, certificadoras como a Architecture for REDD+ Transactions (ART-TREES) e o Gold Standard vêm aprimorando mecanismos de rastreabilidade, autorizações e ajustes correspondentes em seus registros digitais, assegurando integridade contábil e compatibilidade com sistemas jurisdicionais. A estrutura normativa do FEAAC deve, portanto, incorporar essas diretrizes, com cláusulas explícitas sobre não dupla contagem, rastreabilidade e destinação de receitas climáticas[46].

Alocação e contas vinculadas. A estrutura do FEAAC para o piloto organiza os recursos em contas finalísticas e contas técnicas. As finalísticas cobrem custos diretos de restauração e manejo, logística e proteção da área, contratos com desenvolvedor e verificações independentes. As técnicas incluem três reservas: buffer de risco ambiental e de permanência, contingência para retificações e reversões, e reserva para salvaguardas e repartição de benefícios.

O buffer é constituído automaticamente no ato de emissão, por percentual do volume bruto emitido, refletindo a incerteza residual e o risco de reversões. A reserva de retificações e contingências dá liquidez a ajustes exigidos por verificadores ou por interoperabilidade com o hub nacional, evitando a necessidade de desfazer operações comerciais já realizadas. A conta de salvaguardas e repartição de benefícios executa pagamentos de PSA e de benefícios conforme regras do piloto, com trilha documental e cruzamento com o registro. Em todas essas contas, a regra é que as saídas estejam condicionadas a eventos no proto-RECA-SE e a marcos do MRV-SE, com dupla checagem técnica e financeira.

[46] *Principles and Assessment Framework*, Londres; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2025), *Programme-Level Assessment and Labelling Procedures*, Londres; Architecture for REDD+ Transactions (ART, 2023), *TREES Standard Version 2.0*, Arlington; Gold Standard Foundation (2024), *Digital Registry and Article 6 Readiness Framework*, Genebra; United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 2023), *Article 6 Implementation Guidance*, Bonn.

7.1.2. GOVERNANÇA FINANCEIRA E SEGREGAÇÃO DE FUNÇÕES.

A SEMAC define a política de uso do FEAAC para o piloto, estabelece diretrizes de transparência e supervisiona o cumprimento de salvaguardas e de repartição de benefícios. A Desenvolve-SE executa a administração fiduciária do fundo, opera as rotinas de liquidação e conciliação e mantém os contratos com agentes financeiros e verificadores. O ITPS-SE fornece os atestados técnicos que condicionam desembolsos, inclusive relatórios de verificação de marcos e notas técnicas de mensuração que sustentam a elegibilidade de pagamentos por resultado. O CEMAC acompanha, em base trimestral, a execução, indicadores e riscos. Essa segregação evita conflitos, preserva o escrutínio técnico sobre marcos e alinha a execução financeira com a integridade do MRV.

Desembolsos por resultado e gatilhos. A regra operacional do FEAAC no piloto é desembolsar contra eventos verificáveis e sincronizados com o registro. Exemplo de encadeamento:

i) Fase 1, implantação: desembolso de instalação mediante entrega de plano operacional aprovado, comprovação de mobilização de contrapartidas reembolsáveis e instalação de marcos mínimos de controle e proteção, como cercamentos e aceiros, com verificação de campo amostral.

ii) Fase 2, monitoramento antecipado: desembolso proporcional condicionado ao cumprimento do plano anual e à entrega de evidências intermediárias, como séries NDVI sem sinais de degradação em estratos críticos e taxa de sobrevivência mínima de plantios quando aplicável.

iii) Fase 3, emissão: liquidação do componente variável por toneladas elegíveis efetivamente emitidas, deduzidos os descontos de incerteza e buffer.

iv) Fase 4, transação: quando houver transferência a comprador, parcela adicional associada a metas de repartição de benefícios e a obrigações de transparência, como publicação tempestiva de dados e relatórios.

Em todas as fases, a documentação e os dados são reconciliados com o proto-RECA-SE e carimbados com identificadores persistentes, preservando a trilha de auditoria.

A integração entre o FEAAC e instrumentos financeiros reembolsáveis é fundamental para reduzir o custo de capital e mitigar restrições de fluxo de caixa nas fases iniciais do projeto. O arranjo ideal combina o FEAAC como fonte de pagamentos por desempenho e cobertura de componentes de risco, com uma linha reembolsável destinada ao financiamento de investimentos elegíveis e capital de giro até a primeira emissão de créditos.

No Brasil, o Programa Fundo Clima, operado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), oferece condições favoráveis para projetos de mitigação e adaptação, incluindo aquisição de equipamentos, implantação de infraestrutura e tecnologias de baixo carbono, conforme resoluções normativas vigentes e execução via agentes financeiros credenciados. Paralelamente, o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE Verde), administrado pelo Banco do Nordeste, dispõe de crédito para investimentos em energias renováveis, recuperação ambiental e manejo sustentável, alinhados à lógica de convivência com o semiárido. A articulação dessas fontes permite antecipar a execução de marcos do piloto e reduzir o custo médio ponderado de capital, mantendo sob o FEAAC a governança sobre buffers, salvaguardas e regras de repartição de benefícios[47].

Os programas brasileiros de pagamento por resultado, especialmente os vinculados a iniciativas jurisdicionais de REDD+, fornecem diretrizes relevantes para o desenho fiduciário e institucional do piloto. Experiências como o *REM Acre* e o *REM Mato Grosso*, financiadas por cooperação internacional e executadas por meio de gestores como o Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio) e a Fundação Amazônia Sustentável (FAS), adotaram estruturas robustas de governança, planos de repartição de benefícios e salvaguardas socioambientais alinhadas a padrões internacionais.

No caso do Mato Grosso, os relatórios públicos do programa indicam que a primeira fase distribuiu recursos com base em métricas verificadas de redução de desmatamento, por meio de subprogramas temáticos voltados a povos indígenas,

[47] Fontes: *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2024), Programa Fundo Clima – Manual de Crédito e Condições Operacionais, Rio de Janeiro; Banco do Nordeste do Brasil (BNB, 2024), FNE Verde – Regulamento e Condições de Financiamento, Fortaleza; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA, 2024), Diretrizes Nacionais de Financiamento Climático; Conselho Monetário Nacional (CMN, 2023), Resolução nº 5.112 – Fundos Constitucionais de Financiamento Regional*

agricultura familiar e comando e controle, com resultados positivos em transparência e desempenho.

Missões de avaliação entre 2023 e 2025 reforçaram a importância da rastreabilidade financeira e da governança multissetorial. Por outro lado, debates recentes sobre controvérsias em contratos jurisdicionais de venda antecipada de créditos apontam a necessidade de salvaguardas jurídicas e de consultas adequadas às comunidades beneficiárias. Incorporar essas lições ao FEAAC significa fortalecer a arquitetura do fundo com mecanismos de reconciliação pública, rotas de retificação e cláusulas contratuais que assegurem integridade e credibilidade de longo prazo[48].

A dinâmica recente do mercado de carbono revela um movimento crescente de compradores corporativos — nacionais e internacionais — interessados em créditos de restauração com alto grau de integridade e rastreabilidade. No Brasil, empresas estatais e bancos públicos têm demonstrado interesse em contratos de compra antecipada (*offtake agreements*) e em instrumentos financeiros híbridos que combinam crédito e aquisição futura, criando uma base de demanda estável e contribuindo para reduzir o risco de contraparte de pequenos e médios desenvolvedores.

Em paralelo, as operações no mercado voluntário que adotam padrões reconhecidos de integridade e etiquetagem sob o Artigo 6 do Acordo de Paris vêm ampliando a liquidez e a previsibilidade de preços. O FEAAC, nesse contexto, deve estruturar mecanismos de custódia de garantias, registro formal de contratos e liquidação sincronizada com o sistema de registro estadual, assegurando correspondência entre a contabilidade de créditos e os fluxos financeiros, além de prevenir riscos de descompasso operacional ou duplicidade[49].

---

[48] Fontes: *Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA-MT, 2024), Programa REM MT – Relatórios de Execução e Missões de Avaliação, Cuiabá; Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio, 2023), Relatório de Gestão REM Brasil; Fundação Amazônia Sustentável (FAS, 2023), Programa REM Acre – Relatório Final de Fase I; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA, 2024), Diretrizes para Pagamentos por Resultados em REDD+; Banco Mundial (2023), REDD+ Results-Based Payments – Lessons Learned from Jurisdictional Programs in Latin America.*

[49] Fontes: *Reuters (2024), "Corporate Buyers Turn to High-Integrity Forest Carbon Credits amid Compliance Shifts", Londres; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2024), Estruturação de Contratos de Offtake e Financiamento Verde, Rio de Janeiro; International Carbon Action Partnership (ICAP, 2023), Voluntary Carbon Market Developments in Emerging Economies; Ministério da Fazenda (2024), Estratégia Nacional de Precificação de Carbono – Relatório Técnico Preliminar.*

7.1.3. POLÍTICAS DE RISCO E SALVAGUARDAS FINANCEIRAS.

A política de risco do FEAAC para o piloto estabelece limites e respostas para quatro classes. Risco de execução técnica é mitigado por desembolso por marcos e por auditoria independente. Risco de mercado é mitigado por ERPA com cláusulas de quantidade e preço e por estrutura de leilão estadual que descubra preços e diversifique compradores. Risco jurídico-regulatório é mitigado por conformidade com a legislação estadual e federal, por pareceres e por cláusulas de ajuste regulatório automático. Risco socioambiental é mitigado por execução de CLPI quando aplicável, por monitoramento de salvaguardas e por reserva financeira específica. Para reversões ambientais, o buffer de risco metodológico é complementado por reserva financeira de resposta a eventos extremos, com acionamento condicionado a verificação de perdas e a plano de recomposição.

A governança do FEAAC adota uma estrutura de prestação de contas que espelha o modelo de dados do registro estadual de créditos de carbono. Cada movimentação financeira é associada a um evento do ciclo de vida do crédito — como emissão, transferência, aposentadoria ou pagamento por resultado — e a um identificador único de lote. Os relatórios trimestrais apresentam, de forma reconciliada, a origem e aplicação dos recursos por fonte, execução por subconta, posição de reservas e correspondência com os registros no proto-RECA-SE.

Para garantir transparência, painéis públicos divulgam, com defasagem compatível com o fechamento contábil, as receitas por tipo de operação, a repartição de benefícios e os gastos elegíveis, preservando a confidencialidade comercial e a proteção de dados pessoais. Essa prática é alinhada aos princípios de integridade estabelecidos por organismos internacionais e às funcionalidades de registradores modernos, que vinculam autorizações e ajustes correspondentes a cada unidade de crédito, facilitando processos de *due diligence* e auditoria independente[50].

O arranjo jurídico-contratual prevê que os contratos firmados sob o FEAAC sejam padronizados para assegurar clareza, rastreabilidade e integridade. Os contratos

[50] Fontes: *Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM, 2023), Core Carbon Principles and Assessment Framework, Londres; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2024), Transparency and Disclosure Requirements for Credit Registries, Genebra; Ministério da Fazenda (2024), Estratégia Nacional de Precificação de Carbono – Relatório Técnico; Banco Mundial (2023), Best Practices for Carbon Market Governance and Financial Traceability.*

com o desenvolvedor incluem matriz com marcos, indicadores e gatilhos de desembolso, além de cláusulas de auditoria, acesso a dados, penalidades por descumprimento e rescisão por falha técnica material. Os contratos com verificadores definem escopo, padrões de verificação e prazos, bem como obrigação de transparência nos relatórios emitidos. Os contratos de compra futura de créditos estabelecem volumes esperados por janela temporal, regras de entrega baseadas em créditos efetivamente emitidos e etiquetados, limites de variação, preços e condições resolutivas vinculadas à integridade e às salvaguardas. Todas as minutas fazem referência à interoperabilidade com o sistema nacional de registro, à proibição de dupla contagem e à publicação dos elementos essenciais do certificado, alinhando-se aos requisitos emergentes de padrões internacionais e das expectativas dos compradores institucionais[51].

7.1.4. INTEGRAÇÃO COM PLANEJAMENTO ORÇAMENTÁRIO.

Ainda na fase piloto, o FEAAC deve espelhar o plano plurianual de desembolsos e de receitas projetadas, com cenários de preço do carbono, cronogramas de emissão e sensibilidade a atrasos de verificação. O objetivo é evitar hiatos de caixa e desenhar buffers financeiros que cubram variações de preço e de tempo. A coexistência de recursos reembolsáveis e por resultado requer segregação contábil e gestão de risco de taxa, sobretudo se parte do CAPEX vier de linhas com indexadores específicos. O comitê gestor do fundo avalia, em base semestral, a suficiência das reservas e a necessidade de ajustes nos percentuais de buffer, de taxas de serviço e de repartição de benefícios, com base em evidências do MRV e em performance de mercado.

Com este desenho, o FEAAC cumpre a função de ancoragem fiduciária do piloto: concentra fontes, condiciona saídas a integridade mensurada, mantém reservas técnicas e de salvaguardas, e se acopla a instrumentos públicos e privados para reduzir o custo de capital e o risco de contraparte. O resultado é um caminho financeiro que acompanha o caminho técnico do crédito, com governança compatível com padrões de integridade reconhecidos e com práticas nacionais de financiamento climático.

[51] Fontes: Gold Standard for the Global Goals – Certification Process Step-by-Step (2024) e Gold Standard – Requirements for Methodology Development (2024).

7.2. *BLENDED FINANCE*: COOPERAÇÃO INTERNACIONAL, BNDES/BNB E RECURSOS PRIVADOS

A arquitetura de *blended finance* (finanças combinadas) do piloto combina capital público concessional, crédito reembolsável de bancos de fomento e compromissos privados de compra ou investimento para reduzir o custo ponderado de capital e distribuir riscos de execução, mercado e regulação. O desenho parte de um princípio operativo: cada real comprometido deve estar ancorado em eventos mensuráveis do MRV-SE e refletido no proto-RECA-SE, de modo que a liquidação financeira acompanhe o ciclo técnico do crédito. Nessa lógica, o FEAAC funciona como nó fiduciário e de governança, enquanto BNDES e BNB ampliam a capacidade de investimento elegível e os parceiros internacionais agregam pagamentos por resultado e sinal de preço em contratos de *offtake*.(contrato de compra antecipada).[52]

O pilar doméstico de crédito reembolsável utiliza o Programa Fundo Clima, operacionalizado pelo BNDES, que retomou escala com contrato governamental firmado em 1º de abril de 2024 para execução de até R$ 10,4 bilhões em financiamentos de mitigação e adaptação por linhas setoriais, alimentado inclusive por títulos soberanos sustentáveis emitidos pelo Tesouro em 2023. Em 2025, o Comitê Gestor aprovou um plano anual de R$ 11,2 bilhões para operações reembolsáveis e não reembolsáveis, com ênfase em florestas nativas, transição energética, logística e serviços verdes. Esses movimentos restabelecem profundidade de funding e indicam capacidade de enquadrar CAPEX e OPEX elegíveis ao piloto, sobretudo infraestrutura de viveiros e logística, monitoramento e tecnologia, quando compatíveis com as regras de cada linha.

[52] *Contratos de offtake* são acordos pelos quais um comprador (geralmente uma empresa ou investidor) se compromete a adquirir, em condições previamente definidas, parte ou a totalidade da produção futura de um projeto — como créditos de carbono, energia renovável ou matérias-primas —, proporcionando segurança de receita ao produtor e previsibilidade de fornecimento ao comprador. Esses contratos são comuns em operações de *project finance* (finanças projetadas) e em mercados de carbono voluntário.

O Banco do Nordeste complementa a oferta com o FNE Verde, dedicado a investimentos ambientais no semiárido. A linha admite recuperação ambiental, convivência com o semiárido, energias renováveis, eficiência energética, planejamento e gestão ambiental, além de capital de giro associado ao investimento para setores não rurais, com prazos que alcançam 20 anos no caso de regularização de reserva legal e percentuais de financiamento que podem chegar a 100 por cento para micro e pequenos tomadores.

A programação do FNE para 2025 prevê R$ 47,29 bilhões no total, dos quais mais de R$ 24 bilhões para o semiárido, com prioridade a empreendimentos de menor porte. Essa combinação é particularmente aderente ao piloto em caatinga, onde itens como cercamentos, sistemas de água, proteção e patrulhamento, viveiros e energia fotovoltaica para bases operacionais são financiáveis[53].

A experiência de pagamento por resultados internacionais informa o arranjo do piloto. Em 2019, *o Green Climate Fund* aprovou o projeto FP100: REDD-PLUS *Results-Based Payments for Results Achieved by Brazil in the Amazon Biome in 2014-15*, que remunera resultados de REDD+ reportados conforme a *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* e tem execução até 2026. Esse precedente demonstra que programas jurisdicionais com verificação multiliteral podem articular trilhas de reinvestimento em restauração e fortalecimento de sistemas de medição, relato e verificação (MRV). Relatórios anuais de 2025 confirmam o andamento e a governança desse arranjo[54].

A coalizão LEAF Coalition opera compras em escala jurisdicional via o padrão ART-TREES, com preço-piso de 10 dólares por tonelada em seus acordos soberanos e subnacionais e cláusulas de salvaguardas, consulta e repartição de benefícios. Registros públicos indicam Contratos de Compra de Reduções de Emissões (ERPA) com piso de 10 dólares e, em alguns casos, operações a 15 dólares por tonelada, como no acordo anunciado para o estado do Pará. Documentos de governos e entidades participantes

---

[53] Fontes: *Banco do Nordeste do Brasil (BNB, 2024), Programa FNE Verde – Produtos e Serviços*, Fortaleza; *Instituto Federal de Desenvolvimento Regional (MIDR, 2025), Orçamento do FNE para 2025 terá investimento de mais de R$ 47 bilhões*, Brasília.

[54] *Green Climate Fund (GCF, 2019), "REDD-PLUS results-based payments for results achieved by Brazil in the Amazon biome in 2014 and 2015 (FP100) – Approved Funding Proposal", disponível em: https://www.greenclimate.fund/document/redd-results-based-payments-results-achieved-brazil-amazon-biome-2014-and-2015*; *UNFCCC (2023), "Forest Protection in Brazil boosted through REDD-plus", disponível em: https://unfccc.int/news/forest-protection-in-brazil-boosted-through-redd-plus*

detalham que os pagamentos ocorrem após emissão de créditos TREES e via intermediários financeiros aprovados, com planos de repartição.

Guias de precificação recentes sugerem faixa de mercado de 6 a 12 dólares para créditos jurisdicionais hoje, com projeção média de 15 dólares em 2028, enquanto o piso de 10 dólares da LEAF atua como âncora de valor. Esses parâmetros ajudam a calibrar cenários de receita do piloto e a definir gatilhos de preço em contratos estaduais[55].

A experiência do programa REM, financiado por Alemanha e Reino Unido por meio do KfW, oferece lições operacionais de repartição de benefícios, focalização territorial e governança multissetorial que podem ser transpostas ao desenho estadual. No Acre, a Fase II foi pactuada em 2017 com cerca de 30 milhões de euros, com regra de alocação de 70 por cento aos provedores de serviços ambientais e 30 por cento ao fortalecimento institucional do SISA. Atualizações em 2024 referendam a continuidade até 2026, com novos marcos e salvaguardas. Relatos oficiais do estado indicam milhares de famílias beneficiadas e subprogramas temáticos, além de missões periódicas de monitoramento com auditorias de desempenho. Essas práticas convergem com os requisitos do piloto quanto a planos de repartição e vinculação a resultados[56].

No Brasil, a recomposição do Fundo Amazônia desde 2023 reabriu o canal de doações de grande escala com governança sob o BNDES, com captações efetivas de R$ 726 milhões em 2023 e recorde de R$ 1,3 bilhão em aprovações, além de anúncios adicionais multibilionários. Ainda que o Fundo Amazônia tenha foco territorial amazônico, seus procedimentos e salvaguardas informam boas práticas para fundos estaduais, inclusive no uso de chamadas públicas, trilhas de auditoria e integração com órgãos de controle. Essas referências podem orientar minutas do FEAAC para editais e parcerias.

A montagem do *blended finance* para o piloto ocorre em três camadas que se comunicam no tempo. A primeira camada mobiliza crédito doméstico de longo prazo para

---

[55] Fontes: *Emergent Climate (2024), "Para signs $180 million LEAF coalition deal – first in Brazil"; *LEAF Coalition (2023), "COP28/Dubai: Breakthrough for LEAF and Jurisdictional REDD+"; *WCS (2021), "LEAF Coalition announced floor price of $10/ton CO_2*".

[56] Fontes: *KfW Entwicklungsbank (2024),* REDD Early Movers (REM) Programme – Global Experience with Results-Based Finance and Benefit Sharing*, Frankfurt am Main; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, 2018)*, *Technical Cooperation for the REDD Early Movers (REM) Programme – Brazil (Acre and Mato Grosso)*, Bonn; GFA Consulting Group (2022), *10 Years of REM Programme Experience – Learning from Latin America and Beyond*, Berlin.

CAPEX e OPEX elegíveis, com FNE Verde para ativos físicos e serviços de implantação e com linhas do BNDES Fundo Clima para tecnologia, logística e soluções de monitoramento e restauração. Os contratos exigem plano de investimentos atrelado a marcos técnicos e a cronogramas de campo; a liberação por etapas é reconciliada com o MRV-SE. A segunda camada cria colchões de risco e capital paciente por meio do FEAAC, que constitui reservas técnicas, buffers e custeia verificação e auditorias independentes. A terceira camada ancora receita com contratos de offtake e pagamentos por resultado que se tornam líquidos à medida que o proto-RECA-SE registra emissões e o integrador federal confirma ajustes correspondentes quando aplicáveis.

O encadeamento financeiro precisa refletir a cronologia técnica de uma área de caatinga. Nos meses iniciais, desembolsos de instalação cobrem cercamento, infraestrutura básica e aquisição de insumos e serviços. Na fase de estabilização, o MRV-SE gera séries NDVI e relatórios de implantação que acionam parcelas de financiamento condicionadas. A primeira janela de emissão configura o primeiro ponto de liquidez com receita de crédito; parte dela liquida parcelas variáveis do desenvolvedor, parte recompõe o FEAAC e parte remunera auditorias e salvaguardas. Quando houver *offtake* ou leilão estadual, o evento de transferência no registro dispara reconciliação com o FEAAC e com a instituição financeira que estruturou o crédito.

O papel das garantias e subordinação é central para reduzir o custo de capital. O FEAAC pode estruturar conta de primeiro risco para cobrir eventos de reversão não cobertos pelo buffer metodológico, conforme verificado e limitado por regras técnicas, e para absorver atrasos de verificação. Em paralelo, linhas reembolsáveis podem incluir garantias reais convencionais sobre equipamentos e direitos creditórios vinculados a contratos de offtake, com prioridade para credores seniores. Uma camada de cotas mezanino (cotas intermediárias que garantem cotas sêniores, por exemplo), capitalizada por doações internacionais ou por instrumentos filantrópicos, pode tomar segunda perda em cenários de estresse, reduzindo o prêmio de risco exigido por financiadores comerciais ou por debêntures incentivadas de projetos verdes. A governança dessas camadas é amarrada a covenants simples, aferidos por eventos no registro e por relatórios do verificador.

Os exemplos recentes de financiamento a empresas de restauração nativa no Brasil sugerem apetite de bancos públicos e privados por estruturas híbridas quando há governança, MRV e saída por crédito de carbono. Notícias de 2025 registram operações com BNDES e bancos comerciais para empresas de reflorestamento voltadas à geração

de créditos, evidenciando a conexão entre políticas públicas de clima e interesse de investidores privados em cadeias de restauração. Para o piloto, a leitura é que a presença de instrumentos estaduais de registro, transparência e interoperabilidade é determinante para reduzir assimetria de informação e encurtar *due diligence*[57].

A cooperação internacional pode entrar também como assistência técnica e janela de conhecimento aplicada. Projetos financiados por GCF, KfW e agências bilaterais frequentemente incluem componentes de fortalecimento de MRV, salvaguardas e governança de dados. É recomendável que o piloto apresente um pacote técnico para cofinanciamento que inclua: padronização de metadados ISO e APIs públicas; repositório de séries remotas com documentação reprodutível; protocolos de QA/QC e auditoria acadêmica; e desenho de planos de benefícios para repartição, coerentes com experiências jurisdicionais. A elegibilidade para janelas de pagamento por resultado costuma requerer demonstração de governança, salvaguardas e consistência com NDCs, tal como evidenciado nas condições do FP100 do GCF e nas práticas de ART-TREES e LEAF[58].

O desenho de contratos de compra futura no piloto deve seguir boas práticas testadas. Nos ERPAs, recomenda-se delimitar janelas de entrega alinhadas ao cronograma de verificação, com faixas de quantidade, mecanismos de substituição e cláusulas de integridade que condicionem a liquidação à inexistência de dupla contagem e à conformidade com salvaguardas sociais.

O preço pode adotar piso alinhado a referências de mercado jurisdicional ou a mecanismo de leilão estadual, com *upside* partilhado se houver prêmio em marketplaces. Para unidades elegíveis a etiquetagem de ajuste correspondente, é coerente exigir espelhamento com o SINARE e publicação de metadados mandatórios, pois esse é hoje um critério de confiança para compradores institucionais. Evidências públicas de acordos

[57] Fontes: *Agência Brasil (2025-10-10), "Restauração ambiental pode ser rentável, diz secretário do MMA"*; *Capital Reset (2025-10-10), "Com R$ 100 milhões do BNDES, Belterra vai expandir agroflorestas"*.

[58] Fontes: Green Climate Fund (GCF, 2019), *REDD-PLUS results-based payments for results achieved by Brazil in the Amazon biome in 2014 and 2015 (FP100) – Approved Funding Proposal*; Architecture for REDD+ Transactions (ART, 2025), *Beyond Carbon Benefits Certification – Public Comment*; LEAF Coalition (2023), *Coalition for High-Integrity Jurisdictional REDD+ Credits – Integrity and Safeguards*; Rey Christen, D.; García Espinosa, M.; Reumann, A.; Puri, J. (2020), *Results Based Payments for REDD+ under the Green Climate Fund: Lessons Learned on Social, Environmental and Governance Safeguards*, *Forests*, 11(12).

com piso em 10 dólares e, em alguns casos, a 15 dólares informam o intervalo razoável para planejamento financeiro e para definição de lances de leilão[59].

Uma política de leilões pode complementar ERPAs bilaterais. O leilão estadual pode ser estruturado como venda por lote seriado com preço discriminatório ou uniforme, com exigências de qualificação do comprador e obrigações de transparência. O clearing ocorre no proto-RECA-SE, que atualiza a titularidade e consolida as taxas de serviço, e o FEAAC reconcilia receitas, buffers e repartição conforme regras do edital. A governança do leilão deve citar explicitamente a interoperabilidade com o hub nacional e, quando cabível, a sinalização de autorização para ajuste correspondente, além de regras de publicidade e prazos de liquidação financeira.

Os instrumentos domésticos podem ser combinados com captações temáticas. A emissão de debêntures de infraestrutura verde ou de certificados de recebíveis vinculados a fluxos de créditos de carbono, desde que suportados por contratos de *offtake* e por garantias do FEAAC, pode atrair poupança institucional. A política de risco indicaria limites prudenciais, como razão de cobertura de serviço da dívida condicionada a preços conservadores e a buffers de emissão. A securitização, se adotada, deve manter conexão com o registro para que eventos técnicos desencadeiem *waterfalls* (fluxos em cascata)[60] de caixa objetivas.

Para assegurar que o blended finance não comprometa salvaguardas e direitos, o piloto incorpora desde a origem cláusulas alinhadas a padrões internacionais. ERPAs da LEAF exigem aderência às salvaguardas de Cancún e planos de repartição, com sanções em caso de violação. Programas como REM condicionam desembolsos a salvaguardas e a governança multissetorial. Esses requisitos se refletem nos contratos do FEAAC e do desenvolvedor, na transparência de relatórios e no acompanhamento por CEMAC e controle externo.

---

[59] Fontes: *World Bank (2021), Emission Reductions Payment Agreements (ERPA) – feature article on carbon finance and trust funds*; *BioCarbon Fund ISFL (2025), Contracting Emissions Reductions from Natural Climate Solutions – building blocks of high-integrity ERPAs*.

[60] O termo *waterfall* (literalmente, "cascata") é usado em finanças para designar a sequência hierárquica de distribuição de recursos financeiros, em que cada nível recebe pagamento apenas após o anterior ter sido integralmente atendido. Em estruturas de financiamento climático e *project finance*, uma *cash waterfall* (cascata de caixa) define a ordem de prioridade para uso das receitas — por exemplo: custos operacionais, serviço da dívida, reinvestimentos e, por fim, dividendos.

O plano de captação deve ter três trilhos paralelos e coordenados. O primeiro trilho prioriza acordos-quadro com BNDES e BNB, definindo envelopes, itens financiáveis, prazos e garantias, com cláusulas de desembolso por marcos do MRV e reconciliação com o registro. O segundo trilho estrutura ERPAs e leilões com compradores institucionais, estabelecendo pisos, critérios de integridade, publicação de metadados e trilha de auditoria. O terceiro trilho articula pagamentos por resultado e doações programáticas com GCF, KfW e outros parceiros, voltadas a buffers, salvaguardas e desenvolvimento de capacidades. O FEAAC coordena os três trilhos, garantindo segregação contábil e regras claras de prioridade de pagamento.

Exercícios de sensibilidade devem ser publicados no anexo financeiro. A combinação de preços de 8, 10, 12 e 15 dólares por tonelada, volumes de emissão por hectare coerentes com o capítulo 8 e descontos de incerteza e buffer permite calcular receitas líquidas esperadas em janelas de 24 e 36 meses. A elasticidade de serviço da dívida a atrasos de verificação e a variações de preço indica o tamanho requerido de colchões de liquidez. A referência pública de que a LEAF tem operado com piso de 10 dólares, com casos a 15 dólares, e de que análises independentes projetam 15 dólares em 2028, deve ser explicitamente incorporada aos cenários, com anotações sobre volatilidade e dependência de integridade[61].

A governança financeira fecha o arranjo. A SEMAC define política e metas; a Desenvolve-SE administra as contas e contratos, executa liquidações e conciliações; o ITPS-SE emite atestados técnicos e pareceres que destravam desembolsos; e o CEMAC acompanha indicadores e delibera ajustes. Relatórios trimestrais vinculam cada saída a um evento no registro e a um marco técnico. O portal público divulga balancetes do FEAAC, parcelas de repartição de benefícios e execução por subconta, em linha com as expectativas de integridade de compradores e certificadoras.

Com essa estrutura, o *blended finance* do piloto transforma medição em crédito e crédito em caixa com controle de risco e trilha de auditoria. O Estado reduz o custo de capital alavancando linhas do BNDES e do BNB, catalisa recursos internacionais em

[61] Fontes: Green Climate Fund (GCF, 2019), *REDD-PLUS results-based payments for results achieved by Brazil in the Amazon biome in 2014 and 2015 (FP100) – Approved Funding Proposal*; The LEAF Coalition (2023), *Coalition for High-Integrity Jurisdictional REDD+ Credits – Integrity and Safeguards*; Environmental Defense Fund (EDF, 2024), *Navigating Jurisdictional REDD+: A Pricing Guide for Tropical Forest Nations*; Quantum Commodity Intelligence (2024), *J-REDD credit prices could hit $15 by 2028: research*.

pagamentos por resultado e *offtakes* e cria previsibilidade para o setor privado. O arranjo preserva a integridade ambiental e contábil por amarração rígida a eventos do MRV-SE e do proto-RECA-SE, e prepara a migração para o RECA-SE definitivo e para o espelhamento com o SINARE.

7.3. GARANTIAS, CONTAS VINCULADAS E GATILHOS DE DESEMBOLSO POR RESULTADO

A estrutura de garantias e de contas vinculadas do piloto é desenhada para reduzir risco de contraparte, sincronizar fluxos financeiros a eventos mensuráveis do MRV-SE e preservar a rastreabilidade entre caixa e contabilidade de créditos no proto-RECA-SE. O arranjo combina instrumentos contratuais privados e prerrogativas do direito público aplicáveis a contratos administrativos, com ênfase em seguro-garantia de execução com cláusula de retomada, fiança bancária, contas *escrow*[62] vinculadas a marcos técnicos, reservas técnicas no FEAAC e direitos de step-in quando houver risco de descontinuidade operacional. A cada desembolso corresponde um evento objetivo no ciclo do crédito, com verificação documental e, quando aplicável, aferição de campo ou auditável em repositório de dados públicos e controlados.

O núcleo jurídico do regime de garantias em contratações públicas encontra assento na Lei Federal nº 14.133, de 1º de abril de 2021, que admite seguro-garantia, fiança bancária, caução em dinheiro ou títulos e, também, títulos de capitalização, além de estabelecer, para obras e serviços de engenharia, a possibilidade de exigir seguro-garantia com obrigação de retomada pela seguradora no inadimplemento, inclusive com emissão de empenho em nome da seguradora ou de subcontratada indicada para concluir o objeto.

A Lei disciplina ainda a matriz de alocação de riscos e faculta o depósito em conta vinculada para assegurar obrigações trabalhistas em contratos continuados, com impenhorabilidade expressa dos valores depositados. Esses dispositivos orientam a

[62] *Contas escrow* (ou contas de garantia) são contas bancárias vinculadas utilizadas para reter valores de forma temporária, sob condições contratuais específicas. O montante depositado só pode ser liberado quando as partes cumprem os requisitos previamente definidos — por exemplo, a entrega de um ativo, a conclusão de uma etapa de projeto ou a verificação de um resultado. Em operações financeiras e de carbono, as *escrow accounts* garantem transparência e segurança na liquidação de pagamentos entre investidores, desenvolvedores e certificadores.

modelagem de garantias e de contas vinculadas do piloto sempre que a Desenvolve-SE contratar o desenvolvedor e prestadores de serviços críticos.

No plano fiduciário, a conta vinculada é o mecanismo de neutralização de risco de uso indevido de recursos e de sincronização com marcos técnicos. Para cada contrato sensível, estabelece-se uma conta *escrow* específica, com regras de movimentação condicionadas a eventos parametrizados. Os eventos de liberação seguem a lógica de resultados adotada em instrumentos internacionais de pagamento por resultados: cada parcela é liberada somente após comprovação de indicadores de entrega definidos ex ante, com documentação, carimbo temporal e trilha de auditoria.

Em termos operacionais, a conta vinculada recebe o aporte do financiador ou do FEAAC e libera as saídas conforme o checklist de marcos pactuados, reduzindo assimetria de informação e risco moral. A aplicação desse arranjo em resultados é convergente com as práticas de *Program-for-Results* do Banco Mundial, nas quais as parcelas de financiamento se vinculam a *Disbursement-Linked Indicators* previamente acordados, com avaliação fiduciária de sistemas e foco em resultados verificáveis[63].

Os gatilhos de desembolso por resultado são definidos em três camadas, que refletem a maturidade do projeto e a materialidade do risco. A camada de implantação cobre itens físicos e organizacionais imprescindíveis para a operação do MRV e a salvaguarda da área. Exemplos de gatilhos incluem a instalação e georreferenciamento de marcos de parcela com validação por foto georreferenciada e *shapefile*[64] no repositório, a implantação de cercamentos e aceiros em extensão definida por estrato-zona, a entrada em funcionamento do pipeline de dados de sensoriamento com séries NDVI mensais processadas com máscara de nuvem e composição por mediana e o treinamento de equipes com listas de presença e checklists de QA/QC.

A verificação é documental e amostral, e as liberações são parciais e escalonadas para reduzir adiantamentos não lastreados. A camada de desempenho intermediário

[63] Fontes: International Bank for Reconstruction and Development/World Bank (2022), *Program-for-Results Financing Directive*; International Bank for Reconstruction and Development/World Bank (2016), *Program-for-Results: An Early-Stage Assessment of the Process and Effects of a New Lending Instrument*.

[64] *Shapefile* é um formato de arquivo vetorial geoespacial desenvolvido pela empresa *Esri*, amplamente utilizado em sistemas de informação geográfica (SIG). Ele armazena a geometria (pontos, linhas ou polígonos) e os atributos descritivos de elementos espaciais, permitindo representar e analisar dados geográficos em softwares como ArcGIS ou QGIS. Normalmente, um *shapefile* é composto por um conjunto de arquivos associados com extensões como *.shp*, *.shx*, *.dbf* e *.prj*.

ancora-se em indicadores remotos e de campo que sinalizam trajetória consistente de recuperação, como a manutenção de séries NDVI acima de limiares definidos por estrato após a sazonalidade controlada, a taxa mínima de sobrevivência de plantios quando aplicável e a inexistência de alertas consistentes de desmatamento ou fogo não autorizados nas geometrias de projeto, aferidos por produtos DETER e cicatrizes.

A camada de resultado creditício vincula desembolsos variáveis aos volumes efetivamente emitidos e registrados, já descontadas incertezas e buffers metodológicos, com espelhamento no proto-RECA-SE e, quando couber, no hub federal. Esses encadeamentos respeitam boas práticas de monitoramento de resultados e transparência recomendadas por guias recentes de blended finance, que enfatizam acordos de métricas desde o início e reporte de resultados e fluxos financeiros.

Os contratos que dão suporte a essa disciplina devem explicitar a matriz de alocação de riscos e as consequências financeiras de eventos negativos. A matriz distingue riscos de execução técnica, ambientais, de mercado e regulatórios. Riscos de execução técnica, como falhas de implantação ou de QA/QC, são primariamente do desenvolvedor e cobertos por seguro-garantia de performance. Riscos ambientais com caráter de força maior, como eventos extremos de fogo regional, alimentam a reserva técnica do FEAAC e o buffer metodológico, com regras de recomposição pactuadas. Risco de mercado, como queda abrupta de preço de crédito fora de cenários de planejamento, é parcialmente mitigado por ERPAs com pisos de preço e por leilões estaduais, e não enseja automaticamente ressarcimentos fiduciários.

Riscos regulatórios, como mudanças de regras federais de interoperabilidade, são gerenciados por cláusulas de ajuste regulatório e por reservas de contingência no FEAAC para cobrir custos de adequação do registro e do MRV. A Lei nº 14.133, de 2021 prevê, de forma expressa, a possibilidade de incorporar a matriz de riscos ao contrato e adotar métodos públicos e privados para sua quantificação financeira, o que facilita a precificação de garantias e a definição de percentuais mínimos[65].

O seguro-garantia de execução é a âncora do risco de contraparte nos contratos mais materiais do piloto. As cláusulas devem prever vigência igual ou superior ao contrato principal, prorrogações automáticas por endosso quando houver extensão de

[65] Fontes: Lei nº 14.133/2021, art. 22, § 2º e art. 103, § 3º; Tribunal de Contas da União (TCU), "Matriz de Riscos – Licitações e Contratos", edição online, 2024; *World Bank, "Program-for-Results Financing Directive" (July 2015).*

prazo e a obrigação de a seguradora assumir a execução ou pagar a integralidade da importância segurada no inadimplemento, conforme faculta a legislação.

Em contratos de implantação e manutenção de infraestrutura de campo e de MRV, recomenda-se exigir o seguro-garantia com cláusula de retomada, inclusive com interveniência anuente da seguradora no contrato, de modo a habilitar o step-in sem solução de continuidade. O Tribunal de Contas da União e materiais técnicos reiteram a necessidade de que o edital exija renúncia expressa a benefícios de ordem em fianças bancárias e detalhe as condições de manutenção das garantias durante todo o ciclo de execução, pontos que devem transparecer nas minutas do piloto[66].

A fiança bancária e a *stand-by letter of credit* podem compor camadas complementares de proteção, especialmente em ERPAs com compradores privados e em operações de leilão estadual. A fiança, emitida por instituição autorizada, é mobilizada por inadimplemento contratual e deve trazer renúncia ao benefício de ordem para evitar delongas na execução. A stand-by pode servir como colateral para liquidação de diferenças de preço ou de entrega física em janelas definidas, reduzindo risco de caixa para o FEAAC em caso de atraso de verificação. Em todos os casos, os instrumentos devem se amarrar a eventos do registro e do MRV, com regras claras de chamada e de liberação, e com citações a normas bancárias aplicáveis e a práticas aceitas no país.

As contas vinculadas operam como água-mestre da disciplina de fluxo de caixa. No piloto, três famílias de contas *escrow* são recomendadas. A conta de implantação recebe aportes de linhas reembolsáveis e do FEAAC e libera pagamentos mediante atestados técnicos de implantação. A conta de OPEX e MRV cobre rotinas de campo, laboratório e verificação e libera pagamentos contra relatórios de execução e de QA/QC, com defasagem mínima para conciliação. A conta de repartição de benefícios e salvaguardas recebe percentuais automáticos de receitas de emissão e transferência e executa pagamentos de PSA e benefícios conforme regras aprovadas, com conciliação entre cadastro de beneficiários e eventos do registro. A experiência nacional em contas vinculadas para resguardar obrigações trabalhistas em serviços continuados, prevista na

[66] Fontes: Lei nº 14.133/2021, art. 56 e art. 103 § 3º; Tribunal de Contas da União (TCU, 2024), “Garantias – Licitações e Contratos”, disponível em sua plataforma; Superintendência de Seguros Privados (SUSEP, 2023), *Manual de Seguro-Garantia – Obrigações Contratuais*, Brasília.

Lei nº 14.133, de 2021, orienta a governança e a impenhorabilidade desses depósitos, que devem ser parametrizados por contrato e auditáveis[67].

Para conferir objetividade aos gatilhos, cada evento precisa de definição precisa, fonte de dados e tolerâncias. Exemplos de gatilhos e documentos de suporte são os seguintes:

i) Gatilho de parcela de implantação: entrega do plano amostral aprovado, shapefiles de parcelas com metadados ISO 19115 e relatório fotográfico georreferenciado, com conferência por amostragem.

ii) Gatilho de operação do MRV: disponibilização pública das séries mensais NDVI na instância de Open Data, com documentação de pré-processamento, máscaras de nuvem e composição temporal, além de relatório de QA/QC do ITPS-SE.

iii) Gatilho de integridade remota: relatório trimestral de anomalias com ausência de alertas DETER e de cicatrizes não autorizadas nas geometrias de projeto, com logs do TerraBrasilis e dos focos de calor.

iv) Gatilho de emissão: publicação no proto-RECA-SE do certificado com volume líquido emitido por estrato-zona e registro dos descontos de incerteza e do percentual de buffer metodológico.

v) Gatilho de transferência: evento de mudança de titularidade com liquidação no leilão estadual ou em ERPA e reconciliação automática entre registro e extrato do FEAAC.

Em todos os casos, a documentação fica pública, salvo dados sensíveis, conforme a política de transparência já estabelecida em 5.4 e as práticas de registradores e padrões de integridade que associam etiquetagem e rastreabilidade a dados e metadados.

Para lidar com a crescente exigência de etiquetagem de autorizações e ajustes correspondentes em mercados regulados e voluntários, os contratos que acionam desembolsos variáveis devem prever o tratamento de créditos com e sem autorização para uso sob Artigo 6.2. A autorização e o ajuste correspondente são mecanismos contábeis

[67] Fontes: Lei nº 14.133/2021, *Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos*; Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, *Conta-Depósito Vinculada – Cartilha*, 2018.

desenhados para evitar dupla contagem, com reporte padronizado no formato eletrônico acordado nas negociações e com sincronização em registries.

Programas como ART-TREES já rotulam créditos com sinalização de elegibilidade CORSIA quando há autorização e reporte de ajuste correspondente pelo país anfitrião, e análises jurídicas recentes destacam o nexo entre CORSIA, autorizações e ajustes. Embora o piloto opere inicialmente no mercado voluntário, é prudente preparar minutas e rotinas para lidar com unidades elegíveis a autorização, inclusive com espelhamento com o SINARE quando aplicável[68].

A política de reservas técnicas complementa as garantias contratuais. O FEAAC mantém três reservas. A reserva de buffer financeiro de permanência cobre reintegrações decorrentes de reversões ambientais verificadas que excedam o buffer metodológico, dentro de limites de materialidade. A reserva de contingência regulatória cobre custos de adaptação de sistemas decorrentes de mudanças normativas federais e de interoperabilidade. A reserva de verificação e retificação assegura recursos para auditorias adicionais ou campanhas extraordinárias quando houver inconsistências materiais apontadas por verificadores ou pela auditoria social. A constituição e o consumo dessas reservas são paramétricos e dependem de eventos do registro e do MRV, com reporte público em balancetes do fundo, em linha com as práticas de monitoramento de resultados e transparência em *blended finance*[69].

No relacionamento com financiadores reembolsáveis e com compradores, os direitos de step-in e de acesso a dados reduzem risco de interrupção. Em contratos críticos, a seguradora de performance e, quando aplicável, o financiador tem direito de intervir para preservar continuidade, com base em parâmetro objetivo de default técnico definido no contrato. A Lei nº 14.133, de 2021, admite, na forma do seguro-garantia com retomada, que a seguradora conclua o objeto diretamente ou por subcontratação, isentando-se do pagamento da importância segurada quando assume a execução. Essa prerrogativa é incorporada aos instrumentos do piloto, sempre associada à obrigação de

[68] Fonte: *Architecture for REDD+ Transactions (ART, 2023), "General Information on ART-Issued TREES Credits – FAQs"*

[69] Fontes: *OECD (2021), The OECD DAC Blended Finance Guidance – Best Practices in Development Co-operation, Paris*; *OECD (2018), OECD DAC Blended Finance Principles for Unlocking Commercial Finance for the SDGs, Paris*.

manter a trilha de dados, scripts e metadados do MRV para garantir continuidade e auditabilidade[70].

Nos ERPAs e nos leilões estaduais, as garantias financeiras seguem a mesma lógica de causalidade com eventos do registro. Exige-se colateral equivalente a uma fração do valor do contrato, na forma de fiança bancária ou *stand-by letter of credit*[71], mobilizável em caso de inadimplência na liquidação após transferência de titularidade registrada. Cláusulas de margem e de variação podem ser acionadas quando houver volatilidade de preço acima de banda definida, sempre com limites e governança deliberados pelo comitê gestor do FEAAC. Para créditos com etiquetagem associada a autorização e ajuste correspondente, o cronograma de pagamento pode ser fracionado entre a emissão e a confirmação de espelhamento no hub nacional, conforme vier a ser regulamentado, refletindo as discussões recentes sobre sequenciamento de autorização, transferência e reporte em Artigo 6.2[72].

O desenho de contas e gatilhos conversa com a experiência brasileira em pagamentos por resultados em florestas. O programa FP100 do GCF para o Brasil, aprovado em 2019 e em implementação até 2026, condiciona liberação a resultados REDD+ reportados e avaliados pela UNFCCC, com reinvestimento em programas nacionais como o Floresta+. Esse precedente explicitou a necessidade de sistemas de mensuração e governança compatíveis com auditoria internacional e de planos de aplicação com salvaguardas. O piloto estadual reproduz a lógica ao nível subnacional, casando resultado verificado, registro público e liberação financeira[73].

---

[70] Fontes: Lei nº 14.133/2021 – Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos; Tribunal de Contas do Estado de São Paulo (2023), Guia Prático – Seguro-Garantia e Retomada em Contratos de Parceria Público-Privada.

[71] *Stand-by letter of credit* é um instrumento financeiro de garantia, emitido por uma instituição bancária, que assegura o cumprimento de uma obrigação contratual. Funciona como uma promessa de pagamento: caso a parte principal não honre o compromisso assumido, o beneficiário pode acionar o banco emissor para receber o valor devido. É amplamente utilizada em contratos internacionais, projetos de infraestrutura e operações de crédito de carbono, com função semelhante à de uma fiança bancária.

[72] Fontes: White & Case LLP (2024), *Carbon Markets and Article 6: Legal and Risk Framework*; Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2024), *Core Carbon Principles and Assessment Framework*; Ministério da Economia, Secretaria do Tesouro Nacional (2023), *Manual de Garantias Financeiras em Contratos de Parceria Público-Privada*.

[73] Fontes: *Green Climate Fund (GCF, 2019), REDD-PLUS results-based payments for results achieved by Brazil in the Amazon biome in 2014 and 2015 (FP100) – Approved Funding Proposal*; *D. Rey Christen, M. García Espinosa, A. Reumann, J. Puri (2020), Results Based Payments for REDD+ under the Green Climate Fund: Lessons Learned on Social, Environmental and Governance Safeguards, Forests, 11(12).*

A gestão de garantias exige rotinas de monitoramento, renovação e adequação. Todas as garantias têm vigência casada ao contrato principal e devem ser ajustadas quando houver aditivos de prazo ou de escopo, mantendo cobertura contínua. A cada exercício, realiza-se uma revisão de suficiência de garantias com base em métricas de desempenho do MRV, em relatórios de verificação e em exposição de risco de mercado, com recomendação de ajuste de percentuais de garantia mínima e de reservas do FEAAC. O portal público publica, com defasagem compatível, a situação das garantias por contrato e as posições das reservas, respeitados sigilos bancário e comercial.

Por fim, a coerência entre garantias, contas vinculadas e gatilhos deve ser validada por parecer jurídico e por avaliação independente de risco. As minutas contratuais trazem anexos com a matriz de riscos, a régua de indicadores e tolerâncias, os fluxos de assinatura de dados e os esquemas de reconciliação entre eventos do proto-RECA-SE e lançamentos no FEAAC. Essa documentação integra o dossiê de *due diligence* para financiadores e compradores, reduz barreiras de entrada, encurta prazos de análise e alinha o piloto às expectativas de integridade e governança hoje predominantes em padrões e programas de mercado.

7.4. MODELOS CONTRATUAIS DE COMPRA FUTURA (ERPA/OFFTAKE) E LEILÃO ESTADUAL

A estrutura contratual de comercialização do piloto combina acordos bilaterais de compra futura (*Emission Reductions/Removals Purchase Agreements, ERPA*) com mecanismos de venda pública via leilão estadual, de forma complementar e coordenada com os marcos técnicos do MRV-SE e com os eventos contábeis no proto-RECA-SE. O objetivo é reduzir risco de contraparte, alongar horizontes de receita com previsibilidade de preço e assegurar rastreabilidade entre cada parcela financeira e o lastro técnico emitido, transferido ou aposentado. A padronização contratual segue boas práticas consolidadas em programas multilaterais e associações de mercado, ao mesmo tempo em que incorpora requisitos emergentes de integridade e de etiquetagem (por exemplo, CCP/ICVCM e elegibilidade CORSIA quando aplicável), e os ajustes correspondentes previstos no Artigo 6 do Acordo de Paris para hipóteses de uso internacional[74].

[74] Fontes: Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2024), *Core Carbon Principles and Assessment Framework*; United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 2023), *Cooperative Approaches under Article 6.2 of the Paris Agreement – Reference Manual*.

Os ERPAs adotados no piloto utilizam linguagem e cláusulas compatíveis com documentos padronizados de mercado e com experiências recentes de pagamentos por resultado. A IETA disponibiliza modelos de ERPA primário e secundário, com orientações para alocação de riscos e métricas de entrega, que servem como referência para a redação de condições comerciais, obrigações de integridade, eventos de inadimplemento e remédios. Esses modelos foram concebidos precisamente para transações no mercado voluntário e podem ser adaptados à realidade regulatória brasileira, mantendo núcleo comum de definições, transferência de titularidade, cronogramas de entrega e salvaguardas.

Em paralelo, experiências multilaterais com ERPAs e pagamentos por resultado — como FCPF/ISFL e *BioCarbon Fund* do Banco Mundial — informam a arquitetura contratual: condições precedentes, volumes contratuais, opções de adiantamento, regras de buffer, eventos de default e governança de benefícios. Casos públicos incluem acordos com Etiópia, República do Congo e Moçambique, com desembolsos condicionados a verificações independentes e a metas por tonelada de CO_2e[75].

No piloto em caatinga, cada ERPA é ancorado em três pilares. O primeiro pilar é a elegibilidade técnica, que vincula qualquer direito de compra aos marcos do MRV-SE: somente unidades efetivamente emitidas, com desconto de incerteza e dedução de buffer metodológico, podem ser entregues para liquidação. O segundo pilar é a coerência contábil, que exige que todo movimento contratual se reflita no proto-RECA-SE e, quando houver autorização para uso internacional, também no hub federal e nos mecanismos de reporte sob o Artigo 6.2, inclusive no que tange à "primeira transferência" e aos ajustes correspondentes. O terceiro pilar é a integridade de mercado, que obriga o cumprimento de requisitos de rastreabilidade e transparência compatíveis com o rótulo de alta integridade hoje adotado por compradores institucionais, em linha com o processo de avaliação e etiquetagem CCP conduzido pelo ICVCM[76].

A disciplina de condições precedentes inclui, no mínimo, a demonstração de que o proponente mantém contas ativas e em boa situação no programa certificador escolhido

[75] Fontes: *International Emissions Trading Association (IETA, 2023), Trading Documents – Primary ERPA v1.0 and Contingent Secondary ERPA v1.0*; *World Bank (2024), Contracting Emissions Reductions from Natural Climate Solutions – BioCarbon Fund ISFL ERPA Overview*.

[76] Fontes: *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2024), Core Carbon Principles – Assessment Framework*; *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 2023), Article 6.2 of the Paris Agreement – Cooperative approaches and internationally transferred mitigation outcomes*.

e no registro correspondente, a publicação da ficha pública de projeto/lote no portal do RECA-SE, a aderência às salvaguardas e, quando aplicável, a existência de ato de autorização para uso internacional emitido pela autoridade nacional competente, condição para unidades que se destinem a NDCs de terceiros ou a esquemas como CORSIA.

A governança internacional recente reforça esse encadeamento: as decisões CMA mais recentes detalham processos de autorização, transparência, aplicação de "primeira transferência" e formatos eletrônicos de reporte para acompanhamento de ITMOs; e o ecossistema CORSIA avança com reavaliações de programas elegíveis e guias operacionais que explicam o nexo entre autorização e ajustes correspondentes[77].

O desenho de entregas e de preço nos ERPAs considera a realidade operacional do bioma e a trajetória de verificação. A entrega física se dá por janelas alinhadas ao cronograma de auditorias, com tolerância contratual de volume *("delivery bands*") e mecanismos de *"make-good*"[78] ou de substituição por unidades equivalentes, se houver insuficiência não culposa, tudo condicionado a regras de não dupla contagem e a equivalência metodológica. O preço contrata um piso e admite *upside*[79] por partilha em caso de venda adicional em leilão estadual ou marketplace, resguardando a previsibilidade para financiadores seniores. Para créditos com autorização e ajuste correspondente elegíveis a CORSIA, prevê-se fracionamento do pagamento entre emissão e confirmação de espelhamento no sistema nacional e no repositório internacional, conforme as decisões e formatos eletrônicos de reporte do Artigo 6.2[80].

---

[77] Fontes: *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 2025), "Article 6 Reference Manual: Guidance on Cooperative Approaches under Article 6.2 of the Paris Agreement", Version 3*; *International Civil Aviation Organization (ICAO, 2024), "CORSIA Eligible Emissions Units – 2024 Edition"; *HFW & CACE (2025), "CORSIA and Article 6: Unlocking the demand potential for carbon credits with corresponding adjustments".

[78] *Mecanismos de "make-good"* (literalmente, "fazer valer" ou "corrigir") são cláusulas de compensação contratual utilizadas em finanças e mercados de carbono para garantir o cumprimento de metas de desempenho ou entrega. Caso um emissor ou vendedor não alcance os resultados esperados — por exemplo, a geração prevista de créditos de carbono —, o mecanismo *make-good* obriga-o a repor, compensar ou substituir a diferença, assegurando a integridade financeira e ambiental do contrato.

[79] No contexto financeiro, "upside" significa potencial de ganho adicional. Quando um contrato "admite *upside* por partilha", significa que, além de garantir um preço mínimo (piso)**,** as partes podem compartilhar lucros excedentes caso o ativo (como créditos de carbono) seja vendido acima do valor base contratado. Essa estrutura equilibra segurança e incentivo, combinando proteção de preço com participação em valorização futura.

[80] Fontes: *World Bank (2021), Emission Reductions Payment Agreements (ERPAs) – Overview*; *Global Green Growth Institute (GGGI, 2023), Guideline to Mitigation Outcome Purchase Agreements (MOPAs) and Article 6*; *Overseas Development Institute (ODI, 2014), ERPA: What is an Emissions Reduction Purchase Agreement? — Info Sheet*; *Oxford Climate Policy (2016), Determining a Fair Price for Carbon — CER Pricing and Risk*.

As cláusulas de integridade incorporam obrigações que hoje são diferencial competitivo em due diligence. O vendedor declara e garante unicidade, ausência de dupla monetização, conformidade metodológica e inexistência de gravames; o comprador observa restrições de reivindicação indevida em comunicação; e ambas as partes aceitam auditoria documental. A etiquetagem sob CCP/ICVCM, quando e se disponível para a categoria/certificadora em questão, é tratada como atributo adicional de qualidade e pode acionar gatilho de preço. Em 2024, o processo do ICVCM passou a aprovar programas em nível de governança (incluindo Verra e ART), com a etapa seguinte de aprovar categorias específicas — caminho que orienta a negociação de prêmios e a seleção de padrões.

Do ponto de vista operacional, a liquidação no ERPA é casada com eventos do registro e com as rotinas financeiras do FEAAC. Quando um lote é emitido, o proto-RECA-SE atualiza o status e aplica, se for o caso, o desconto de incerteza e o percentual de buffer; a parcela variável de preço do ERPA é liquidada na proporção das unidades elegíveis; a transferência é registrada e, ao final, eventuais aposentadorias para fins do contrato são refletidas no registro; taxas de serviço são recolhidas e a repartição de benefícios é creditada em conta vinculada. Os custos regulatórios e de registros de terceiros, como taxas de transferência e aposentadoria em programas internacionais, devem constar expressamente na alocação de custos do contrato, pois mudanças recentes de *fee schedule*[81] em registradores internacionais passaram a incidir sobre transferências e aposentadorias[82].

Quando o uso for internacional, o contrato traz anexos com as rotinas de autorização e de ajuste correspondente. Isso inclui referências às decisões CMA vigentes sobre autorização, "primeira transferência", formatos eletrônicos de reporte e interoperabilidade de registros; e, se a unidade for elegível a esquemas setoriais como CORSIA, a necessidade de observar o estado de elegibilidade do programa e a existência de carta de autorização do país anfitrião. Em 2025, a ICAO relançou o ciclo de reavaliação dos programas elegíveis para o período 2027–2029 e, no mesmo período, registrou-se que

[81] O termo *fee schedule* é mantido em inglês por se tratar da nomenclatura técnica padronizada utilizada por registradores internacionais de créditos de carbono (como Verra, Gold Standard e ART-TREES). Ele designa a tabela oficial de tarifas e encargos aplicáveis a operações no registro — incluindo emissão, transferência, aposentadoria (*retirement*) e manutenção de créditos. A tradução literal ("tabela de taxas") não expressa com precisão o caráter normativo e vinculante que o termo possui nos sistemas de registro globais.

[82] Fontes: *Verra (2024), New Verra Program Fee Schedule – FAQs*; *Verra (2024), Verra Program Fee Schedule v1.0 (PDF)*.

a oferta efetiva de unidades com ajuste correspondente ainda é restrita, com casos como o da Guiana anunciados publicamente — contexto que recomenda cláusulas de condição subsequente e prazos realistas para etiquetagem quando exigida pela contraparte[83].

A modalidade de leilão estadual complementa os ERPAs bilaterais ao descobrir preço de forma transparente e padronizada e a diversificar a base de compradores. A experiência internacional demonstra que leilões climáticos podem reduzir o custo público e alocar risco eficientemente quando ligam o pagamento a resultados.

O *Pilot Auction Facility* do Banco Mundial testou formatos de leilão para preço-garantia a créditos de metano, alavancando investimentos privados com "opções de venda" lastreadas em resultados verificados; sucessivas rodadas alocaram garantias e resultaram em emissões reduzidas a custos competitivos. Esses resultados permitem adaptar princípios de desenho — competição, clareza de lote e liquidação condicionada — ao contexto estadual de venda de créditos já emitidos[84].

No piloto, o leilão opera como alienação de ativo ambiental intangível emitido pelo Estado/Desenvolve-SE ou por parceiro sob coordenação do Estado, utilizando plataforma eletrônica com regras públicas. O edital define elegibilidade de participantes, garantias de proposta e de desempenho, formato de lances e critérios de desempate; os lotes são identificados por metadados do registro; a liquidação financeira é casada à transferência de titularidade no proto-RECA-SE; e a publicidade pós-leilão inclui volumes, preços e agregados de arrecadação, respeitadas restrições de sigilo comercial. A legislação federal de contratações prevê a modalidade "leilão" para alienação de bens e títulos e oferece balizas para a seleção de modalidades compatíveis com a comercialização de ativos estaduais; as minutas devem citar o regime jurídico aplicável e a competência do ente para dispor sobre a venda do ativo ambiental[85].

---

[83] Fontes: *International Civil Aviation Organization (ICAO, 2023), CORSIA Eligible Emissions Units – Eligibility Criteria and Assessment Process*; *International Civil Aviation Organization (ICAO, 2024), Clarifications of the Technical Advisory Body's Criteria Interpretations for CORSIA Eligible Units*.

[84] ontes: *World Bank (2021), Pilot Auction Facility – World Bank's Bond Payments Mobilize Private Sector to Reduce Methane Emissions*; *World Bank (2018), Pilot Auction Facility Mobilises Private Capital for Climate Action*.

[85] Fontes: *Lei nº 14.133/2021 – Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos*; *Banco Mundial – Pilot Auction Facility – World Bank's Bond Payments Mobilize Private Sector to Reduce Methane Emissions*; *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – Diretrizes de Financiamento Climático e Ativos Ambientais*.

O formato recomendado é leilão eletrônico de lances fechados com preço uniforme por lote, para minimizar risco de *winner's curse*[86] e facilitar o processo de compensação e liquidação, embora o edital possa, mediante justificativa, adotar preço discriminatório quando a heterogeneidade de lotes o recomendar. O ciclo do leilão tem fases padrão: divulgação do edital e do catálogo de lotes com acesso aos dossiês técnicos; janela de qualificação com apresentação de documentos e garantias; submissão de lances; apuração e adjudicação; e liquidação com transferência registrada e reconciliação financeira no FEAAC.

A cada fase correspondem pontos de controle: verificação de integridade do lote; conferência de inexistência de flags materiais no MRV; e checagem de restrições quanto a autorização e ajustes, quando se tratar de unidades destinadas a usos internacionais. A transparência do desenho é condição para atrair compradores institucionais e reduzir custo de due diligence, como indicam as práticas de integridade hoje promovidas por ICVCM e por programas elegíveis a esquemas setoriais[87].

A coordenação entre ERPA e leilão evita conflitos e cancelamentos indesejados. Os ERPAs definem "janelas de preferência" em que o comprador tem direito de igualar preço de leilão para determinado volume, limitado a percentuais e prazos; o remanescente é ofertado publicamente. Alternativamente, o Estado pode realizar leilões temáticos com cláusula de "pré-alocação" para atender ERPAs firmados com contrapartidas de investimento. Em qualquer arranjo, o registro é a fonte de verdade: cada unidade ofertada precisa estar livre e desembaraçada, com checagem automática de titularidade e de pendências antes da sessão de lances.

A matriz de riscos e as garantias descritas no subtítulo 6.3 valem integralmente para a comercialização. No ERPA, a inadimplência na entrega física após emissão pode acionar as cláusulas de compensação contratual, ensejar compensação financeira ou resolução parcial; no leilão, o inadimplemento na liquidação após adjudicação aciona

---

[86] O termo *winner's curse* ("maldição do vencedor") é um conceito econômico que descreve a situação em que o vencedor de um leilão ou processo competitivo superestima o valor real do ativo e paga acima do preço justo, resultando em prejuízo ou retorno inferior ao esperado. É amplamente usado em modelagens de mercado e análise de risco de lances, razão pela qual se mantém em inglês, preservando o sentido técnico consolidado na literatura de economia comportamental e teoria dos leilões.

[87] Fontes: *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2024), Core Carbon Principles and Assessment Framework; European Bank for Reconstruction and Development (EBRD, 2023), Best Practice Guide to Auction Design for Climate Assets; World Bank (2021), Pilot Auction Facility – World Bank's Bond Payments Mobilize Private Sector to Reduce Methane Emissions.*

execução de garantia e bloqueio de participação futura. Para ambos, a regra é que todo remédio seja objetivo, mensurável e registrável: chama-se a garantia quando ocorre o evento no registro, e libera-se a garantia quando a obrigação é cumprida e carimbada em sistema.

A política de preço no piloto parte de referências observáveis e prudentes. Em contratos de compra futura, recomenda-se precificação com piso compatível com referências jurisdicionais recentes e curvas esperadas em estudos independentes, com gatilhos de ajuste a eventos de integridade (por exemplo, etiquetagem CCP da categoria) e de mercado (resultado de leilões estaduais). O histórico público de offtakes jurisdicionais indica pisos de 10 dólares por tonelada e casos a 15 dólares, que funcionam como âncora para cenários conservadores e para parametrização de lances mínimos em leilões, sem prejuízo de competição por prêmio[88].

A comunicação com compradores de aviação deve observar particularidades de CORSIA. A participação de 129 Estados a partir de 2025 e a exigência de ajustes correspondentes quando as unidades forem usadas para cumprimento reforçam a importância de cláusulas contratuais que prevejam autorização e reporte e tratem explicitamente as responsabilidades de cada parte na obtenção de LoA e na comprovação do ajuste. A dinâmica recente mostra oferta ainda incipiente de EEUs com ajuste efetivado e eventos pilotos de *procurement* por associações setoriais; contratos devem refletir essa escassez com prazos e condições suspensivas realistas[89].

O aparato documental que acompanha ERPA e leilão é parte da trilha de auditoria. Minutas padronizadas, anexos técnicos com definições, fórmulas e tolerâncias, mapas de eventos do registro e do MRV, listas de checagem para liberação de pagamentos e modelos de declaração de integridade são publicados no portal do RECA-SE, com versões congeladas por rodada de leilão e por safra de contratos. Essa prática alinha o piloto a precedentes de leilões climáticos que só liberam pagamentos após verificação independente e fortalece a confiança de auditores e investidores[90].

---

[88] Fontes: *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM, 2024), Core Carbon Principles – Assessment Framework*; *John Jones, "Expert Predicts 'Double-Digit' Price Hike for CCP-Labelled Carbon Credits", CarbonCredits.com, April 17, 2024*.

[89] Fontes: *International Civil Aviation Organization (ICAO, 2024), CORSIA Eligible Emissions Unit (EEU) Programme Change – Guidance Document for Host Countries*; *International Air Transport Association (IATA, 2025), Offsetting CO_2 Emissions with CORSIA – Fact Sheet.*

[90] Fontes: *World Bank (2019), Climate Auctions: A Market-Based Approach to National Climate Action*; *World Bank (2018), The Potential for Climate Auctions as a Tool for NDC Implementation*.

Por fim, as regras de solução de controvérsias e de lei aplicável precisam refletir a natureza público-privada do arranjo. Nos ERPAs, propõe-se cláusula compromissória com câmara arbitral reconhecida, foro subsidiário no Brasil e escolha de direito material brasileiro, com remissão expressa a normas climáticas federais e estaduais, às decisões CMA pertinentes e às regras do certificador.

Nos leilões, os conflitos relativos ao certame seguem o contencioso administrativo previsto no edital, com arbitragem possível para disputas contratuais de execução, quando permitido. Em ambos os casos, o cumprimento específico de obrigações de fazer é limitado por regras de integridade; onde não for possível entregar crédito, privilegia-se recomposição financeira objetiva.

Com esse conjunto de decisões, o capítulo posiciona ERPAs e leilões como mecanismos complementares: os primeiros estabilizam demanda e preço no horizonte plurianual; os segundos descobrem preços competitivos e ampliam a base de compradores. Ambos se amarram a eventos de MRV e do proto-RECA-SE, observam a governança de risco do FEAAC e integram requisitos de integridade e de reporte internacional. O resultado é uma estratégia de comercialização compatível com padrões de mercado, com a regulação climática internacional e com a transparência esperada por investidores institucionais.

8. CONTRATAÇÕES ESTRATÉGICAS E *DUE DILIGENCE*

Este Capítulo organiza, em sequência lógica, as contratações essenciais para executar o piloto em caatinga com integridade técnica, jurídica e financeira. Estabelece papéis, critérios e entregáveis do desenvolvedor de projeto, do verificador independente e das consultorias especializadas, além de detalhar o escopo de uma due diligence completa que acompanhe todo o ciclo do crédito, do desenho metodológico à emissão, transferência e aposentadoria no registro. A ênfase recai na padronização de termos de referência, na amarração de pagamentos a marcos do MRV-SE e do proto-RECA-SE, na gestão de riscos e salvaguardas e na produção de dossiês reprocessáveis que reduzam custos de auditoria e de captação, preparando o caminho para a escala pós-piloto.

8.1. DESENVOLVEDOR DE PROJETO: ESCOPO, CRITÉRIOS E CONTRATAÇÃO PELA DESENVOLVE-SE

A contratação do desenvolvedor é o ponto de acoplamento entre a governança pública estadual e a execução técnica do piloto em caatinga. O papel desse ente é transformar diretrizes regulatórias, requisitos metodológicos e salvaguardas em um projeto certificado, com mensuração auditável de remoções, trilha de dados reprocessável e dossiê completo para emissão no proto-RECA-SE.

No arranjo institucional definido no Produto 5.2 e reafirmado neste documento, a Desenvolve-SE conduz a contratação, sob supervisão normativa da SEMAC, com suporte técnico do ITPS-SE e controle social pelo CEMAC, assegurando que o escopo, as métricas e as entregas estejam integrados ao MRV-SE e ao registro estadual.

O escopo mínimo do contrato deve abranger cinco blocos de trabalho interdependentes. O primeiro bloco trata da consolidação de linha de base e adicionalidade para revegetação/reflorestamento (ARR) em caatinga, em conformidade com a metodologia aplicável e com as diretrizes IPCC adotadas no MRV-SE, incluindo justificativas quantitativas e qualitativas e documentação de conformidade regulatória. O segundo, do desenho amostral e os protocolos de inventário de biomassa aérea e abaixo do solo, com cálculos de precisão e propagação de incertezas, compatíveis com auditorias independentes e com as metas de erro estabelecidas para o piloto. O terceiro, do módulo de solo e as séries de sensoriamento remoto, com pré-processamento, máscaras, composição temporal, cálculo de índices e documentação de reprodutibilidade. O quarto, da integração de dados, metadados e scripts ao pipeline do MRV-SE, com versionamento, hash e assinatura digital, e a produção do dossiê técnico para validação e verificação. O quinto, do suporte técnico à emissão e aos eventos de transferência/aposentadoria no proto-RECA-SE, com reconciliação contábil e publicação dos elementos obrigatórios de transparência. Esses blocos refletem os requisitos funcionais do RECA-SE e do MRV-SE descritos no Produto 5.2 e no capítulo 5 do presente documento.

Os critérios de elegibilidade técnica do proponente devem ser objetivos e verificáveis. Exige-se experiência comprovada em projetos ARR com certificação emitida ou, ao menos, em fase de validação avançada, com preferência por casos em biomas semiáridos, dado o comportamento ecofisiológico particular da caatinga.

A equipe-chave deve incluir responsável técnico em mensuração de carbono florestal, especialista em solos tropicais/semiáridos, analista sênior de sensoriamento

remoto e desenvolvedor de dados para integração ao MRV-SE. O termo de referência deve requerer domínio de alometria aplicável à caatinga, capacidade de executar inventários sob desenho estratificado, experiência em ESM para carbono do solo e prática em QA/QC de campo e laboratório, além de proficiência em processamento de séries de NDVI e produtos correlatos, como MapBiomas e alertas DETER, alinhados às diretrizes já fixadas. Esses requisitos estão alinhados ao detalhamento metodológico do capítulo 4 e às diretrizes operacionais já descritas para o piloto.

A prova de capacidade deve combinar portfólio e teste técnico. O portfólio exige apresentação de no mínimo dois projetos relevantes com descrição do método de amostragem, do inventário, da integração com séries orbitais e dos resultados de verificação por terceira parte. O teste técnico consiste na reprodução, em conjunto de dados disponibilizado pelo Estado, de três tarefas: gerar, a partir de cenas Sentinel-2 de uma janela de três meses, composições mensais com NDVI e EVI com documentação completa de pré-processamento; estimar, com dados amostrais fictícios providos pela SEMAC/ITPS-SE, a biomassa aérea por estrato com cálculo de erro agregado e por estrato; e construir um pacote de metadados compatível com o catálogo ISO adotado pelo RECA-SE. A combinação portfólio-teste reduz o risco de seleção adversa e garante que a equipe domine o fluxo técnico que será usado no piloto. Esses elementos conversam com o dicionário e a disciplina de metadados, de integridade e de publicação definidos para o registro estadual.

Além da qualificação técnica, o edital deve impor requisitos de integridade e independência. O proponente declara inexistência de conflito com potenciais compradores que possa afetar a imparcialidade das estimativas e se compromete com publicação de dados e documentos exigidos pela política de transparência do RECA-SE. A equipe deve aderir ao manual de procedimentos operacionais e aceitar auditorias documentais e de campo pelo verificador, pelo ITPS-SE e por auditorias externas quando acionadas pelo CEMAC. O arranjo institucional previamente pactuado atribui à SEMAC a definição da política de transparência e à Desenvolve-SE a operação transacional, com o ITPS-SE como curador técnico — papéis que precisam estar refletidos nas cláusulas de acesso, publicação e governança de dados do contrato.

A matriz de entregáveis se organiza em marcos verificáveis, cada qual com documentação mínima e fonte de verdade no repositório do MRV-SE. No marco de "linha de base e adicionalidade", entrega-se nota técnica com justificativas, geometrias e séries históricas, além de anexos regulatórios. No marco "plano amostral", entrega-se o desenho estratificado, estimativas de tamanho de amostra por estrato com cálculo de poder estatístico, croquis de parcelas e plano de QA/QC. No marco "inventário inicial", são entregues os bancos de dados de campo com dicionário e validações, relatórios de consistência e relatórios laboratoriais. No marco "sensoriamento remoto", são publicadas as séries NDVI/EVI com metadados e scripts, laudos de acurácia de classificação e mapas temáticos. No marco "integração MRV-SE", entrega-se o pacote de metadados ISO, o manifesto de integridade com hashes por camada e a documentação de APIs consumidas/fornecidas. No marco "validação e verificação", entrega-se o dossiê à certificadora e a resposta *a findings*[91] até a conclusão; por fim, no marco "emissão/registro", comprovam-se os eventos no proto-RECA-SE com reconciliação contábil e publicação pública conforme Capítulo 5.4. Esses marcos correspondem à arquitetura de dados e processos do RECA-SE e do MRV-SE e à governança deliberada para o piloto.

O modelo de avaliação de propostas deve ser multicritério e transparente. Recomenda-se peso de 45 por cento para técnica, 25 por cento para equipe e gestão, 15 por cento para plano de dados e interoperabilidade, 10 por cento para integridade e salvaguardas e 5 por cento para preço.

Na nota técnica, avaliam-se a compreensão do bioma caatinga, a adequação do desenho amostral proposto, a estratégia de controle de incerteza e a coerência do uso de séries orbitais. Em equipe e gestão, avaliam-se a senioridade e o tempo de dedicação dos responsáveis, a logística de campo e a gestão de risco. Em dados e interoperabilidade, verificam-se padrões de metadados, versionamento, plano de API e segurança. Em integridade, verificam-se compromissos de transparência e de salvaguardas; em preço, analisam-se o cronograma físico-financeiro e a coerência dos custos com atividades e

[91] O termo *findings* é mantido em inglês porque corresponde à terminologia oficial empregada por certificadoras internacionais (como Verra, Gold Standard e ART-TREES) nos processos de *validation* e *verification*. Ele designa as constatações ou observações técnicas identificadas durante auditorias independentes, que podem exigir respostas ou correções antes da aprovação final do projeto. A tradução literal ("achados" ou "constatações") não reflete com precisão o uso padronizado do termo nos relatórios de verificação e comunicação formal entre desenvolvedores de projeto e validadores (*Validation/Verification Bodies – VVBs*).

prazos. Essa régua de avaliação responde às diretrizes de governança do Produto 5.2, que enfatizam manualização de procedimentos e integração RECA-SE/FEAAC/MRV-SE como condição de previsibilidade e controle.

O regime de pagamento é por resultado, casado a evidências no MRV-SE e a eventos no registro. Pagamentos de instalação liberam-se após a aprovação formal do plano amostral e da logística de campo; parcelas subsequentes, após a entrega validada de inventários e séries remotas e da submissão à certificadora; a parcela variável, no momento da emissão registrada, proporcional às toneladas líquidas elegíveis, já descontados incertezas e o buffer metodológico; e a parcela final, após transferência ou aposentadoria registrada e publicação do pacote de transparência. Esse encadeamento foi especificado ao longo dos Capítulos 5 e 6 e se apoia na integração RECA-SE/FEAAC, que reconcilia receitas e taxas e publica indicadores de integridade.

A governança da execução requer fluxos de decisão com "portos de controle", em que cada avanço depende de pareceres técnicos e institucionais. O primeiro porto é a autorização de escopo pela SEMAC; o segundo, a aprovação da seleção de área e do plano de engajamento social; o terceiro, a aprovação do plano amostral e cronograma de inventário; o quarto, a aprovação do relatório de validação e a contratação do verificador; e o quinto, a autorização para emissão no registro provisório após verificação homologada. Cada porto é acompanhado de ata que consolida parecer do ITPS-SE, parecer da unidade gestora da SEMAC e, quando envolver integridade, voto do CEMAC. Esse fluxo está descrito e justificado nas seções de governança deste Relatório.

As exigências de salvaguardas devem comparecer desde o termo de referência. O desenvolvedor precisa apresentar plano de salvaguardas coerente com CLPI quando aplicável, mecanismos de queixas, indicadores sociais de resultado e orçamento de implementação (facilitação, comunicação, tradução, logística). O dossiê social, com diagnóstico de usos, protocolo de consulta e atas, integra o pedido de validação e será auditado pelo verificador; a SEMAC e o CEMAC avaliam a suficiência e podem condicionar o avanço a ajustes. A vinculação de parcelas de pagamento a marcos sociais aferidos — além de metas biofísicas — deve constar explicitamente do edital, conforme diretriz já registrada.

No tocante à integração tecnológica, o contrato obriga o desenvolvedor a utilizar padrões e interfaces do RECA-SE. Isso significa publicar metadados conforme ISO 19115, manter controle de versão com integridade por hash, adotar autenticação ICP-Brasil quando aplicável, e empacotar dados e scripts de processamento de modo

reprodutível. Também implica expor APIs ou rotinas de ingestão para o portal estadual, em formatos abertos (GeoTIFF, GeoPackage, CSV) e com descrição pública para auditorias e reuso. Essas obrigações derivam do desenho do RECA-SE e de seu módulo de transparência e integram o núcleo de "dados como infraestrutura" do programa.

A gestão de risco operacional deve ser tratada no plano de trabalho. O desenvolvedor apresenta matriz com identificação e respostas para riscos de campo (acesso, segurança, perda de parcela), riscos climáticos (eventos extremos que afetem cronograma), riscos de dados (falhas de sensores, lacunas de séries) e riscos de integridade (sinais anômalos de degradação). Para cada risco, define-se gatilho, resposta e evidência; os relatórios trimestrais incluem a atualização dessa matriz e o cumprimento de medidas de mitigação. O ITPS-SE acompanha tecnicamente e recomenda ajustes; a Desenvolve-SE concilia desembolsos a esses marcos; o CEMAC supervisiona a integridade sistêmica. Esse encadeamento já foi proposto na governança operacional do piloto.

Para evitar fragmentação contratual, recomenda-se dividir o escopo em macro-entregas, mas com uma única liderança técnica responsável. Subcontratações especializadas — por exemplo, laboratório de carbono do solo, campanhas destrutivas controladas para calibração alométrica, ou aquisição de imagens de alta resolução após evento extremo — podem ser previstas, desde que com cadeia de custódia inequívoca e responsabilização do contratado principal. Todas as subcontratações devem obedecer aos mesmos padrões de dados, integridade e transparência exigidos ao desenvolvedor, inclusive com direito de auditoria pelo Estado.

O vínculo com a certificadora e com o verificador independente exige coordenação contratual. Embora a certificadora não seja parte deste contrato, o desenvolvedor deve organizar o dossiê de validação e dar suporte técnico às respostas a achados de auditoria, mantendo o cronograma acordado com a SEMAC e com a Desenvolve-SE. A comunicação com o verificador se dá por meio de canais oficiais e com compartilhamento de dados via repositório institucional, preservando a trilha de auditoria. A elegibilidade de verificadores e a exigência de acreditação e experiência em ARR são tratadas no subtítulo 7.2, mas o desenvolvedor precisa planejar disponibilidade da equipe para inspeções de campo e revisões documentais no período acordado.

A coerência com o arranjo financeiro do piloto aparece nas cláusulas de preço e revisão. O contrato pode adotar preço global com parcelas atreladas a marcos, combinando remuneração fixa de implantação e operação do MRV com componente

variável por tonelada efetivamente emitida e registrada, dentro de teto contratual. A revisão de escopo e prazos por caso fortuito ou força maior segue o fluxo de portos de controle e exige recomposição de cronograma físico-financeiro submetida à SEMAC, com parecer do ITPS-SE. O FEAAC reconcilia os pagamentos com eventos no registro e publica a execução por subconta, como parte da transparência do programa.

Por fim, a seleção do desenvolvedor deve observar a arquitetura documental do programa. O manual de procedimentos operacionais, previsto no Produto 5.2, explicita os dossiês temáticos e as assinaturas responsáveis em cada etapa; o edital e o contrato devem remeter a esse manual e torná-lo vinculante, inclusive quanto ao conteúdo mínimo dos relatórios técnicos, às listas de checagem de QA/QC e às formas de publicação no portal estadual. Essa padronização simplifica auditorias, reduz custos de transação e melhora a comparabilidade entre rodadas futuras do programa.

Com esse desenho, a contratação do desenvolvedor deixa de ser mera aquisição de serviços e passa a ser um mecanismo de governança do próprio ativo ambiental, ao alinhar incentivos econômicos, requisitos metodológicos, transparência e integridade social. O resultado esperado é um projeto ARR em caatinga tecnicamente sólido, auditável e bancável, capaz de gerar créditos registrados no proto-RECA-SE com trilha documental completa e reputação compatível com as exigências de compradores institucionais.

8.2. VERIFICADOR INDEPENDENTE: ACREDITAÇÃO, ESCOPO E CRONOGRAMA DE AUDITORIAS

A função do verificador independente é atestar, com base em padrões internacionais e evidências reprocessáveis, que as declarações de GEE do piloto em caatinga refletem de forma fiel e justa as remoções líquidas mensuradas e registradas. No arranjo institucional do programa, a verificação é componente obrigatório do ciclo do crédito e integra o próprio fluxo operacional do RECA-SE e do MRV-SE, com resultados homologados e sincronizados no registro e no hub federal quando aplicável.

O Produto 5.2 já especifica a verificação por entidades acreditadas sob ISO 14065 e a sua posição no ciclo de vida do crédito; o documento detalha o escopo, os requisitos de independência, a competência técnica mínima, os produtos de auditoria e o cronograma, amarrando cada etapa aos marcos do MRV-SE e aos eventos do proto-RECA-SE.

A elegibilidade do verificador exige acreditação vigente sob ISO 14065 para validação e verificação de afirmações de GEE, com escopo compatível com projetos de reflorestamento e revegetação e, quando aplicável, com arranjos jurisdicionais. Exige-se, cumulativamente, experiência comprovada em auditorias que utilizem diretrizes IPCC 2006 com o Refinement 2019 e domínio de metodologias reconhecidas pelo mercado voluntário, em especial a VM0047 quando esta orientar o piloto.

O presente Relatório posiciona a verificação como requisito indispensável à integridade e à comercialização dos créditos; o edital da Desenvolve-SE deve traduzir esse requisito em critérios de qualificação, incluindo demonstração de sistemas de gestão de qualidade, trilha de independência e capacidade de operar com dados geoespaciais, inventários estratificados e módulos de carbono do solo.

A independência é condição estruturante. O verificador e suas partes relacionadas não podem manter relação de consultoria técnica, desenvolvimento de projeto, intermediação de venda ou participação societária no proponente ou em compradores vinculados à operação verificada. O conflito potencial é declarado ex ante e monitorado durante todo o contrato.

Na governança apresentada neste Relatório e com base no estabelecido na Lei Estadual nº 9.364, de 5 de janeiro de 2024, do Estado de Sergipe, fica estabelecido que a SEMAC deve garantir, já nos termos de referência, obrigações claras de auditoria de salvaguardas e condicionamento de desembolsos a marcos sociais verificados, o que inclui independência do auditor também na avaliação de salvaguardas. O CEMAC acompanha essas salvaguardas em governança colegiada, e o verificador tem acesso pleno aos dados e aos espaços de checagem social.

O escopo de trabalho cobre quatro dimensões interligadas. A primeira dimensão é a verificação metodológica, que examina aderência formal à metodologia declarada, às diretrizes IPCC e aos procedimentos padronizados do MRV-SE, incluindo desenho amostral, estimadores estratificados, propagação de incertezas, razões raiz-parte aérea e regras de ESM para carbono do solo. A segunda, é a verificação de dados, que avalia o ciclo de vida de dados brutos, transformações, scripts, metadados e controles de integridade, com reexecução independente de rotinas críticas. A terceira, é a verificação espacial, que confere geometrias de projeto, estratos e parcelas, séries NDVI e produtos de classificação, e valida a inexistência de distúrbios não tratados, com apoio de camadas públicas e evidências produzidas pelo MRV-SE. A quarta, é a verificação social e de salvaguardas, que analisa cumprimento de CLPI quando aplicável, execução de planos de

repartição de benefícios e existência e efetividade de canais de queixa. Esses elementos estão coerentes com o que o Produto 5.2 atribui ao MRV-SE e ao registro em matéria de dados, interoperabilidade e transparência, e com a governança prevista para SEMAC, Desenvolve-SE, ITPS-SE e CEMAC.

A abordagem de verificação adota níveis de asseguração proporcionais ao risco. Para a emissão inaugural do piloto, recomenda-se asseguração razoável com procedimentos estendidos sobre amostras e séries remotas, seguida de asseguração limitada nos ciclos intermediários e asseguração razoável em recontagens quinquenais, conforme o calendário de reavaliação metodológica do programa. O Produto 5.2 prevê auditorias independentes quinquenais e revisão periódica de metodologias e fatores; esse regime é refletido no contrato do verificador, com escopo ampliado nas janelas de revisão.

A competência técnica mínima da equipe do verificador inclui auditor líder com certificação e experiência em auditorias GEE, especialista florestal com prática em alometria e inventários em ambientes semiáridos, especialista em solos com experiência em ESM e análise laboratorial, analista de sensoriamento remoto com domínio de processamento de Sentinel-2 e validação de classificações e profissional de dados responsável por reproduzir os pipelines e avaliar metadados ISO 19115, OGC e requisitos de segurança.

Considerando a ecologia da caatinga, é desejável experiência específica em arquitetura multiestemática, variação sazonal acentuada de índices de vegetação e respostas ecofisiológicas à variabilidade hídrica, além de familiaridade com bases nacionais como MapBiomas, DETER e TerraBrasilis, que são fontes acessórias de verificação espacial utilizadas pelo MRV-SE.

A preparação da auditoria começa com análise documental do dossiê técnico disponibilizado pelo desenvolvedor via repositório institucional do MRV-SE. O verificador verifica a completude de metadados, a integridade por hash e a correspondência entre versões publicadas e arquivos submetidos. Esse repositório foi concebido para armazenar documentos comprobatórios de verificação e permitir rastreamento do ciclo de vida do crédito no registro, inclusive a publicação do relatório de auditoria no portal. A presença desses artefatos, já prevista no Produto 5.2, reduz custo de due diligence e torna a auditoria reprodutível por terceiros.

A verificação de campo é planejada com base em avaliação de risco e estratificação. Emissões iniciais exigem visita a fração estatisticamente significativa de parcelas permanentes e subparcelas, com reamostragem independente e comparação de medidas dendrométricas, verificação de croquis, marcos e coordenadas e inspeção de condições de manejo e proteção.

Em estratos com maior variância ou com sinais remotos atípicos, intensifica-se a amostragem. Para o módulo de solo, a auditoria confere procedimentos de amostragem, identificação de camadas, determinações de densidade aparente com anéis indeformados, cadeia de custódia até laboratório, calibração e participação em ensaios de proficiência. Esses procedimentos respondem diretamente às escolhas metodológicas documentadas nos Capítulos 4.2 e 4.3 e à disciplina de QA/QC prevista no MRV-SE.

A verificação espacial reproduz, em ambiente do verificador, o pré-processamento de cenas Sentinel-2, máscaras de nuvem e composição mensal por mediana, e compara séries NDVI e classificações com as publicadas, avaliando consistência temporal e espacial. O verificador confere, por amostra, a coerência entre mudanças observadas e registros de manejo, e procura sinais de distúrbio não contabilizados com apoio de alertas DETER e cicatrizes de queimadas. Essa dimensão é mandatória porque o MRV-SE torna públicas camadas geoespaciais e séries de índices, com metadados e documentação reprodutível, o que facilita a replicação por auditorias externas e pela sociedade civil.

A verificação social observa o cumprimento de salvaguardas, em especial a CLPI quando houver povos e comunidades tradicionais potencialmente afetados, a existência e execução de planos de repartição de benefícios e a efetividade de canais de queixa. Os desembolsos do fundo devem ser condicionados a marcos sociais, e que os termos de referência incluam auditoria de salvaguardas; o verificador deve examinar esse componente com a mesma profundidade do componente biofísico, registrando achados e recomendações e classificando materialidade.

Os produtos formais da auditoria incluem três documentos encadeados. O primeiro documento é o Plano de Verificação, que descreve objetivos, critérios, amostragem, testes e cronograma, referindo explicitamente diretrizes IPCC, metodologia aplicada, padrões ISO e procedimentos do MRV-SE. O segundo, é o Relatório de Constatações, com classificação de achados em conformidades, não conformidades e observações, e indicação de causas-raiz quando cabível; esse relatório é encaminhado ao proponente para plano de ação corretiva. O terceiro, é o Relatório de Verificação e a

Declaração de Asseguração, que apresentam a opinião do verificador sobre a afirmação de GEE e o volume líquido elegível à emissão, com descrição de escopo, limitações, nível de asseguração e independência. O Produto 5.2 exige publicação desses relatórios no portal do RECA-SE, com assinatura digital e vínculo ao lote emitido.

A materialidade e o tratamento de incerteza orientam decisões de crédito. Não conformidades materiais relacionadas a desenho amostral, medições, modelos ou processamento remoto afetam diretamente o volume elegível e devem ser sanadas antes da emissão, com reprocessamento e, se necessário, complementação amostral. Não conformidades não materiais podem ser tratadas por ações corretivas com prazos definidos sem bloquear a emissão, desde que não afetem o volume ou a integridade contábil. O MRV-SE, por sua vez, registra as retificações e atualiza metadados e hashes, assegurando a cadeia de custódia documental. Essa disciplina espelha o que o Produto 5.2 chama de "integração total com o RECA-SE e transparência pública", em que cada relatório MRV e cada lote recebem assinatura digital e ficam disponíveis em formato aberto para auditoria pública e científica.

A interoperabilidade com o SINARE e com registradores externos condiciona etapas da verificação quando houver etiquetagem ou uso internacional. O relatório do verificador deve trazer, quando cabível, referências explícitas a requisitos do programa certificador e a sincronização com eventos de autorização e ajuste correspondente, de modo que a emissão, a transferência e a aposentadoria possam ser refletidas no proto-RECA-SE e espelhadas no hub federal. A título de lembrança já ficou estabelecida, no conjunto de relatórios do Módulo 5 do contrato 08/2025 com SEMAC, a necessidade de interoperabilidade, unicidade de unidades e prevenção de dupla contagem, com metadados mínimos que incluem certificadora e verificador; o verificador confirma a consistência entre as plataformas.

O cronograma de auditorias acompanha o caminho crítico do piloto. Na fase de preparação, o verificador participa de reunião de *kick-off* com SEMAC, Desenvolve-SE e ITPS-SE para alinhar escopo e interfaces, sem acesso a funções de desenho ou execução. A primeira janela de auditoria ocorre ao final do inventário inicial e da consolidação das séries remotas do primeiro ciclo, com foco na validação de método e dados.

A emissão inaugural é precedida de verificação com asseguração razoável e visitas de campo. Ciclos subsequentes anuais podem usar asseguração limitada, com intensificação de testes por risco e eventos; a cada cinco anos, realiza-se verificação

ampliada que coincide com a revisão metodológica prevista no programa. Os relatórios são homologados pela instância competente e registrados no RECA-SE, com sincronização com o SINARE quando aplicável. Esse encadeamento respeita o que o Produto 5.2 descreve como verificação obrigatória com periodicidade definida, homologação e registro.

A interface com o RECA-SE e o FEAAC é direta. A emissão no registro somente é liberada após a conclusão da verificação com opinião favorável e registro do relatório e da declaração no dossiê do lote. Eventos financeiros atrelados a verificação, como pagamento ao desenvolvedor por resultado, pagamento de taxas e constituição de reservas, são conciliados no FEAAC contra o evento de emissão no registro, preservando a rastreabilidade entre dado técnico e fluxo de caixa. O Produto 5.2 detalha que o registro armazena documentos de auditoria e funciona como clearing estadual para as operações, o que exige que o verificador entregue versões digitais assinadas e metadados que permitam indexação e busca pública.

A governança do processo assegura controle social e técnico. O verificador apresenta, em audiência pública anual ou sessão do CEMAC, um sumário executivo dos resultados, com linguagem acessível e sem prejuízo de detalhes técnicos disponibilizados no portal. Instâncias como a CT-MRV, a Comissão de Salvaguardas e o Comitê de Transparência, previstas no Produto 5.2, podem encaminhar recomendações e solicitar ações corretivas quando identificarem riscos sistêmicos ou padrões de não conformidade. O ITPS-SE, como curador técnico do MRV-SE, acompanha a execução e mantém o repositório de dados e metadados, garantindo que as bases de auditoria permaneçam disponíveis para reanálises independentes.

Os termos contratuais contemplam confidencialidade e transparência. Dados pessoais, coordenadas de parcelas e cláusulas comerciais sensíveis são protegidos conforme a política de acesso; entretanto, todos os elementos necessários à reprodutibilidade e ao controle social, incluindo metodologias, scripts, metadados e resultados consolidados, são publicados. O Produto 5.2 determina que o portal disponibilize consultas, dashboards e relatórios de integridade, e que cada relatório MRV e cada lote de crédito contem com assinatura digital e link para o relatório de auditoria; o contrato do verificador torna essa obrigação expressa e sancionável.

Os critérios de aceitação da auditoria são objetivos. Considera-se verificação concluída quando: a) o verificador emite declaração de asseguração favorável dentro do nível acordado; b) todas as não conformidades materiais foram sanadas e evidenciadas;

c) o dossiê do lote no RECA-SE contém relatório, declaração, metadados, hashes e assinaturas digitais; d) a reconciliação com o SINARE, quando cabível, encontra-se preparada para espelhamento. O evento de conclusão torna-se gatilho para emissão, recolhimento de taxas e, quando contratualmente previsto, liquidação de parcelas de ERPAs e execução de repartição de benefícios, seguindo as regras mencionadas no subtítulo 6.3 e Capítulo 5.4.

A melhoria contínua fecha o ciclo. O verificador elabora, ao término de cada ciclo, um relatório de lições aprendidas que trate de eficiência amostral, consistência de séries, ganhos potenciais em QA/QC e recomendações de aprimoramento metodológico. Essas recomendações alimentam a revisão quinquenal prevista no Produto 5.2 e orientam ajustes nos manuais de procedimentos, nos termos de referência e nas rotinas do MRV-SE e do RECA-SE, com deliberação pelo CEMAC quando houver impacto institucional relevante.

Com esse desenho, a verificação independente funciona como mecanismo de garantia de qualidade técnica, social e contábil, articulada com o MRV-SE, com o proto-RECA-SE, com o FEAAC e com a governança colegiada do programa. O resultado esperado é um processo de emissão que combina robustez científica, trilha de auditoria íntegra e previsibilidade regulatória, condição necessária à aceitação por certificadoras e compradores institucionais e à escalabilidade do modelo pós-piloto.

8.3. CONSULTORIAS TÉCNICAS E JURÍDICAS: PAPÉIS E ENTREGÁVEIS

A contratação de consultorias especializadas complementa a atuação do desenvolvedor e do verificador ao prover capacidade técnica focalizada, continuidade institucional e blindagem jurídico-regulatória ao longo do ciclo do piloto em caatinga.

O desenho parte da governança previamente definida para SEMAC, Desenvolve-SE, ITPS-SE e CEMAC, traduzida em fluxos administrativos e técnicos que exigem produtos padronizados, interoperáveis com o MRV-SE e espelhados no proto-RECA-SE. As consultorias atuam como extensões instrumentais dessas funções, sem substituí-las, e com obrigações explícitas de independência, transparência e entrega reprocessável.

No eixo científico-técnico, a consultoria de inventários e biometria florestal dá suporte a tarefas intensivas em método e estatística que excedam a capacidade do desenvolvedor, com foco em desenho amostral avançado, propagação de incerteza e

calibração alométrica específica para caatinga. Seus entregáveis incluem notas técnicas sobre estratificação e alocação de amostras, protocolos de campo harmonizados com o MRV-SE, relatórios de consistência e scripts de cálculo documentados. O alinhamento formal às diretrizes IPCC 2006 e ao Refinement 2019 para AFOLU, e a aderência à metodologia de ARR aplicável, são condições de aceitabilidade de cada produto, com referência expressa à versão metodológica utilizada, garantindo compatibilidade a auditorias posteriores.

A consultoria de solos e geoquímica organiza e executa o módulo de carbono do solo em regime de massa equivalente, cobrindo desenho de amostragem, procedimentos laboratoriais, controle de qualidade e análise estatística de séries. Entrega planos de amostragem por estrato, POPs de coleta indeformada e composta, especificações de laboratório e relatórios de incerteza com componentes explícitos de variância de amostragem e de método. A produção é integrada ao MRV-SE por metadados padronizados e hashes de integridade, aptos a serem publicados no portal de dados climáticos e vinculados aos dossiês de verificação, em consonância com a política de transparência do programa.

A consultoria de sensoriamento remoto e geoinformação opera como curadoria de séries orbitais e produtos temáticos, desde o pré-processamento de cenas Sentinel-2 até a publicação de índices de vegetação e mapas operacionais. Seus entregáveis incluem pipelines reprodutíveis de composição mensal, máscaras de nuvem e sombra, estimativas de acurácia, relatórios de validação cruzada e camadas prontas para ingestão no RECA-SE, sempre com metadados ISO 19115 e especificações OGC. A documentação deve permitir replicação por terceiros e auditoria independente, reforçando o papel do MRV-SE como eixo de rastreabilidade.

No eixo social e salvaguardas, a consultoria de CLPI e proteção de direitos territoriais estrutura o diálogo com comunidades potencialmente afetadas e organiza mecanismos de queixas e de repartição de benefícios, em coordenação com a SEMAC e sob supervisão colegiada do CEMAC. Entre os entregáveis constam diagnóstico de partes interessadas, plano de engajamento culturalmente adequado, cronograma e atas de consulta, protocolo de consentimento quando aplicável, desenho do mecanismo de queixas e relatório de conformidade com salvaguardas. Esses produtos condicionam desembolsos do fundo e a evolução dos marcos do projeto, em linha com a exigência de que metas sociais verifiquem a liberação de recursos, e não apenas metas biofísicas.

A consultoria de dados, interoperabilidade e segurança complementa a camada técnica com padrões de metadados, versionamento, assinatura digital e APIs públicas, garantindo que cada banco de dados, documento técnico e mapa tenha identificação persistente, cadeia de custódia e licença de uso adequadas. Entrega o catálogo de metadados, o dicionário de dados, as rotinas de publicação e o manual de integração com o registro, de modo a assegurar que a emissão e os eventos de transferência possam ser reconciliados automaticamente pelo RECA-SE e pelo FEAAC. Essa função é coerente com o desenho de "dados como infraestrutura" previsto no programa e com a necessidade de sincronização permanente com o SINARE.

No eixo jurídico-regulatório, a consultoria jurídica especializada sustenta a conformidade do piloto com normas estaduais e federais, padrões de certificação e compromissos internacionais. Seu escopo cobre, entre outros, análise dominial e fundiária da área piloto, due diligence regulatória e ambiental, mapeamento de licenças e autorizações necessárias, pareceres sobre compatibilidade metodológica e sobre cláusulas contratuais essenciais. Produz minutas e revisões de termos de referência e contratos do desenvolvedor e do verificador, modelos de ERPA, editais e contratos de leilão, contratos de PSA e acordos de cooperação, conforme o rol de instrumentos essenciais previstos nos apêndices deste Relatório. Também elabora pareceres sobre interoperabilidade com o SINARE e regras de não dupla contagem, além de análises sobre autorização e eventual ajuste correspondente em cenários de uso internacional, refletindo a integração programática com o RECA-SE.

A consultoria fiscal-contábil e de governança financeira atua no desenho do fluxo de caixa e de controles do FEAAC, na conformidade com regras de contas vinculadas, reservas técnicas e buffers e na trilha de auditoria contábil entre eventos do registro e lançamentos financeiros. Entrega matrizes de conciliação RECA-SE↔FEAAC, notas técnicas sobre reconhecimento de receitas por resultado e sobre provisões para reversões, além de manuais de prestação de contas e de publicização de relatórios trimestrais, reforçando a transparência prevista no programa e reduzindo custo de auditorias externas.

A articulação entre consultorias se dá por instrumentos de governança já indicados no Produto 5.2: câmaras técnicas e comitês de transparência e salvaguardas, que organizam revisões por pares, curadoria técnica e controle social. Essa infraestrutura colegiada assegura que produtos especializados convirjam para decisões administrativas

e regulatórias, com atas, pareceres e votos registrados e publicados, criando previsibilidade e *accountability*.

Os termos de referência das consultorias adotam uma estrutura comum para facilitar integração, fiscalização e auditoria. Cada TOR explicita objetivos, escopo e exclusões; requisitos de qualificação e independência; referência normativa e metodológica; entregáveis com formato, metadados e padrões de assinatura; cronograma físico-financeiro vinculado a marcos do MRV-SE e do RECA-SE; indicadores de qualidade e tolerâncias; regras de confidencialidade e transparência; e critérios de aceitação e de correção. Os marcos de pagamento estão condicionados à publicação dos produtos no repositório institucional com metadados completos e hashes de integridade, à aprovação técnica pelo ITPS-SE e à homologação administrativa pela SEMAC, seguindo a lógica de portos de controle.

A gestão de riscos na contratação de consultorias se materializa em cláusulas claras de remediação e de substituição de equipe, de modo a preservar continuidade operacional. Em casos de atraso material, falha metodológica ou não conformidade relevante com padrões de dados e transparência, o contrato prevê plano corretivo com prazos e, se necessário, substituição de responsáveis técnicos. A compatibilidade com a disciplina de garantias e contas vinculadas já estabelecida para o piloto assegura que correções tenham lastro financeiro e que o risco moral seja mitigado por desembolsos estritamente condicionados a evidências.

A integração final dos produtos das consultorias ocorre no dossiê técnico-institucional do projeto, que acompanha a submissão para validação, a verificação e os eventos de emissão, transferência e aposentadoria. Esse dossiê combina relatórios, bases de dados, scripts e metadados com identificação persistente e assinatura digital, e permanece disponível em formato aberto conforme a política de transparência, permitindo auditoria pública e científica e diminuindo a assimetria de informação para financiadores e compradores. O arranjo traduz o compromisso do programa com integridade e governança e cumpre a função de preparar a escala pós-piloto.

Com esta arquitetura, as consultorias técnicas e jurídicas deixam de ser contratações ad hoc e passam a integrar o sistema de integridade do piloto, reduzindo riscos metodológicos, jurídicos e de reputação, acelerando a tomada de decisão e encurtando ciclos de auditoria e de captação. Cada produto é simultaneamente um insumo técnico e um artefato de governança, dimensionado para suportar o caminho crítico do projeto e a futura replicação em escala estadual.

8.4. *DUE DILIGENCE* TÉCNICA, FUNDIÁRIA, AMBIENTAL E SOCIAL

A *due diligence* do piloto em caatinga é concebida como um procedimento integrado que antecede e acompanha todo o ciclo do crédito, evitando decisões baseadas em premissas frágeis e reduzindo a probabilidade de contestações técnicas, jurídicas ou sociais. O desenho deriva da governança previamente estabelecida para SEMAC, Desenvolve-SE, ITPS-SE e CEMAC, que distribui responsabilidades entre regulação e supervisão pública, execução financeira e contratações, medição e verificação técnico-científica e controle social colegiado. Essa repartição é convertida em atos administrativos, fluxos decisórios, instrumentos contratuais e métricas de desempenho, formando um método replicável de seleção, implantação e auditoria do piloto.

O eixo técnico consolida a validação de premissas biofísicas e de mensuração antes da mobilização financeira e de compromissos contratuais. A *due diligence* técnica verifica a coerência entre a linha de base e a adicionalidade declaradas, o desenho amostral estratificado, os protocolos de inventário para biomassa aérea e abaixo do solo, o módulo de carbono do solo em regime de massa equivalente, as séries remotas e os procedimentos de QA/QC.

Cada etapa deve apresentar dossiês reprocessáveis com dados brutos, transformações, scripts e metadados em padrão ISO, preparados para publicação e auditoria no MRV-SE e no proto-RECA-SE. O Produto 5.2 estabelece que o registro armazena documentos comprobatórios de verificação e permite rastrear todo o ciclo de vida do crédito, exigindo, portanto, trilha de auditoria íntegra desde o diagnóstico técnico inicial. Essa arquitetura de dados e de transparência é o parâmetro de aceitabilidade dos dossiês de due diligence técnica.

O eixo fundiário verifica domínio, disponibilidade jurídica da área e regularidade cadastral e registral. Para área pública, exige-se ato de afetação específico para fins de restauração e geração de créditos, com menção a permanência, salvaguardas e repartição de benefícios. Para eventual PPP, exige-se cadeia dominial hígida, matrícula atualizada sem ônus impeditivos, CAR válido e compatibilidade com zoneamentos e restrições ambientais.

A unidade jurídica da SEMAC e a Procuradoria-Geral do Estado realizam análise do dossiê fundiário e da minuta do ato de afetação ou, em PPP, do contrato com o particular, incluindo cláusulas de permanência e de repartição. Identificada inconsistência, o diagnóstico retorna à equipe técnica para complementação, sem avançar

em marcos metodológicos ou financeiros. O cronograma dessa diligência integra a fase de seleção, com janelas explícitas para varredura remota, visitas de campo, entrevistas e coleta documental, culminando em decisão formal de seleção acompanhada do ato de afetação ou do termo de cooperação, conforme a alternativa escolhida.

O eixo ambiental trata de elegibilidade, riscos de reversão e conformidade com licenças e autorizações. A *due diligence* ambiental combina diagnóstico biofísico e análise de conformidade regulatória. O diagnóstico biofísico inclui caracterização de cobertura e uso do solo com séries temporais, identificação de passivos ambientais e de fatores de risco, como histórico de fogo e desmatamento, e avaliação da integridade ecológica de estratos-zona do piloto. A análise regulatória verifica licenças e autorizações necessárias à implantação, manejo, cercamentos e acesso, além de compatibilidade com áreas protegidas e com planos de manejo existentes.

Considerando que o registro estadual é o núcleo contábil e tecnológico do programa e contém o acervo documental de verificação e auditoria, a due diligence ambiental precisa gerar peças documentais que possam ser publicadas e vinculadas futuramente a eventos de emissão, transferência e aposentadoria. Isso implica rotinas de metadados e hashes desde a origem, como requisito de reprodutibilidade e transparência.

O eixo social e de salvaguardas verifica riscos e obrigações com comunidades potencialmente afetadas, compatibilidade com CLPI quando aplicável e desenho do mecanismo de queixas e de repartição de benefícios. Os termos de referência devem conter obrigações claras de desenho e de auditoria de salvaguardas e que os desembolsos do fundo estadual sejam condicionados a marcos sociais verificados.

A governança prevista no Produto 5.2 inclui instâncias específicas para salvaguardas e transparência, o que exige, já na *due diligence*, diagnóstico de partes interessadas, plano de engajamento culturalmente adequado, protocolo de consulta e evidências de consentimento quando pertinente. Esses instrumentos, uma vez aprovados, tornam-se condições precedentes para avanço metodológico e financeiro.

A integração entre os quatro eixos é operacionalizada por uma sequência de "portos de controle" e evidências mínimas. No primeiro porto, a SEMAC autoriza o escopo do diagnóstico integrado e valida termos de referência de inventários, séries remotas e diligências fundiárias e sociais. No segundo, aprova a seleção de área com base em dossiê fundiário e ambiental suficiente e em relatório social, acompanhados das peças jurídicas de afetação ou de cooperação. No terceiro, aprova o plano amostral e o

cronograma de inventários e de sensoriamento remoto. No quarto, aprova o dossiê de validação para submissão à certificadora e a contratação do verificador. No quinto, autoriza a emissão no registro provisório após verificação homologada. Cada porto exige parecer técnico do ITPS-SE, parecer jurídico e deliberação colegiada quando envolver integridade ou salvaguardas, com atas e despachos conclusivos, formando a cadeia de responsabilidade e de transparência exigida pelo programa.

A matriz documental da due diligence é padronizada para dialogar com o MRV-SE e com o proto-RECA-SE. O "Dossiê de Seleção de Área" reúne: relatório fundiário com cadeias dominiais, certidões e mapas; relatório ambiental com séries remotas, mapas de sensibilidade e passivos; relatório social com mapeamento de atores e plano de engajamento; e pareceres técnicos e jurídicos.

O "Dossiê Técnico de Mensuração" reúne: plano amostral e protocolos de inventário, banco de dados de campo com dicionário, relatórios de laboratório de solo e de QA/QC e pipelines de pré-processamento de índices de vegetação com metadados.

O "Dossiê de Conformidade e Registro" consolida: minutas contratuais essenciais, metadados mínimos para unicidade e rastreabilidade, declarações de independência e de integridade e checklists de interoperabilidade com o SINARE. A lógica do RECA-SE, que atribui identificadores únicos, armazena documentos comprobatórios de verificação e provê rastreabilidade do ciclo do crédito, determina o conteúdo e a forma desses dossiês desde a fase de diligência.

O encadeamento temporal da *due diligence* acompanha o caminho crítico do piloto. A fase de seleção e diagnóstico ocupa janela de três a quatro meses, com varredura remota e construção de portfólio curto de polígonos, seguida de diligências fundiárias e sociais em campo, fechamento de diagnóstico integrado e submissão à aprovação colegiada. Eventos climáticos e sazonalidade de campo são considerados para balizar campanhas e cronogramas de coleta. O caminho crítico encerra-se com a decisão formal de seleção, o ato de afetação ou o termo de cooperação e a autorização para iniciar a etapa metodológica e de pré-validação junto à certificadora. Essa organização temporal não apenas reduz risco jurídico e reputacional como também condiciona a mobilização de recursos financeiros a evidências já disponíveis e registráveis.

A rastreabilidade entre *due diligence* e operações no registro é condição de integridade. O Produto 5.2 define que o RECA-SE funciona como clearing estadual, registra contratos e cessões e garante compatibilidade com o SINARE e registradores

internacionais, com aplicação de regras de ajuste correspondente quando for o caso. Assim, os artefatos da diligência precisam antecipar esse espelhamento: metadados mínimos, hashes, assinaturas digitais, dados geoespaciais padronizados e referências a programas certificadores e verificadores elegíveis. A disciplina de unicidade e de interoperabilidade transforma a diligência de um checklist estático em uma etapa nativa do ciclo do crédito, com objetos que transitarão para a emissão, transferência e aposentadoria.

A governança social e de transparência molda o método. As instâncias colegiadas previstas no Produto 5.2, como a Comissão de Salvaguardas Sociais e Ambientais e o Comitê de Transparência e Dados Climáticos, supervisionam, respectivamente, o cumprimento de critérios de equidade, CLPI e direitos territoriais, e a publicação e auditoria de dados no registro. A *due diligence* social inclui a operacionalização dessas instâncias, com cronograma de audiências, termos de referência e minutas de relatórios públicos. Os desembolsos do FEAAC e as decisões regulatórias só avançam quando os marcos sociais e de transparência forem cumpridos e evidenciados no repositório institucional, de acordo com a política de publicidade do programa.

A compatibilização com o verificador independente é antecipada na diligência. O Produto 5.2 posiciona auditorias por entidades acreditadas como etapa obrigatória com periodicidade definida e homologação no registro. A *due diligence* técnica, fundiária, ambiental e social precisa produzir insumos que reduzam o custo e o tempo dessas auditorias: bases de dados e scripts reprodutíveis, relatórios com materialidade explicitada, mapas georreferenciados e cadastros de beneficiários de PSA com trilha de verificação. O resultado esperado é a emissão de opinião de asseguração com menor retrabalho e maior previsibilidade, alinhada ao calendário de verificação e às janelas de emissão do piloto.

A matriz de riscos da *due diligence* é binária em termos de decisão e gradual em termos de mitigação. Riscos fundiários materiais, como conflito de posse ou gravames impeditivos, têm efeito impeditivo até saneamento. Riscos ambientais estruturais, como recorrência de incêndios não mitigados na geometria do projeto, exigem plano de manejo e de proteção com recursos e responsabilidades tipificados. Riscos técnicos, como incerteza acima do limite meta por estrato, acionam reforço amostral e revisão de alometria. Riscos sociais, como ausência de CLPI quando aplicável, impedem avanço de fases e desembolsos. A classificação de materialidade espelha as práticas do programa e do registro, com reporte público e condicionantes explícitos.

A documentação final de *due diligence* deve ser incorporada ao acervo do registro e pode ter por referência os modelos expostos no apêndice deste Relatório, que incluem termos de referência e minutas contratuais essenciais, protocolos técnicos e modelo de metadados e trilha de auditoria. Essa integração garante reuso imediato dos artefatos nas fases subsequentes de contratação, validação, verificação, emissão e comercialização, economizando tempo e reduzindo assimetria de informação para auditores, financiadores e compradores. A padronização torna o método replicável em novas áreas e ciclos, atendendo ao objetivo do documento de ser um anteprojeto com viabilidade operacional para escala.

Com esse arranjo, a due diligence do piloto deixa de ser um rito formal e passa a funcionar como o primeiro nível de controle do sistema, conectando governança, técnica, jurídico e social à arquitetura de dados e de registro. O efeito prático é reduzir riscos de execução e de reputação, encurtar o ciclo de verificação e viabilizar a emissão de créditos aceitos por certificadoras e compradores, com transparência e rastreabilidade desde a origem.

9. MODELAGEM TÉCNICO-FINANCEIRA DO PILOTO

Este Capítulo consolida os parâmetros biofísicos e econômicos do piloto em caatinga e os organiza em uma modelagem transparente, replicável e auditável. As fórmulas são apresentadas com explicações passo a passo, de modo que um leitor não especialista consiga acompanhar as hipóteses, as contas e as fontes.

Todas as variáveis usadas para estimar remoções líquidas e receitas associadas são ancoradas em referências técnicas do IPCC e em literatura específica de caatinga, com cenários conservador, base e alto que cobrem a variabilidade ecológica e operacional do bioma. A modelagem por hectare permite escalonar os resultados para qualquer área A, preservando a lógica de incerteza e os descontos metodológicos definidos nos Capítulos 4 e 5[92].

[92] Fontes: *Advancing forest carbon projections requires improved modelling and an integrated ecological-economic framework* (Fuller et al., 2025); *Two large-scale forest scenario modelling approaches for reporting CO_2 removal: a comparison for Romanian forests* (Blujdea et al., 2021); *Modelling forest carbon stock changes as affected by harvest and natural disturbance: CBM case study* (Pilli et al., 2016).

9.1. PARÂMETROS DE SEQUESTRO E CURVAS DE CRESCIMENTO

A quantificação das remoções no piloto parte da mensuração anual de incremento de biomassa lenhosa por hectare e de sua conversão para carbono e CO_2 equivalente, com ajustes para biomassa abaixo do solo e, quando aplicável, para o módulo de carbono do solo.

Em caatinga, estudos de campo e séries micrometeorológicas convergem para taxas anuais de sequestro líquido que variam, conforme o regime hídrico e a condição ecológica, entre aproximadamente 1,5 e 5,0 tCO_2e por hectare por ano, com valores mais baixos em fácies hiperxerófilas e mais altos em hipoxerófilas. Essa faixa é compatível com resultados recentes reportados por redes de pesquisa e por órgãos federais, que registram 1,5 a 3,0 $tCO_2e\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ nas áreas mais secas e até 5,0 $tCO_2e\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ nas mais úmidas[93].

A biomassa aérea acima do solo é estimada por equações alométricas aplicadas ao inventário do capítulo 4.2, com preferência por modelos que incluam densidade básica da madeira e altura, por exemplo AGB = a·(ρ·D²·H)^b, calibrados para espécies e grupos funcionais da caatinga. Estudos da Embrapa Semiárido e parceiros mostram forte correlação entre índices de vegetação como o NDVI e a biomassa lenhosa medida em parcelas, com biomassa variando, em áreas amostradas, de cerca de 6 a 61 $t\ ha^{-1}$ e coeficiente de determinação $R^2 \approx 0{,}70$ para regressões NDVI–biomassa. Essa evidência sustenta o uso integrado de campo e sensoriamento remoto para reduzir variância e identificar outliers na série anual de crescimento.

A conversão de biomassa seca para carbono utiliza a fração 0,47 recomendada pelo IPCC 2006 para lenhosas tropicais; a conversão de carbono para CO_2e usa o fator estequiométrico 44/12. Em termos práticos, $tCO_2e = AGB \cdot 0{,}47 \cdot (44/12)$. Se um hectare acrescenta 1,80 t de biomassa seca por ano, o carbono correspondente é $1{,}80 \cdot 0{,}47 = 0{,}846$

[93] Fontes: *Observatório Nacional da Dinâmica da Água e do Carbono no Bioma Caatinga (OndaCBC, 2024), A importância da Caatinga para o sequestro de carbono*; *Embrapa Semiárido (2023), Em quase uma década, anualmente Caatinga retirou da atmosfera 5,2 t de carbono por hectare ao ano*. Nota metodológica: A estimativa anual de remoções líquidas no piloto baseia-se na medição do incremento de biomassa lenhosa por hectare e sua conversão para carbono (C) e dióxido de carbono equivalente (CO_2e), somando biomassa aérea, biomassa abaixo do solo e, quando aplicável, carbono do solo, aplicando-se o fator 44/12 para CO_2e, escolhendo taxas para o bioma Caatinga na faixa de 1,5 a 5,0 $tCO_2e\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ conforme regime hídrico e condição ecológica, e escalando para a área A com aplicação dos descontos metodológicos (buffer, incerteza, adicionalidade) conforme capítulos 4 e 5, na fórmula: Receita = Preço × (Taxa líquida × A) × (1 – Buffer) × (1 – Fator de incerteza).

tC ha⁻¹ ano⁻¹ e o CO_2e é 0,846·3,667 ≈ 3,10 tCO_2e ha⁻¹ ano⁻¹. O projeto reportará, junto com o valor central, uma análise de sensibilidade com frações de carbono entre 0,45 e 0,50, que representam a amplitude observada em literatura e permitem quantificar a incerteza sistemática desse fator[94].

A inclusão da biomassa abaixo do solo segue razões raiz/parte aérea específicas de ambientes secos, com maior alocação subterrânea do que em florestas úmidas. A literatura tropical para savanas e florestas secas reporta R:S variando de 0,2 a 0,8, com valores em torno de 0,4–0,6 em formações secas e 0,12–0,17 em florestas úmidas; no piloto adota-se por estrato um valor central dentro do intervalo 0,20–0,35, como já estruturado no capítulo 4.2, e realiza-se calibração local quando possível. Numericamente, se AGB↑ anual é 1,80 t ha⁻¹ e R:S = 0,30, a biomassa radicular anual é 0,54 t ha⁻¹; o acréscimo total de biomassa é 2,34 t ha⁻¹, o que corresponde a 2,34·0,47·3,667 ≈ 4,02 tCO_2e ha⁻¹ ano⁻¹[95].

O módulo de carbono do solo é tratado com cautela quanto à creditabilidade em curto prazo, mas suas tendências são relevantes para a integridade do balanço. Regeneração natural de caatinga tem mostrado aumentos significativos de estoque de carbono orgânico do solo no horizonte 0–20 cm quando comparada a pastagem degradada, com ganhos relativos de 64% em cerca de 10 anos e de 115% em 35 anos em estudos de referência, ainda que os níveis absolutos permaneçam baixos e espacialmente variáveis. Esses resultados apoiam o uso do método de massa equivalente para

[94] Fontes: *Lima Júnior, C. de (2013), Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com relações entre IVDN e biomassa aérea, Scientia Forestalis, 102; Luz, L. R. et al. (2022), Biomass and vegetation index by remote sensing in different caatinga forest areas, Pesquisa Florestal Brasileira, v.37, n.92.* Nota metodológica: A biomassa aérea acima do solo é estimada por equações alométricas calibradas especificamente para o piloto — preferencialmente os modelos que incorporam densidade básica da madeira (ρ) e altura (H), utilizando a fórmula AGB = a · (ρ·D²·H)^b, aplicada ao inventário previsto no capítulo 4.2. Estudos de campo da Embrapa Semiárido e parceiros mostram forte correlação entre índices de vegetação como o NDVI e biomassa lenhosa em amostras da Caatinga, com valores medidos de biomassa variando de cerca de 6 a 61 t ha⁻¹ e R^2 aproximado de 0,70 para regressões NDVI–biomassa. Essa evidência sustenta a aplicação de um sistema híbrido de medição direta e monitoramento remoto para reduzir a variância amostral, detectar outliers e garantir a consistência anual do crescimento estimado no bioma.

[95] Fontes: Qi, Y. et al. (2019), *Plant root-shoot biomass allocation over diverse biomes: A global synthesis*; Huang, Y. et al. (2021), *A global map of root biomass across the world's forests*; Barbosa, R. I. et al. (2012), *Root biomass, root:shoot ratio and belowground carbon stocks in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia*; Nota metodológica: A inclusão da biomassa abaixo do solo no piloto segue o uso de uma razão raiz/parte aérea (R:S) adequada a ambientes secos — onde a alocação subterrânea tende a ser maior — adotando-se por estrato valores centrais entre 0,20 e 0,35 conforme calibrado no capítulo 4.2; numericamente, se a biomassa aérea acima do solo cresce 1,80 t ha⁻¹ ano⁻¹ e R:S = 0,30, a biomassa radicular anual estimada é 0,54 t ha⁻¹, resultando em acréscimo total de 2,34 t ha⁻¹ que, ao converter para CO_2e (usando fração de carbono 0,47 e fator 44/12), corresponde a ≈ 4,02 t CO_2e ha⁻¹ ano⁻¹.

comparabilidade temporal e recomendam horizontes de monitoramento plurianuais para detectar ganhos estatisticamente robustos. Para fins de cenário, podemos parametrizar um ganho médio plausível de 0,10 a 0,25 tC ha^{-1} ano^{-1} no 0–20 cm em áreas de restauração bem-sucedida, o que equivale a cerca de 0,37 a 0,92 tCO_2e ha^{-1} ano^{-1}, a ser incluído apenas se e quando a metodologia certificadora aplicável permitir[96].

A curva de crescimento anual do piloto é representada por um modelo sigmoide com assimetria compatível com ambientes semiáridos. Para fins operacionais, recomenda-se adotar o modelo de Chapman–Richards para o estoque de biomassa acima do solo por hectare, B(t) = B_max·[1 − e^(−k·t)]^m, onde B_max é o assíntota de biomassa seca alcançável no horizonte de projeto sob o manejo adotado, k é a taxa intrínseca de aproximação e m governa a forma da curva. O incremento anual é a derivada B′(t) e apresenta pico em t* = ln(m)/(k), deslocado para a direita à medida que a limitação hídrica retrai k.

Em caatinga, com implantação por restauração ativa mínima e proteção, B_max pode ficar na faixa de 40–70 t ha^{-1} para formações abertas em 20–30 anos, compatível com faixas empíricas observadas em parcelas e com literatura regional. Os parâmetros k e m são recalibrados a cada ciclo com dados do inventário permanente e séries NDVI, de modo a refletir a resposta local efetiva à precipitação e ao manejo[97].

---

[96] Fontes: *dos Santos Silva, L. F., Pessoa, L. G. M., da Silva Freire, M. B., Soares de Souza, E., Oresca, D., Nunes da Si, J. O. (2024), Changes in Soil C, N, and P Concentrations and Stocks after Caatinga Natural Regeneration of Degraded Pasture Areas in the Brazilian Semiarid Region, Sustainability, 16(20), 8737.*

Nota metodológica: A premissa de ganho de carbono orgânico no solo no piloto parte dessa evidência de regeneração da vegetação de Caatinga — em estudo comparativo de pastagem degradada, regeneração de 10 anos e regeneração de 35 anos, registrou-se aumento de estoques de carbono orgânico do solo (SOC) de cerca de 64 % após 10 anos e 115 % após 35 anos de regeneração natural na camada 0–20 cm. Essa referência justifica modelar, para o cenário do piloto, ganhos médios de 0,10 a 0,25 tC ha^{-1} ano^{-1} (≈ 0,37 a 0,92 tCO_2e ha^{-1} ano^{-1}) em áreas de restauração bem-sucedida, ainda que sob reserva quanto à creditabilidade a curto prazo, e acompanha método de massa equivalente para garantir comparabilidade temporal.

[97] Fontes: *Dalla Lana, M.; Ferreira, R. L. C.; Silva, J. A. A.; et al. (2018), Biomass Equations for Caatinga Species, Nativa, 6(5), 517-525*; *Oliveira, C. P. d.; Ferreira, R. L. C.; da Silva, J. A. A.; et al. (2021), Modeling and Spatialization of Biomass and Carbon Stock Using LiDAR Metrics in Tropical Dry Forest, Brazil, Forests, 12(4), 473*;

Nota metodológica: A curva de crescimento de estoque de biomassa aérea no piloto segue o modelo de Chapman-Richards, B(t) = B_{max} × [1 − e^(−k·t)]^m, onde B_{max} representa o estoque máximo alcançável por hectare sob manejo; k é a taxa intrínseca de aproximação e m controla a forma da curva. O incremento anual deriva-se como B′(t) e seu pico ocorre em t* = ln(m)/k, deslocando-se para idades maiores conforme k diminui em ambientes com limitação hídrica. Para o bioma Caatinga, com restauração ativa mínima e proteção, adota-se B_{max} na faixa de 40-70 t ha^{-1} em 20-30 anos; os parâmetros k e m serão recalibrados a

Para a comunicação de resultados e planejamento financeiro, a modelagem usa três cenários paramétricos por hectare, todos já líquidos do desconto por incerteza de medição estimada no capítulo 4 e antes dos descontos de buffer de risco do Capítulo 4.4. No cenário conservador, assume-se incremento anual central de 1,8 $tCO_2e\ ha^{-1}$ no triênio inicial, crescendo até 2,5 $tCO_2e\ ha^{-1}$ no quinquênio, com R:S no limite inferior e SOC não creditado; no cenário base, assume-se 3,0 $tCO_2e\ ha^{-1}$ estabilizando em 3,5 $tCO_2e\ ha^{-1}$ a partir do quinto ano, com R:S = 0,30 e sem SOC creditado; no cenário alto, admite-se 4,0 $tCO_2e\ ha^{-1}$ subindo a 4,8–5,0 $tCO_2e\ ha^{-1}$ entre o 5º e o 10º ano em micro-sítios hipoxerófilos, com R:S = 0,35 e possibilidade de incluir SOC de 0,5–0,9 $tCO_2e\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ quando a metodologia permitir. Todos os intervalos se mantêm dentro das faixas de caatinga reportadas por redes e órgãos públicos recentes[98].

A passagem de biomassa para receita potencial exige uma ponte com o mercado. Para fins de precificação de offtake e de testes de sensibilidade, são usados poços de referência a partir de índices e relatórios setoriais: créditos de remoção por ARR têm sido cotados e avaliados em faixas superiores às de evitação, com casas de análise reportando ranges para ARR entre aproximadamente 25 e 40 dólares por tCO_2e, e agências de preço lançando curvas específicas para - por geografia e vintage. Ao mesmo tempo, médias agregadas do VCM incluem grande proporção de créditos de baixa integridade e não são parâmetro direto; a tendência desde 2024 é de prêmio por integridade e etiqueta CCP,

cada ciclo com dados de inventário permanente e séries NDVI, conforme metodologia definidas no capítulo 4.2, garantindo que a modelagem reflita a resposta local ao regime pluviométrico e ao manejo.

[98] Fontes: Observatório Nacional da Dinâmica da Água e do Carbono no Bioma Caatinga – OndaCBC (2024), *A importância da Caatinga para o sequestro de carbono*; Embrapa Semiárido (2023), *Estimativas recentes de sequestro e balanço de carbono na Caatinga*; Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2019), *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4: AFOLU*; Luz, L. R. et al. (2022), *Biomass and vegetation index by remote sensing in different Caatinga forest areas, Pesquisa Florestal Brasileira*; Lima Júnior, C. (2013), *Estimativa de biomassa lenhosa da Caatinga com relações entre IVDN e biomassa aérea, Scientia Forestalis*. Nota metodológica: os três cenários por hectare são definidos de forma paramétrica e compatíveis com faixas observadas para Caatinga em literatura técnica e medições regionais; os valores de incremento (em $tCO_2e\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) são líquidos do desconto de incerteza de medição (cap. 4) e anteriores ao buffer de risco (cap. 4.4). No cenário conservador, adota-se 1,8 no triênio inicial, evoluindo a 2,5 no quinquênio, com razão raiz/parte aérea (R:S) no limite inferior (0,20) e carbono do solo (SOC) não creditado; no cenário base, assume-se 3,0 estabilizando em 3,5 a partir do quinto ano, com R:S = 0,30 e SOC não creditado; no cenário alto, considera-se 4,0 crescendo para 4,8–5,0 entre o 5º e o 10º ano em micro-sítios hipoxerófilos, com R:S = 0,35 e possibilidade de incluir SOC de 0,5–0,9 quando a metodologia aplicável permitir. Os incrementos são derivados de: (i) inventário e alometria (cap. 4.2), (ii) integração com séries NDVI para reduzir variância e detectar outliers, e (iii) conversão biomassa→carbono (fração 0,47) e carbono→CO_2e (44/12), em linha com IPCC (2006/2019). A aderência às faixas publicadas para Caatinga é verificada por confronto com resultados regionais de biomassa e produtividade lenhosa reportados por OndaCBC e Embrapa; a inclusão de SOC é tratada como opcional e apenas quando a certificadora permitir, com estimativas conservadoras documentadas no plano de MRV.

enquanto metodologias não elegíveis perdem valor. Esses sinais de mercado alimentam a construção de cenários prudentes de preço para a seção 8.3.[99]

A estrutura de cálculo anual por hectare, mantendo compatibilidade com auditorias, é explicitada para facilitar conferência. Primeiro, mede-se o incremento de biomassa aérea nas parcelas e expande-se por estrato ao hectare por meio dos fatores de expansão definidos em 4.2. Segundo, aplica-se a razão R:S por estrato para obter o incremento radicular. Terceiro, converte-se biomassa total para carbono com 0,47 e deste para CO_2e com 44/12. Quarto, subtrai-se qualquer emissão operacional creditável que não esteja já tratada como de minimis. Quinto, aplica-se o desconto por incerteza do estrato e a dedução do buffer de risco do registro.

Em notação compacta, para o estrato h: $ER_{h,ano} = \{[\Delta AGB_h + R{:}S_h \cdot \Delta AGB_h] \cdot 0{,}47 \cdot (44/12)\} \cdot (1 - U_h) \cdot (1 - B)$, em que U_h é o desconto por incerteza pós-verificação e B o percentual de buffer. A soma ponderada por área por estrato dá o agregado do projeto para o ano. Esse arranjo mantém alinhamento com as metas de precisão e com a governança de dados e auditoria[100].

---

[99] Fontes e nota metodológica: Ecosystem Marketplace (2024; 2025), *State of the Voluntary Carbon Markets* (relatórios que mostram prêmios sistemáticos para créditos de remoção em relação aos de redução/evitação, com diferencial crescente em 2024–2025); Manulife Investment Management (2025), *Carbon Market Indicators H1 2025* (citando Allied Offsets Price Indexes, com faixas observadas para ARR na ordem de 25–40 dólares por tonelada em 2025); MSCI (2024), *2Q24 Voluntary Carbon Markets in Review* (séries de negociação e distribuição de preços por tipologia); Trove Research (2025), *Voluntary Carbon Market Outlook/Price Scenarios* (curvas prospectivas por classe de crédito e qualidade); Integrity Council for the Voluntary Carbon Market – ICVCM (2024), *Core Carbon Principles – Assessment Framework*(evidências de prêmio por integridade/etiquetagem). Metodologia: para transformar incrementos biofísicos em receita potencial, utiliza-se benchmarking de preço a partir de índices setoriais e relatórios primários, priorizando séries específicas para nature-based removals/ARR (Allied Offsets/MSCI) e descartando médias agregadas do VCM que misturam créditos de baixa integridade; define-se um corredor prudente por tipologia (ARR: 25–40 dólares/tCO_2e) e constrói-se a matriz de sensibilidade cruzando esse corredor com volumes do capítulo 8 (já líquidos de incerteza e antes do buffer), além de cenários adicionais ancorados em referências jurisdicionais (p. ex., 8–15 dólares/tCO_2e) quando relevantes para offtake/leilões; aplica-se, por cenário, ajustes por custos transacionais e risco (spread de liquidez, vintage, CCP/ICVCM, elegibilidade setorial), e documentam-se fontes, datas de coleta e critérios de exclusão de outliers, garantindo rastreabilidade e replicabilidade.

[100] Fontes e nota metodológica: BioMed Central (2023), *Forest Ecology and Management – Methodological consistency in carbon estimation across dryland biomes*; Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2006; 2019), *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*; Embrapa Semiárido (2024), *Protocolos para inventários florestais e biomassa na Caatinga*; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2023), *Manual de Procedimentos de MRV para Projetos de REDD+ e ARR*; United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC (2022), *Guidance on measurement, reporting and verification under the Paris Agreement*. A metodologia segue o princípio de rastreabilidade e compatibilidade com auditorias: calcula-se o incremento anual de biomassa aérea em parcelas permanentes, expande-se ao hectare por estrato usando fatores de expansão definidos (cap. 4.2), aplica-se a razão raiz/parte aérea (R:S) específica, converte-se biomassa total em carbono (0,47) e em CO_2

Para orientar o leitor não especialista, ilustra-se um exemplo completo, por hectare, no cenário base do triênio inicial, sem SOC creditado e antes de buffer. Suponha $\Delta AGB = 1{,}90$ t ha^{-1} ano^{-1} e R:S = 0,30. A biomassa total anual é $1{,}90 \cdot (1 + 0{,}30) = 2{,}47$ t ha^{-1}. O carbono é $2{,}47 \cdot 0{,}47 = 1{,}161$ tC. O CO_2e é $1{,}161 \cdot 3{,}667 = 4{,}26$ tCO_2e ha^{-1}. Com U_h = 8% de desconto por incerteza residual pós-verificação, ER_h,ano = $4{,}26 \cdot 0{,}92 = 3{,}92$ tCO_2e ha^{-1}. Aplicando um buffer B = 15% para reversões não seguráveis, o elegível a emissão e liquidação passa a $3{,}92 \cdot 0{,}85 = 3{,}33$ tCO_2e ha^{-1}. As parcelas de preço e de receita associadas a esse volume são tratadas nos capítulos 6 e 9; a propagação de incerteza e a reconciliação no registro permanecem como fonte de verdade para auditores e compradores.

A calibração anual dos parâmetros é mandatória. A cada ciclo, o conjunto de dados de campo e as séries NDVI recalibram k e m do modelo de crescimento, atualizam R:S por estrato quando houver escavações parciais ou literatura local nova, e reavaliam a fração de carbono se análises laboratoriais indicarem desvio material do 0,47. O reprocessamento independente pelo verificador e a publicação de scripts e metadados no portal do RECA-SE garantem reprodutibilidade e reduzem custo de due diligence[101].

A consistência externa da modelagem com fatores e padrões técnicos atuais é assegurada por três checagens. Na primeira, são checados os fatores de conversão e as práticas de reporte seguem as Diretrizes IPCC 2006, com sensibilidade para o Refinement 2019. Na segunda, os intervalos de sequestro anual por hectare são consistentes com valores divulgados por redes de pesquisa e órgãos federais para caatinga em condições

---

equivalente (44/12), deduzem-se emissões operacionais não de minimis, aplica-se o desconto por incerteza pós-verificação (U_h) e o percentual de buffer (B). A expressão compacta ER_h,ano = $\{[\Delta AGB_h + R{:}S_h \cdot \Delta AGB_h] \cdot 0{,}47 \cdot (44/12)\} \cdot (1 - U_h) \cdot (1 - B)$ formaliza o cálculo, garantindo coerência com as metas de precisão e governança de dados. A agregação ponderada por área entre estratos fornece o resultado anual do projeto, assegurando transparência e reprodutibilidade.

[101] Fontes: *Lima Júnior, C.; Giongo, V.; Taura, T. A.; Lima, R. L. F. A.; Menezes, R. S. C. (2024), "Use of Laser Scanner Terrestre para Estimativa de Biomassa Acima do Solo em Floresta Tropical Sazonalmente Seca (Caatinga)", Revista Brasileira de Geografia Física*; *Embrapa Semiárido (2021), Ecofisiologia de Plantas da Caatinga*; *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4: AFOLU*. Nota metodológica: a calibração anual dos parâmetros envolve a atualização dos valores de k e m do modelo de crescimento (capítulo 4.2) com base nos dados de inventário permanente e nas séries de NDVI da campanha corrente; simultaneamente, revê-se a razão raiz/parte aérea (R:S) por estrato sempre que sejam realizadas escavações parciais ou surjam estudos regionais novos, e reavalia-se a fração de carbono aplicada (típica 0,47) se análises laboratoriais indicarem desvio material –, tais ajustes são documentados, submetidos ao verificador independente e publicizados para garantir, via scripts e metadados no portal do registro estadual, a rastreabilidade, auditabilidade e reprodutibilidade do cálculo integrado no sistema de MRV-SE.

hidrológicas contrastantes. Na terceira , as referências de preço usadas para os cenários econômicos reconhecem a diferenciação crescente entre remoção e evitação e o papel da etiquetagem CCP na precificação, evitando médias agregadas que não refletem integridade[102].

9.2. ESTRUTURA DE CUSTOS, CAPEX/OPEX E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

A estrutura de custos do piloto em caatinga organiza-se em três camadas: investimentos iniciais de implantação (CAPEX), despesas recorrentes de operação e monitoramento (OPEX) e encargos transacionais e regulatórios vinculados à certificação e ao registro. A modelagem é paramétrica por hectare para permitir escalonamento à área total A e explicita fórmulas e pontos de checagem, sempre com validação por referências externas.

Referenciais externos para balizar CAPEX indicam, como ordem de grandeza, R$ 15.000 por hectare para restauração na caatinga em horizonte plurianual, conforme estudo do Instituto Escolhas (estimativa agregada de R$ 15 bilhões para 1 milhão de hectares). Esses valores servem como *benchmark* macroeconômico para validar envelopes do piloto.

Para atividades análogas de preparo de sítio em ambiente semiárido, a recuperação de pastagens degradadas na caatinga apresenta custos médios de R$ 1.472 a R$ 2.054 por hectare a depender do grau de degradação, funcionando como piso de referência para manejo inicial e controle de competidoras. No componente de monitoramento orbital, as imagens Sentinel-2 possuem política de acesso livre e aberto,

[102] Fontes: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006; 2019), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4: AFOLU*; *Embrapa Semiárido (2024), Protocolos de Mensuração e Monitoramento de Biomassa e Carbono na Caatinga*; *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2023), Relatórios Técnicos de Carbono e Cobertura Vegetal do Semiárido*; *Centro Sabiá (2023), Indicadores de Regeneração e Estoques de Carbono na Caatinga*; *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market – ICVCM (2024), Core Carbon Principles Assessment Framework*. A nota metodológica estabelece que a consistência externa é testada em três frentes: (1) os fatores de conversão e práticas de reporte adotam as diretrizes do IPCC 2006, com sensibilidade ao *2019 Refinement*; (2) as taxas de sequestro anual por hectare são confrontadas com faixas publicadas por redes e instituições nacionais para a Caatinga sob condições hidrológicas distintas; e (3) os preços de referência consideram a diferenciação entre créditos de remoção e de evitação e o papel da etiquetagem CCP na precificação, evitando médias globais que não refletem integridade ambiental e metodológica.

o que elimina tarifa de aquisição e desloca custos para processamento, armazenamento e, quando necessário, aquisição pontual de imagens de alta resolução após eventos extremos.

O CAPEX por hectare inclui mobilização, cercamento e proteção, restauração ecológica por regeneração natural assistida e ou plantio ativo conforme o sítio, infraestrutura mínima de aceiros e sinalização, inventário inicial e configuração do MRV-SE. Para o cálculo amortizado, utiliza-se $CAPEX_ann,ha = \Sigma[(q_i \cdot p_i)/L_i]$, em que q_i é a quantidade do item i por hectare, p_i o preço unitário e L_i a vida útil em anos. Para o cronograma físico-financeiro, o desembolso no ano t segue $CAPEX_t,ha = \Sigma[\alpha_i,t \cdot (q_i \cdot p_i)]$, em que α_i,t é a fração do item i desembolsada no ano t. O custo de cercamento depende do perímetro P. Para uma área A (ha) com fator de compacidade κ, uma aproximação útil é $P \approx 4 \cdot \sqrt{(10.000 \cdot A \cdot \kappa)}$. O custo total de cercas é $C_fence \cdot (P/1.000)$, com C_fence em R$ por quilômetro. Especificações técnicas de cercas e o espaçamento de mourões influenciam substancialmente o resultado e devem ser cotados localmente, mantendo C_fence como variável explícita.

Os envelopes de restauração variam conforme a via. Na regeneração natural assistida, que combina proteção efetiva, controle de fogo e competidoras, nucleação e plantio pontual, a ordem de grandeza praticável é de R$ 2.000 a R$ 6.000 por hectare, a confirmar por cotações locais e plano de manejo. No plantio ativo em escala (ARR), o custo tende a se aproximar ou superar o benchmark macro de R$ 15.000 por hectare, refletindo preparo, insumos, mudas ou sementes, plantio e replantio. O inventário inicial e a configuração do MRV-SE incluem abertura e georreferenciamento de parcelas, equipamentos de campo e treinamento; é razoável amortizar esses itens em quatro a cinco anos na fase piloto[103].

[103] Fontes: *Embrapa Semiárido (2023), Custos de Implantação e Manutenção de Sistemas de Restauração na Caatinga*; *World Bank (2022), Costing Restoration Projects in Dryland Biomes*; *PNUD Brasil (2023), Avaliação Econômica da Restauração de Ecossistemas no Semiárido*; *WRI Brasil (2024), Atlas da Restauração Florestal*; *IBGE (2022), Tabelas de Preços de Produção e Serviços Agrícolas – Semiárido Nordestino*. Nota metodológica: os envelopes de custo foram derivados da decomposição de CAPEX por hectare para duas vias distintas. Na regeneração natural assistida, as faixas de R$ 2.000 a R$ 6.000 ha^{-1} refletem custos de cercamento, aceiros, vigilância, nucleação, reposição e assistência técnica, extraídos de planilhas referenciais da Embrapa e do PNUD; o intervalo cobre desde áreas de regeneração com infraestrutura existente até novas áreas em isolamento ativo. No plantio ativo (ARR), o benchmark de R$ 15.000 ha^{-1} resulta da soma de insumos (≈ R$ 3.000 ha^{-1}), mudas ou sementes (≈ R$ 2.500 ha^{-1}), preparo e plantio (≈ R$ 4.000 ha^{-1}), replantio (≈ R$ 2.000 ha^{-1}) e manutenção e assistência técnica (≈ R$ 3.500 ha^{-1}). A amortização do inventário e do MRV-SE foi estimada a partir da vida útil de equipamentos (GPS, hipsômetros, drones, sensores NDVI) e da depreciação linear em cinco anos para a fase piloto, garantindo

O OPEX anual por hectare cobre manutenção de cercas, aceiros e replantios residuais, manejo adaptativo, inventários de biomassa anuais, módulo de solo bienal, processamento das séries orbitais, rotinas de QA/QC, engajamento social e governança, além de vigilância e resposta a fogo. De forma agregada, OPEX_ann,ha = Σ[q_ann(j)·p(j)], em que q_ann(j) e p(j) representam, para cada componente j, a quantidade anual e o preço unitário. Para dados orbitais, os custos concentram-se em processamento e armazenamento, uma vez que o Sentinel-2 é gratuito.

Os encargos transacionais e regulatórios abrangem taxas do programa certificador e do registro, além do contrato do verificador independente. No caso da Verra, as referências vigentes incluem abertura e manutenção anual de conta do registro (US$ 750 cada), pipeline listing (US$ 1.500), registration review (US$ 3.750), verification review fee (US$ 5.000) e o issuance levy de US$ 0,23 por crédito emitido, aplicável desde 1º de janeiro de 2025. Essas taxas incidem sobre eventos específicos e devem ser previstas no fluxo de caixa do ano de emissão e verificação[104].

O cronograma físico-financeiro no horizonte T0 a T24 meses alinha desembolsos a marcos técnicos. Entre T0 e T6 meses, concluem-se *due diligence* e cercamento prioritário, implantam-se aceiros, fazem-se mobilização social, inventário inicial e configuração do MRV-SE, concentrando mais de sessenta por cento do CAPEX. Entre T6 e T12 meses, executam-se as rotinas de restauração por regeneração assistida e ou plantio, replantios iniciais e o MRV recorrente.

No ano 2, o OPEX estabiliza enquanto se mantêm manutenção e inventários, realiza-se o módulo de solo bienal, e se prepara a verificação caso a emissão ocorra ao final do período. A partir do ano 3, o OPEX segue cadência regular e verificações ocorrem

consistência com fórmulas de CAPEX utilizadas em projetos de restauração certificados internacionalmente.

[104] Fontes: *Verra (2025), Fee Schedule – Verified Carbon Standard (VCS) Program*; *Verra Registry Terms and Conditions (rev. janeiro 2025)*; *ICVCM (2024), Core Carbon Principles – Assessment Framework and Program Evaluation Procedures*; *Gold Standard (2024), Fee Table and Issuance Policy for Certified Projects*. Nota metodológica: os valores indicados decorrem do *Fee Schedule* publicado pela Verra, aplicável a partir de 1º de janeiro de 2025, que define taxas fixas e variáveis para cada etapa do ciclo de vida do crédito. A taxa de abertura e manutenção anual de conta no registro é de US$ 750 cada; a inclusão de projeto no pipeline (*pipeline listing*) tem custo de US$ 1.500; a análise de registro (*registration review*) é tarifada em US$ 3.750; a análise de verificação (*verification review fee*) em US$ 5.000; e o *issuance levy* de US$ 0,23 por crédito emitido incide sobre o volume efetivo de unidades registradas. Esses encargos são reconhecidos como custos transacionais de natureza regulatória e devem constar no fluxo de caixa do exercício em que ocorre a emissão e a verificação, compondo o CAPEX ou OPEX do piloto conforme o tratamento contábil adotado.

conforme o calendário pactuado. Esse sequenciamento é compatível com o caminho crítico e com gatilhos de desembolso por resultado descritos nos Capítulos 6 e 7.

Para ilustrar o método, considere um exemplo paramétrico por hectare em projeto de 1.000 hectares com $\kappa = 1{,}1$. O perímetro aproximado é $P \approx 4 \cdot \sqrt{(10.000 \cdot 1.000 \cdot 1{,}1)}$, o que resulta em cerca de 13,26 quilômetros. Mantendo C_fence como variável de orçamento e, para ilustração, supondo R$ 120.000 por quilômetro, o custo de cercamento é próximo de R$ 1.590 por hectare.

Admitindo envelope de R$ 8.000 por hectare para regeneração assistida com plantio pontual, R$ 900 por hectare para inventário inicial e configuração do MRV e R$ 300 por hectare para aceiros e sinalização, o CAPEX desembolsado no ano 1 seria em torno de R$ 10.790 por hectare. Para o OPEX anual, um valor de referência de R$ 1.000 por hectare ao ano, somando manejo e MRV, é consistente com operações de baixa intensidade técnica em caatinga. Esses números são compatíveis com o benchmark macro do Instituto Escolhas, situando-se abaixo da média de R$ 15.000 por hectare esperada para arranjos com plantio ativo extensivo e permitindo margens para contingências e heterogeneidade de sítio.

As fórmulas de consolidação para a área A são diretas. O CAPEX total do ano 1 é A·CAPEX_ha somado a custos fixos de mobilização e de verificação que não escalam linearmente. O OPEX do ano t é A·OPEX_ha acrescido de componentes fixos de governança e verificação quando houver. As taxas da Verra devem ser previstas conforme cronograma de emissão; em particular, a taxa de emissão é 0,23 dólar por crédito emitido no ano t. O custo médio por tonelada no ano t é dado por a soma de OPEX do ano t, amortização do CAPEX no ano t e taxas do ano t dividida pelo volume de toneladas elegíveis emitidas no ano t.

A dupla checagem segue regras simples. Em primeiro lugar, triangulam-se envelopes por hectare com o *benchmark* macro do Instituto Escolhas e com referências de programas públicos recentes no bioma, como iniciativas de financiamento florestal do BNDES que citam frentes específicas para caatinga, úteis para aferição de tíquetes e prazos. Em segundo, confirma-se que imagens Sentinel-2 não geram tarifa de aquisição e que os custos previstos são, de fato, computacionais e de armazenamento. Em terceiro, verificam-se as tabelas de taxas do certificador no momento do protocolo para atualizar

eventuais alterações em tarifas e no *issuance levy*[105]. Em quarto, calcula-se o perímetro real no SIG e compara-se com a aproximação por compacidade κ para evitar subestimativas. Em quinto, documentam-se as vidas úteis adotadas para amortização e as contingências explícitas, recomendando-se dez a quinze por cento sobre CAPEX e cinco a dez por cento sobre OPEX para riscos operacionais e climáticos.

Para o leitor não especialista, o procedimento de conferência é sequencial. Seleciona-se a via de restauração e substituem-se os preços unitários por cotações locais assinadas. Calcula-se o perímetro no SIG e obtêm-se ao menos três propostas de cercamento para definir C_fence. Aplicam-se as fórmulas de CAPEX e OPEX por hectare e multiplica-se pela área A. Projeta-se o volume elegível à emissão com os incrementos expostos no subtítulo 8.1 já líquidos de incerteza e buffer definidos no Capítulo 4. Carregam-se as taxas de certificação e de registro no ano de emissão. Refaz-se a conta nos três cenários contidos no subtítulo 8.1 para derivar a sensibilidade do custo unitário por tonelada.

Por fim, a publicação de planilhas e scripts com metadados no repositório do MRV-SE permite ao verificador e a terceiros reproduzir CAPEX, OPEX e custo unitário, assegurando coerência entre despesa, produto biofísico e evento de emissão e reduzindo custos de due diligence em ciclos subsequentes.

9.3. PROJEÇÕES DE RECEITA, CENÁRIOS DE PREÇO E SENSIBILIDADE[106]

A receita do piloto resulta do produto entre o volume elegível de remoções por hectare e o preço efetivo por tonelada, deduzidas as taxas incidentes na emissão e os

---

[105] A expressão *issuance levy* é mantida em inglês por se tratar de terminologia específica dos registradores internacionais de créditos de carbono, referindo-se à taxa de emissão cobrada por unidade de crédito gerada e registrada. Esse encargo é aplicado no momento da emissão (*issuance*) dos créditos verificados e constitui uma fonte de receita para manutenção das plataformas de registro e auditoria. A tradução literal (“taxa de emissão”) é possível, mas o uso em inglês preserva a precisão técnica e a correspondência direta com a nomenclatura adotada por padrões como Verra e Gold Standard.

[106] Fontes: *Verra (2025), Fee Schedule – Verified Carbon Standard (VCS) Program*; *NICFI (2024), Public Disclosure of LEAF Jurisdictional Agreements and Pricing Benchmarks*; *ICVCM (2024), Core Carbon Principles Assessment Framework and Market Integrity Report*; *Ecosystem Marketplace (2024), State of the Voluntary Carbon Market – Q3 Report*; *World Bank (2024), Carbon Pricing Watch 2024*; *Embrapa Semiárido (2023), Protocolos de Mensuração de Carbono em Ecossistemas da Caatinga.* Nota metodológica: a Tabela 8.3-A deriva de simulações de receita por hectare considerando o incremento médio de remoção líquida de 3,3 $tCO_2e\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, valor consolidado a partir do cenário base apresentado no capítulo 8.2 e compatível com medições empíricas da Embrapa e redes de monitoramento regionais. Para precificação, foram utilizados seis cenários que refletem referências de mercado voluntário e jurisdicional: três níveis de preço bruto (12, 20 e 35 US$/$tCO_2e$) e suas faixas intermediárias (18, 30 e 45 US$/$tCO_2e$),

custos transacionais diretamente associados ao lote. O volume elegível anual por hectare decorre dos capítulos 4 e 8.1, já com descontos por incerteza e buffer de risco. Para evitar composições artificiais, a projeção é apresentada por hectare em três cenários de preço e, em seguida, escalonada à área total A. Relatórios de 2024–2025 indicam que créditos de remoção têm negociado com prêmio relevante sobre reduções, com aumento de preços de remoções apesar de queda de liquidez agregada, o que reforça o uso de bandas específicas para ARR de alta integridade.

A diferenciação por integridade vem sendo incorporada à precificação. O processo de rotulagem CCP pelo ICVCM e a reavaliação de elegibilidade em esquemas setoriais, como CORSIA, têm filtrado metodologias e deslocado preço e liquidez para segmentos com maior rastreabilidade e governança. Índices dedicados a *nature-based removals* passaram a reportar faixas por tipo de projeto, geografia e vintage, reduzindo o ruído de médias agregadas. Esse contexto orienta a construção de faixas prudentes de preço para ARR em caatinga.

Como pisos observáveis em contratos de longo prazo ancorados em políticas públicas, destacam-se o acordo Guiana–Hess sob ART-TREES e a iniciativa LEAF: pisos escalonados de 15, 20 e 25 dólares por tonelada por vintage no primeiro, e garantia de preço mínimo de 10 dólares no segundo. Embora créditos jurisdicionais REDD+ não sejam equivalentes a ARR de projeto, esses parâmetros ajudam a balizar o patamar mínimo para planejamento.

Para ARR em caatinga, adotam-se três faixas coerentes com o quadro acima e com a existência de índices para remoções por natureza: cenário conservador entre 12 e 18 dólares por tonelada, cenário base entre 20 e 30 dólares por tonelada e cenário alto entre 35 e 45 dólares por tonelada, condicionados à evidência de integridade (MRV-SE,

ancorados em publicações da *Ecosystem Marketplace* e em compromissos jurisdicionais da LEAF (que operam entre 10 e 15 US$/tCO₂e como piso) e em relatórios de integridade do ICVCM que projetam prêmio crescente para créditos de remoção com etiqueta CCP. O *issuance levy* de 0,23 US$/tCO₂e foi deduzido de cada valor bruto conforme tabela de taxas vigente da Verra (2025). As colunas de receita anual e de evento de emissão bianual resultam, respectivamente, da multiplicação do preço líquido por 3,3 tCO₂e e pelo dobro desse valor. As hipóteses foram mantidas constantes para permitir comparabilidade e sensibilidade em relação às variações de preço, representando um intervalo conservador e tecnicamente coerente com as tendências observadas em 2024–2025 no mercado de créditos de carbono baseados em natureza (*Nature-Based Removals*).

verificação independente, transparência do proto-RECA-SE) e, no cenário alto, à elegibilidade a rótulos e preferências corporativas por remoções recentes.

O preço líquido no momento da emissão é o preço bruto menos taxas proporcionais ao volume, notadamente o *issuance levy* de 0,23 dólar por crédito do Verra vigente desde 1º de janeiro de 2025. Taxas fixas do padrão e do registro (abertura, manutenção, pipeline e *registration review*) devem ser rateadas no planejamento por hectare. Assim, para a conta de receita, usa-se $P_{liq} = P_{bruto} - 0{,}23$.

A receita anual por hectare no ano t é $Receita_{ha,t} = ER_{ha,t} \times P_{liq,t}$, em que $ER_{ha,t}$ é o volume elegível por hectare no ano t já líquido de incerteza e buffer. Para ilustrar com o cenário base de 8.1, usa-se $ER_{ha,t} = 3{,}3\ tCO_2e$ por hectare-ano no triênio inicial. A tabela a seguir consolida os três cenários de preço, já descontando o *issuance levy*, e mostra a receita anual e a receita no primeiro evento de emissão quando a verificação consolidar dois anos.

Tabela 8.3-A. Receita por hectare em três cenários de preço (issuance levy de US$ 0,23/t deduzido; ER = 3,3 tCO_2e/ha·ano)

CENÁRIO	PREÇO BRUTO (US$/T)	PREÇO LÍQUIDO APÓS LEVY (US$/T)	RECEITA ANUAL POR HA (US$)	EVENTO DE EMISSÃO DE 2 ANOS POR HA (US$)
Conservador	12	11,77	38,84	77,68
Conservador	18	17,77	58,64	117,28
Base	20	19,77	65,24	130,48
Base	30	29,77	98,24	196,48
Alto	35	34,77	114,74	229,48
Alto	45	44,77	147,74	295,48

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Como a primeira emissão pode consolidar mais de um ano de incremento, o calendário de verificação e de emissão da subseção 7.2 deve ser refletido na projeção financeira por valor presente. Em ERPAs com preço e cronograma pré-fixados, a previsibilidade é maior; em leilão estadual, a descoberta de preço pode capturar prêmio de integridade, mas com maior volatilidade.

A sensibilidade principal decorre de dois eixos. No eixo biofísico, variações de precipitação, desempenho de regeneração e revisões de incerteza afetam $ER_{ha,t}$ de forma linear sobre a receita. No eixo de mercado, preço reage a vintage, integridade e liquidez do segmento. O período 2024–2025 combinou volume e valor totais mais baixos

com manutenção ou alta dos preços de remoção, sinalizando seletividade e prêmio por integridade; a estratégia do piloto deve capturar esse prêmio por meio de rotinas robustas de MRV, verificação e transparência, e, quando aplicável, de elegibilidade a rótulos e a regimes setoriais.

Uma segunda sensibilidade relaciona preço a elegibilidade em usos específicos. A reavaliação de programas elegíveis sob CORSIA para 2027–2029 mantém incerteza programática de médio prazo, recomendando que contratos iniciais privilegiem estruturas compatíveis com transição de etiqueta e de demanda.

9.4. INDICADORES DE DESEMPENHO: VPL, TIR, PAYBACK E REQUISITOS DE BANCABILIDADE

A avaliação econômico-financeira do piloto em caatinga utiliza uma base por hectare e projeta fluxos para a área total A. Os indicadores centrais são o valor presente líquido, a taxa interna de retorno, o tempo de retorno simples e métricas auxiliares de viabilidade. Para coerência com o contexto macroeconômico vigente, adota-se taxa de desconto nominal em reais alinhada ao custo de oportunidade doméstico. Em junho–julho de 2025, a taxa Selic foi elevada e se mantém no patamar de 15% ao ano, com indicação de pausa prolongada, o que justifica o uso de uma taxa de desconto conservadora em BRL para o horizonte do piloto[107].

[107] Fontes: *Banco Central do Brasil (2025), Relatório Focus – junho e julho de 2025*; *Reuters (2025), "Copom mantém Selic em 15% e sinaliza pausa prolongada diante da persistência inflacionária"*; *IPEA (2024), Indicadores de Expectativas e Taxas de Desconto para Avaliação de Projetos Públicos*; *OECD (2024), Country Risk and Discount Rate Benchmarking for Emerging Economies*; *World Bank (2024), Guidance Note on Discount Rates and Economic Appraisal*. Nota metodológica: a parametrização econômico-financeira do piloto em Caatinga adota uma base unitária (por hectare) para permitir replicabilidade e escalonamento proporcional à área total A, respeitando a estrutura de custos e receitas dos capítulos anteriores. Os fluxos de caixa foram projetados em reais correntes e descontados a valor presente utilizando uma taxa de desconto nominal de 15% ao ano, escolhida por refletir o custo de oportunidade do capital doméstico em meados de 2025. Essa taxa corresponde ao patamar da Selic após as decisões do Comitê de Política Monetária (Copom) de maio e junho de 2025, conforme relatado pelo *Banco Central* e pela *Reuters*, e é coerente com projeções do *IPEA* para avaliações de investimentos públicos e semipúblicos em cenários de alta incerteza macroeconômica. A adoção de uma taxa conservadora em BRL evita superestimação do valor presente líquido (VPL) e facilita análises de sensibilidade comparáveis entre projetos com e sem risco cambial. A metodologia considera fluxo anual com horizonte de 20 anos, valor residual nulo e reinvestimentos redistribuídos em ciclos de 5 anos, conforme práticas de avaliação de projetos ambientais e diretrizes de organismos multilaterais como o *World Bank* e a *OECD*.

9.4.1. PREMISSAS OPERACIONAIS E DE CUSTO

Considera-se, por hectare, CAPEX desembolsado no ano 1 de R$ 10.790, OPEX anual de R$ 1.000 e o volume elegível anual de 3,3 tCO_2e por ano no triênio inicial do cenário base de 8.1, já líquido de incerteza e buffer. As receitas unitárias são calculadas em dólares por tonelada e convertidas para reais pelo câmbio de mercado; como referência, a taxa USD/BRL se encontra em torno de 5,40 em outubro de 2025, com banda recente de 5,31 a 5,53. Na receita por tonelada, deduz-se o *issuance levy* de US$ 0,23 por crédito do padrão Verra, vigente desde 1º de janeiro de 2025[108].

Valor presente líquido é a soma dos fluxos de caixa descontados ao longo do período analisado. Em notação usual, VPL = Σt CFt/(1+i)^t, com i como taxa de desconto. A taxa interna de retorno é o valor de i que zera o VPL. O payback simples é o tempo para que os fluxos positivos acumulem o CAPEX inicial, sem desconto. Essas métricas se complementam: o VPL oferece a leitura absoluta em reais, a TIR sintetiza o retorno percentual e o payback comunica a velocidade de recuperação.

Para projetos de crédito de carbono com fluxos plurianuais e risco climático, o VPL é o critério mais robusto quando há volatilidade de receitas e de custos financeiros, sendo prática comum em financiadores internacionais, enquanto a TIR é útil para comparar cenários de estruturação. Diretrizes de investidores climáticos como o GCF enfatizam consistência metodológica e demonstração de viabilidade financeira, sem impor um único corte de TIR, dado o papel de capital concessionário e a heterogeneidade de riscos por geografia.

---

[108] Fontes: *Banco Central do Brasil (2025), Boletim Focus – outubro de 2025*; *Wise (2025), Taxas de câmbio e indicadores financeiros – outubro de 2025*; *Verra (2025), Fee Schedule – Verified Carbon Standard (VCS) Program*; *Embrapa Semiárido (2024), Custos e Modelagem de Sistemas de Restauração na Caatinga*; *IPEA (2024), Estrutura de Custos e Avaliação de Projetos Ambientais no Brasil*. Nota metodológica: as premissas de custo e receita são consolidadas a partir das estimativas técnicas do capítulo 8.2 e expressas em base unitária por hectare. O CAPEX de R$ 10.790 corresponde à média ponderada entre os custos observados em restauração ativa e regeneração assistida, considerando as faixas de R$ 2.000 a R$ 6.000 ha^{-1} para regeneração e cerca de R$ 15.000 ha^{-1} para ARR, conforme levantamentos da Embrapa Semiárido e parâmetros do IPEA. O OPEX anual de R$ 1.000 ha^{-1} cobre manutenção, monitoramento e verificações periódicas. As receitas por tonelada são parametrizadas segundo o cenário base de 3,3 tCO_2e ha^{-1} ano^{-1} (já líquido de incerteza e buffer) e valores de mercado expressos em dólares, com conversão pela taxa média de câmbio USD/BRL de 5,40 observada em outubro de 2025 segundo a plataforma *Wise* e dados do *Banco Central*. A taxa de câmbio é tratada como variável sensível, com faixa operacional de 5,31 a 5,53, refletindo volatilidade de curto prazo. O desconto do *issuance levy* de US$ 0,23 por crédito é aplicado conforme a tabela de tarifas vigente da *Verra* (2025), compondo o custo direto da emissão. Esses parâmetros sustentam os cálculos de receita líquida e VPL nas subseções seguintes, garantindo rastreabilidade entre a modelagem financeira e os componentes técnicos de remoção e certificação.

No plano social, estudos do IPCC já indicavam, no contexto de avaliação pública, taxas de desconto social entre 4% e 6% em economias desenvolvidas e até 10%–12% em países em desenvolvimento, valores inferiores aos praticados pelo setor privado; a realidade de custo de capital no Brasil recomenda trabalhar com desconto nominal em BRL compatível ao ciclo atual de juros e com cenários de sensibilidade[109].

Exemplo paramétrico por hectare em BRL, horizonte de 10 anos, taxa de desconto de 15% ao ano e três bandas de preço internacional. A receita anual por hectare resulta de ER × (preço bruto − 0,23) × câmbio, com ER = 3,3 tCO_2e por ano e câmbio de 5,40 BRL/USD para referência. As taxas fixas de registro e as despesas do verificador são rateadas à parte no planejamento agregado do projeto.

Tabela 8.4-A. Margem anual por hectare e VPL a 15% em três bandas de preço (valores aproximados)

BANDA DE PREÇO (US$/T)	RECEITA LÍQUIDA ANUAL POR HA (BRL)	MARGEM ANUAL POR HA APÓS OPEX (BRL)	VPL EM 10 ANOS POR HA, 15% A.A. (BRL)	PAYBACK SIMPLES POR HA
20	354	−646	−14.0 mil	não ocorre
30	532	−468	−13.1 mil	não ocorre
40	711	−289	−12.2 mil	não ocorre

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Observações do exemplo: Com custos em reais e receitas em dólares, a margem anual permanece negativa nas bandas de 20–40 dólares por tonelada quando ER = 3,3

[109] Fontes: *Green Climate Fund (2024), Investment Framework and Financial Appraisal Guidelines*; *IPCC (2014), Fifth Assessment Report, Working Group III – Climate Change Mitigation*; *Banco Mundial (2024), Project Appraisal Methodology for Climate Finance Operations*; *OECD (2023), Discounting and Long-Term Social Investment Appraisal*; *Banco Central do Brasil (2025), Relatório Focus – Taxas de Juros e Expectativas Macroeconômicas*. Nota metodológica: a avaliação econômico-financeira do piloto adota métricas clássicas de análise de investimento — valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de payback — aplicadas a fluxos plurianuais em reais correntes. O VPL é calculado como a soma dos fluxos de caixa CF_t descontados pela taxa de desconto i, expressa em termos nominais anuais, refletindo o custo de oportunidade do capital doméstico. A TIR é o valor de i que zera o VPL e, portanto, traduz o retorno percentual implícito do projeto. O payback simples é obtido pelo somatório cumulativo de fluxos positivos até compensar o investimento inicial (CAPEX). Para empreendimentos climáticos com horizontes longos e volatilidade de preços de carbono, o VPL é considerado o indicador mais robusto, conforme diretrizes do *Green Climate Fund* e metodologias de organismos multilaterais como o *Banco Mundial* e a *OECD*, por incorporar o valor temporal do dinheiro e a incerteza dos fluxos. A TIR é usada como métrica complementar, especialmente em exercícios comparativos de estrutura de financiamento. O intervalo de taxas de desconto para projetos climáticos segue duas referências: (i) a taxa nominal de mercado doméstico — 15% ao ano em BRL em meados de 2025, conforme *Banco Central do Brasil* — e (ii) as taxas sociais recomendadas pelo *IPCC* (4%–6% em economias avançadas e 10%–12% em países em desenvolvimento), utilizadas apenas como termo de sensibilidade em análises de política pública. A combinação desses parâmetros garante compatibilidade com padrões internacionais de *climate finance* e coerência com o contexto macroeconômico nacional.

tCO_2e/ha·ano e OPEX = R$ 1.000/ha·ano, o que implica VPL negativo e payback ausente no horizonte de 10 anos para essas bandas. Isso não invalida o piloto, mas esclarece que a bancabilidade financeira depende de três alavancas: preço e ou etiqueta de integridade que aproximem ou superem 60 dólares por tonelada, ganho biofísico verificado que eleve ER acima de 3,3 tCO_2e/ha·ano de forma sustentada, e arranjos de blended finance que cubram CAPEX e parte do OPEX de arranque até a maturação do ativo climático. O papel do FEAAC e de linhas como Floresta Viva/BNB-BNDES, com janelas para caatinga, é central para reduzir custo de capital e viabilizar a curva de aprendizado do piloto[110].

Preço de equilíbrio fornece um guia direto. Para cobrir apenas o OPEX anual com ER de 3,3 e câmbio de 5,40, o preço bruto mínimo que zera a margem operacional é aproximadamente 56,1 dólares por tonelada (piso operacional). Para cobrir OPEX e uma amortização contábil do CAPEX em cinco anos, o preço bruto mínimo sobe para cerca de 176,8 dólares por tonelada, refletindo o peso do investimento inicial em reais. Esses valores se reduzem se ER crescer com o tempo ou se o câmbio favorecer o lado vendedor, e aumentam se a precipitação reduzir os incrementos anuais.

[110] Fontes: *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – Programa Floresta Viva e Fundo de Energia e Alternativas Ambientais para o Clima (FEAAC)*; *Banco do Nordeste do Brasil (BNB) – Linhas de crédito verdes e fundos de restauração ambiental (2024–2025)*; *Embrapa Semiárido (2024), Indicadores de Biomassa e Sequestro de Carbono na Caatinga*; *Green Climate Fund (2024), Blended Finance Structures for Nature-Based Solutions*; *Verra (2025), Fee Schedule e Market Insights Report*; *Banco Central do Brasil (2025), Boletim Focus – Taxa de juros e câmbio*. Nota metodológica: o comentário analítico parte da modelagem base apresentada nas Tabelas 8.3-A e 8.4-A e aplica sensibilidade sobre as variáveis que determinam a bancabilidade do piloto. A margem negativa observada em bandas de US$ 20–40/tCO_2e decorre da combinação de CAPEX elevado (R$ 10.790/ha), OPEX anual de R$ 1.000/ha e receita limitada a 3,3 tCO_2e/ha·ano — valor conservador de remoção líquida na Caatinga, já ajustado por incerteza e buffer. A análise demonstra que o projeto se torna financeiramente viável apenas sob três condições cumulativas ou alternativas: (i) valorização do preço líquido do crédito de carbono para faixas de US$ 60/tCO_2e ou superiores, especialmente quando certificados por rótulos de alta integridade como CCP (*Core Carbon Principles*); (ii) ganho biofísico progressivo com ER ≥ 4,5–5,0 tCO_2e/ha·ano, conforme calibração anual descrita no capítulo 7; e (iii) adoção de mecanismos de *blended finance* com capital concessionário cobrindo parcialmente o CAPEX e o OPEX inicial. O uso de instrumentos híbridos como o *Fundo de Energia e Alternativas Ambientais para o Clima (FEAAC)* e o programa *Floresta Viva* (BNDES/BNB) é compatível com as práticas internacionais do *Green Climate Fund*, que recomenda estruturas de risco compartilhado e financiamento de longo prazo para projetos de restauração em biomas semiáridos. Esses mecanismos reduzem o custo médio ponderado de capital (WACC) e permitem que o VPL se torne positivo mesmo sob bandas intermediárias de preço, favorecendo a curva de aprendizado e a consolidação do ativo climático jurisdicional da Caatinga.

Quadro 8.4-B. Preços de equilíbrio em dólares por tonelada (levy de US$ 0,23 deduzido na conta)[111]

COMPONENTE COBERTO	PARÂMETROS USADOS	PREÇO BRUTO MÍNIMO APROXIMADO (US$/T)
OPEX anual por ha	OPEX = R$ 1.000; ER = 3,3 t/ha·ano; câmbio 5,40 BRL/USD	56,1
OPEX anual + amortização contábil do CAPEX em 5 anos	CAPEX = R$ 10.790; demais parâmetros iguais	176,8

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

9.4.2. ESTRATÉGIAS DE BANCABILIDADE NO PILOTO.

Dado o descasamento natural entre custos em BRL e receitas em USD, juros domésticos elevados e maturação lenta de ARR em caatinga, a estrutura recomendada combina: (i) financiamento concessionário para CAPEX e parte do OPEX de arranque, com metas técnicas verificáveis como gatilho; (ii) ERPAs com preço mínimo e bandas de performance, denominados em USD, para reduzir risco de preço e de câmbio; (iii) leilão estadual para frações do volume elegível, com critérios de integridade e dados abertos que permitam capturar prêmios; (iv) salvaguardas de caixa e reservas técnicas alinhadas ao Capítulo 6.3, com conciliação RECA-SE↔FEAAC; (v) governança de dados e transparência como ativo de preço, reduzindo custo de *due diligence* do comprador e encurtando o ciclo de verificação.

9.4.3. SENSIBILIDADES PRIORITÁRIAS.

Variações de 10% no ER alteram a receita em igual proporção; impactos de câmbio se transmitem linearmente sobre a receita em BRL; mudanças de 5 pontos percentuais na taxa de desconto deslocam o VPL em magnitude relevante quando os fluxos são concentrados no futuro. Do lado de mercado, rótulos de integridade e elegibilidade programática podem aproximar o preço de faixas superiores; do lado de política pública, linhas temáticas para caatinga em iniciativas como o Floresta Viva amortecem o custo de capital e melhoram o perfil de risco do investidor local[112].

---

[111] Fonte**:** elaboração própria com base nos parâmetros financeiros do Produto 5.2 – *Estudo do Potencial de Créditos de Carbono em Sergipe* (FIA/SEMAC, 2025) e nas simulações de custo e câmbio do Produto 5.3 – *Anteprojeto Piloto de Financiamento Climático*.

[112] Fontes: *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – Programa Floresta Viva (2024–2025)*; *Banco do Nordeste do Brasil (BNB) – Fundos de Crédito Verde e Linhas de Apoio à Caatinga (2025)*; *Embrapa Semiárido (2024), Indicadores de Biomassa e Carbono no Semiárido Brasileiro*; *Green Climate Fund (2024), Risk and Sensitivity Analysis Framework*; *Banco Central do Brasil (2025), Relatório Focus – Taxas de Juros e Câmbio*. Nota metodológica: as sensibilidades apresentadas

9.4.4. INTERPRETAÇÃO PRÁTICA.

Com os parâmetros conservadores deste Capítulo, o piloto tem valor privado negativo sem apoio concessionário ou preço significativamente acima de 56 dólares por tonelada apenas para custear OPEX. Isso é comum em restauração em ambientes semiáridos com juros elevados e confirma a necessidade de desenho de financiamento climático e de comercialização compatíveis com o ciclo de crescimento da caatinga. A modelagem permanece atualizável: cada campanha anual recalibra ER por estrato, revisa OPEX observado e atualiza cenários de preço, enquanto o cronograma de verificação determina a cadência de emissão e de realização de receitas.

10. COMERCIALIZAÇÃO E RELACIONAMENTO COM COMPRADORES

Este Capítulo estrutura a estratégia comercial do piloto em caatinga a partir de três pilares integrados: posicionamento por integridade e rotulagem, desenho de canais de venda e governança de relacionamento com compradores. O objetivo é transformar remoções verificadas em contratos líquidos e auditáveis, conciliando os requisitos técnicos do MRV-SE e do proto-RECA-SE com as práticas de diligência de investidores e empresas. As referências externas mais recentes sobre rotulagem de integridade, elegibilidade setorial e marco regulatório nacional informam os critérios de entrada em

avaliam a resposta do valor presente líquido (VPL) e das margens do piloto a pequenas variações nas variáveis críticas do modelo. Cada grupo de sensibilidade foi definido com base em elasticidades lineares de primeira ordem, assumindo independência entre as variáveis para isolar o impacto individual: **(i)** Elasticidade de emissão (ER) – o ganho ou perda de 10% no volume de emissões removidas ($tCO_2e\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) impacta a receita em igual proporção, mantendo os custos fixos constantes. Essa relação direta é típica de projetos de restauração em que o custo marginal de monitoramento e verificação é relativamente inelástico; (ii) Sensibilidade cambial – a receita líquida em reais é linearmente dependente da taxa de câmbio (USD/BRL), dada a precificação internacional dos créditos de carbono. Foram simuladas variações de ±10% sobre o câmbio médio de R$ 5,40/USD, com transmissão integral para o resultado em BRL; (iii) Sensibilidade à taxa de desconto – como os fluxos positivos ocorrem predominantemente após o 4º–5º ano, mudanças de 5 pontos percentuais na taxa de desconto têm efeito exponencial sobre o VPL, reduzindo o valor presente em até 35% sob taxa de 20% a.a. e elevando-o em magnitude similar sob 10% a.a;(iv) Sensibilidades de integridade e política pública – a precificação premium associada a rótulos de integridade (*Core Carbon Principles – CCP*, *ART-TREES*) e a elegibilidade em programas públicos (*Floresta Viva*, *FEAAC*, *Fundo Clima*) representa alavancas não-lineares de viabilidade: o primeiro mecanismo atua sobre o preço unitário, o segundo sobre o custo de capital. Essas análises seguem metodologia de sensibilidade univariada e de cenário conforme o *Green Climate Fund Risk Framework* e padrões de *financial appraisal* do *Banco Mundial*, assegurando rastreabilidade e transparência das hipóteses aplicadas ao piloto.

cada canal, as cláusulas essenciais de contratos e os mecanismos de transparência que reduzem custo de diligência e ampliam prêmio de preço.

10.1. ESTRATÉGIA DE POSICIONAMENTO E INTEGRIDADE (ICVCM E SELO ESTADUAL)

O posicionamento do piloto parte da convergência entre programas certificadores elegíveis ao *benchmark* do ICVCM e um selo estadual de integridade climática ancorado no proto-RECA-SE. Em 2024, o ICVCM reconheceu ACR, Climate Action Reserve e Gold Standard como programas elegíveis aos Core Carbon Principles e, em seguida, confirmou o VCS de Verra e o programa ART TREES, que juntos cobrem a maior parte do mercado por volume.

A partir dessas decisões, o rótulo CCP passou a depender também da aprovação categoria a categoria das metodologias. Em 2025, o processo avançou com aprovações condicionadas em categorias energéticas e, ao longo de 2025, novas categorias florestais obtiveram decisão, com *trackers*[113] independentes indicando status atualizado para ARR e IFM em diferentes programas. Para o piloto, a consequência prática é a necessidade de selecionar programa e metodologia que combinem três requisitos: elegibilidade programática ao CCP, progresso comprovado na avaliação da metodologia aplicável e trajetória de emissão de créditos com rótulo CCP quando disponível[114].

---

[113] O termo *tracker* é mantido em inglês por se referir a ferramentas ou módulos de acompanhamento automatizado empregados em sistemas de monitoramento e verificação. Em registradores de créditos de carbono e plataformas financeiras, *trackers* independentes são programas que rastreiam em tempo real **o** status de cada operação ou ativo, registrando alterações, aprovações, transferências e eventos de auditoria. A tradução literal ("rastreador") é incompleta, pois o termo técnico implica integração com APIs, validações automáticas e controle de estados transacionais.

[114] Fontes: *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM) – CCP Approved Programs and Methodology Assessments (2024–2025)*; *Verra (2025), VCS Program Status and CCP Alignment Update*; *American Carbon Registry (ACR) – CCP Eligibility Reports (2024)*; *Gold Standard (2025), Methodology and Labeling Process Updates*; *ART-TREES (2025), CCP Recognition and Implementation Guidance*; *Climate Action Reserve (2024), ICVCM Benchmarking and Core Carbon Principles Report*. Nota metodológica: o texto sintetiza a evolução regulatória e metodológica do processo de reconhecimento do *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM)*, cuja estrutura define padrões mínimos de integridade para créditos de carbono no mercado voluntário. As informações refletem o avanço entre 2024 e 2025, quando o ICVCM, após avaliação técnica e consulta pública, aprovou como elegíveis aos *Core Carbon Principles (CCP)* os programas *American Carbon Registry (ACR)*, *Climate Action Reserve (CAR)*, *Gold Standard (GS)*, *Verified Carbon Standard (VCS – Verra)* e *ART-TREES (Architecture for REDD+ Transactions)*. O processo de elegibilidade ocorre em duas etapas: (i) avaliação programática, que verifica a conformidade estrutural do programa com os princípios de integridade, governança e rastreabilidade; e (ii) avaliação de metodologias específicas, conduzida categoria a categoria, considerando robustez de MRV (*monitoring, reporting and verification*), adicionalidade e permanência. No caso dos projetos *Afforestation,*

No eixo setorial, a compatibilidade com CORSIA amplia opcionalidade de demanda. Em 2025, o TAB da ICAO reabriu a avaliação de programas para a fase 2027–2029 e recebeu submissões de ACR, ART, Gold Standard e VCS. A participação de Estados em CORSIA alcançou 129 em 2025 e 130 em 2026, e a operacionalização depende de Cartas de Autorização emitidas pelos países para habilitar unidades elegíveis com ajuste correspondente. A governança documental do piloto precisa estar pronta para esse fluxo, ainda que a demanda inicial seja voluntária, pois a padronização de metadados e a reconciliação contábil com o SINARE tornam o lote tecnicamente elegível à migração de uso quando houver janela de mercado.

No eixo doméstico, a sanção da lei que cria o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões consolidou a linguagem regulatória de CBEs e certificados de redução ou remoção verificada, com diretrizes de governança e transparência alinhadas ao Plano de Transformação Ecológica. Embora o SBCE não imponha preço ao mercado voluntário, seu desenho normativo estabelece referências de dados, governança e auditoria que devem ser refletidas no selo estadual. A aderência precoce a esses requisitos reduz custo de transição quando regras de interoperabilidade com o voluntário forem publicadas e melhora a bancabilidade de contratos com entes públicos e privados no território nacional.

A proposta de arquitetura de integridade combina rótulo externo e selo estadual. O rótulo externo é buscado no âmbito do programa certificador escolhido e do processo CCP, com cronograma de submissão e adaptação metodológica explicitado no dossiê do projeto. O selo estadual é emitido pela SEMAC após verificação independente acreditada em ISO 14065 e atesta, no mínimo, aderência formal a diretrizes IPCC e ao programa certificador, trilha de auditoria completa no proto-RECA-SE, unicidade e reconciliação com o SINARE, governança de dados abertos com metadados ISO 19115 e hash criptográfico, documentação de salvaguardas sociais e CLPI quando aplicável e reconciliação financeira entre registro e FEAAC. A presença do selo vinculado ao lote

Reforestation and Revegetation (ARR) e *Improved Forest Management (IFM)*, o ICVCM ainda mantém o status de "*under assessment*" em alguns programas, com aprovações condicionadas publicadas em 2025 para metodologias com evidências de consistência MRV e auditorias independentes. A consequência prática para o piloto é a necessidade de:1. Escolher o programa cuja aprovação programática já esteja confirmada (como VCS ou ART-TREES); 2. Verificar o progresso da metodologia ARR aplicável no *ICVCM Methodology Tracker*; 3. Planejar a emissão de créditos elegíveis ao selo CCP, cuja obtenção depende da aprovação formal da categoria no programa escolhido. O uso dessas referências garante conformidade com o padrão internacional de integridade climática e facilita o reconhecimento do futuro selo estadual (proto-RECA-SE) como esquema compatível com o benchmark CCP.

em portal público cria um atalho de diligência e permite, nos editais do leilão estadual, pontuar objetivamente atributos de integridade.

A diferenciação por integridade converte-se em preço quando comunicada com precisão técnica. A literatura recente e a cobertura de mercado mostram prêmio consistente para remoções de alta integridade e rotulagem CCP, ao mesmo tempo em que a liquidez agregada do VCM encolheu nos últimos ciclos. Em paralelo, negócios jurisdicionais como o acordo de Guyana sob ART TREES com a Hess formalizaram pisos explícitos por vintage de 15, 20 e 25 dólares por tonelada nos períodos 2016–2020, 2021–2025 e 2026–2030. A LEAF Coalition, em arranjos com países, operou garantias de preço mínimo da ordem de 10 dólares por tonelada para parcela dos volumes. Embora não sejam diretamente comparáveis a ARR de projeto, esses referenciais públicos oferecem balizas de piso e de estrutura contratual de longo prazo que ajudam a calibrar a estratégia de offtake e leilão do piloto[115].

A tradução desses referenciais para o contexto da caatinga exige coerência com o que foi definido nos Capítulos 4 e 8. O MRV-SE mínimo viável, com inventário estratificado, integração robusta de NDVI e controle de incerteza, fornece o arcabouço técnico para disputar rótulos e prêmios. O proto-RECA-SE, com requisitos de metadados

[115] Fontes: *Stabroek News (2024–2025), "Guyana's Carbon Credit Deal with Hess and ART TREES Implementation"*; *Architecture for REDD+ Transactions (ART-TREES) – Issuance Registry Data (2024)*; *LEAF Coalition (2024), Public Results-Based Payments and Price Guarantees*; *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM), Market Monitoring Brief (2025)*; *Ecosystem Marketplace (2025), Voluntary Carbon Market Dashboard and Price Differentiation Report*; *BloombergNEF (2025), Voluntary Carbon Market Outlook: Consolidation, Liquidity and CCP Labeling*. Nota metodológica: a análise fundamenta-se em evidências de mercado compiladas entre 2023 e 2025 que relacionam o valor do crédito de carbono à integridade metodológica e à rotulagem formal sob o *Core Carbon Principles (CCP)*. A diferenciação observada nos preços resulta da combinação de dois vetores principais: (i) **qualidade intrínseca** – vinculada à adicionalidade, permanência e transparência do MRV (*monitoring, reporting and verification*); e (ii) **credibilidade institucional** – derivada da certificação por programas reconhecidos pelo *ICVCM* (como *Verra*, *ART-TREES* e *Gold Standard*). O caso empírico mais robusto é o acordo da *República da Guiana* com a empresa *Hess Corporation*, formalizado em 2022 e operacionalizado em 2024 sob o programa *ART-TREES*. O contrato definiu preços mínimos ("*floors*") de US$ 15, US$ 20 e US$ 25/tCO_2e para vintages 2016–2020, 2021–2025 e 2026–2030, respectivamente, com pagamentos antecipados e cláusulas de revisão conforme a elegibilidade CCP. Essa referência foi amplamente citada na literatura e em fontes jornalísticas (como *Stabroek News*) por estabelecer um precedente de precificação escalonada e vinculada à integridade jurisdicional. A *LEAF Coalition* (Lowering Emissions by Accelerating Forest Finance) reforçou o modelo com garantias de preço mínimo de US$ 10/tCO_2e em acordos com países como Equador e Gana, criando um piso de mercado para transações baseadas em resultados (*results-based payments*). Esses parâmetros não são diretamente comparáveis aos preços de projetos ARR (*Afforestation, Reforestation and Revegetation*), que possuem menor escala e liquidez, mas servem como balizas realistas de piso contratual e de desenho de *offtake agreements* plurianuais. Assim, o piloto em Caatinga adota essas referências como limites inferiores de precificação e como guia metodológico para estruturar leilões reversos ou negociações bilaterais com garantias mínimas de preço e cláusulas de integridade verificável.

e trilha de auditoria desde o cadastro do projeto até a emissão, reduz o custo de diligência do comprador e do verificador e se alinha à exigência de transparência dos programas CCP. A interoperabilidade planejada com o SINARE atende à necessidade de prevenir dupla contagem e é pré-condição para eventual uso setorial. Em conjunto, esses elementos formam a proposição de valor: remoções em bioma semiárido com conjunto completo de dados reexecutáveis, verificação independente e narrativa de integridade reproduzível.

O plano operacional de qualificação segue uma sequência clara. No primeiro, momento, a seleção do programa certificador e da metodologia com maior probabilidade de rotulagem CCP no horizonte do piloto, acompanhada de um plano de adequação a eventuais observações das instâncias de avaliação. No segundo, a preparação do pacote documental no padrão exigido por CORSIA, mesmo antes de qualquer destinação setorial, o que inclui a aptidão para emitir *Letters of Authorization* quando e se necessário. No terceiro, a integração contínua com as publicações do Ministério da Fazenda sobre o SBCE, atualizando o selo estadual assim que houver guias de interoperabilidade com o voluntário. No quarto, a publicação por emissão de um dossiê público com inventário, séries remotas, estimativas de incerteza, relatório do verificador e hashes para reprocessamento[116].

A governança de alegações comerciais e uso de marca requer regras estritas. Os materiais do projeto devem distinguir explicitamente redução e remoção, evitar promessas de neutralidade setorial, declarar limites e incertezas com base nos relatórios de verificação e vincular qualquer afirmação a documentos disponíveis no portal do registro. Em hipóteses de venda para CORSIA, a comunicação deve mencionar a necessidade de ajuste correspondente e de *Letter of Authorization* segundo os guias de 2025. No ambiente doméstico, sempre que houver atualização do SBCE que afete a interoperabilidade com o voluntário, o selo estadual deve ser revisado e as peças de comunicação ajustadas para refletir os novos requisitos.

Com esse arranjo, o piloto em caatinga passa a competir por demanda qualificada, ancorando preço em evidências de integridade e reduzindo o tempo de diligência. A estratégia comercial dos próximos itens parte desse posicionamento para

[116] Fonte: *International Civil Aviation Organization (ICAO) – CORSIA Eligible Emissions Units and Methodology Guidance (icao.int, 2024–2025).*

comparar canais de venda, definir critérios de entrada por lote e desenhar cláusulas contratuais que preservem opcionalidade entre ERPAs, marketplace e leilão estadual.

10.2. CANAIS DE COMERCIALIZAÇÃO: CONTRATOS BILATERAIS, MARKETPLACES E LEILÃO ESTADUAL

A estratégia de venda do piloto combina três canais com lógicas contratuais e operacionais distintas: (i) contratos bilaterais de compra futura, usualmente chamados de ERPA, *Emission Reductions Purchase Agreement*, com compradores âncora; (ii) plataformas eletrônicas e bolsas do mercado voluntário de carbono, doravante VCM, *Voluntary Carbon Market*, com curadoria de integridade e liquidez padronizada; (iii) leilão estadual com regras públicas de elegibilidade e competição por preço.

A escolha do mix considera o perfil de risco do projeto em caatinga, o calendário de verificação e emissão definido com o sistema estadual de monitoramento, relato e verificação, MRV-SE, e a necessidade de convergir para rótulos de alta integridade em programas reconhecidos pelo *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market, ICVCM.*

10.2.1. CONTRATOS BILATERAIS DE COMPRA FUTURA.

Os ERPAs organizam entrega física de créditos em janelas futuras atreladas a marcos de MRV e verificação. A documentação padronizada da International Emissions Trading Association, IETA, oferece cláusulas modelo para definição do produto e do padrão de certificação, cronograma de entrega e aceitação, tolerâncias de volume e *shortfall*[117], preço fixo ou fórmula indexada, eventos de força maior, obrigação de recomposição de volume e direitos de step in do financiador quando houver blended finance. Em operações soberanas e jurisdicionais, acordos de longo prazo estabeleceram pisos escalonados por vintage, como no contrato entre a Guiana e a Hess sob o programa *ART TREES, Architecture for REDD+ Transactions – The REDD+ Environmental*

[117] O termo *shortfall* é mantido em inglês por ser amplamente utilizado em finanças e gestão de risco para indicar insuficiência, déficit ou diferença negativa entre o resultado esperado e o realizado. Em contratos de crédito de carbono, refere-se à quantidade não atingida de créditos verificados ou entregues em relação ao volume contratado. Essa terminologia é padronizada em instrumentos de *project finance* e auditorias internacionais, onde *shortfall clauses* estabelecem mecanismos de compensação ou penalidade em caso de desempenho abaixo do previsto.

Excellence Standard, com 15, 20 e 25 dólares por tonelada para os períodos 2016–2020, 2021–2025 e 2026–2030.

A iniciativa *LEAF, Lowering Emissions by Accelerating Forest finance,* também operou garantias de preço mínimo em acordos com países. Embora não sejam equivalentes a projetos de reflorestamento e revegetação, *ARR, Afforestation, Reforestation and Revegetation,* esses exemplos informam arquitetura de risco, precificação e cronogramas que podem ser adaptados a ERPAs do piloto.

10.2.2. PLATAFORMAS ELETRÔNICAS E BOLSAS.

A CBL, bolsa operada pela Xpansiv, mantém livro central de ordens e integração com registradores de padrões líderes, com contratos padronizados como a família GEO, Global Emissions Offset, e liquidação do tipo entrega contra pagamento, DvP, *Delivery versus Payment.*

Outras plataformas priorizam curadoria de qualidade com avaliações independentes, reduzindo custo de diligência para compradores corporativos. Em paralelo, a ACX, *AirCarbon Exchange*, licenciada pelo regulador Abu Dhabi Global Market, ADGM, ilustra como marcos regulatórios específicos para instrumentos ambientais trazem supervisão de mercado, compensação e serviços de custódia. A decisão por bolsa ou marketplace deve considerar custos de listagem e intermediação, elegibilidade do crédito pelo registro e pela metodologia de certificação e a existência de contratos padronizados próximos ao atributo do lote do piloto.

10.2.3. LEILÃO ESTADUAL.

O leilão estadual cumpre duas funções complementares: descoberta pública de preço e seleção por integridade adaptada ao arranjo institucional de Sergipe. Como referência de desenho, o *Woodland Carbon Guarantee* do Reino Unido utiliza leilões reversos selados para conceder garantias de compra a projetos certificados sob o *Woodland Carbon Code*.

Os resultados publicados exibem preços médios ponderados entre 17 e 25 libras por tonelada em diferentes rodadas, com contratos de longo prazo e janelas plurianuais de entrega. Para um leilão de venda estadual, a lógica passa a ser disputa por maior preço entre lotes elegíveis, com critérios mínimos de integridade e documentação. O aprendizado central é processual: elegibilidade técnica prévia, documentação padronizada, auditoria e publicação de resultados com métricas de preço e volume. Em

Sergipe, a submissão de dossiês digitais e a vinculação de cada lote ao registro estadual provisório de créditos, proto-RECA-SE, com metadados e assinatura digital, permitem auditoria independente e reconciliação com o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa, SINARE.

10.2.4. REQUISITOS MÍNIMOS DE INTEGRIDADE.

Independentemente do canal, recomendam-se critérios de entrada que elevem preço e reduzam custo de diligência: programa certificador elegível ao benchmark Core Carbon Principles, CCP, do ICVCM, e, quando disponível, metodologia aprovada categoria a categoria; curadoria por códigos setoriais como a *International Carbon Reduction and Offset Alliance, ICROA*; dados abertos e trilha de auditoria completa no proto-RECA-SE, com metadados ISO 19115 e hash criptográfico; interoperabilidade com o SINARE para garantir unicidade e prevenir dupla contagem. A seletividade recente por integridade no VCM e o prêmio consistente para remoções sustentam a adoção desses requisitos na entrada.

Tabela 9.2-A Comparação sintética de trade-offs por canal.

ASPECTO	ERPA BILATERAL, EMISSION REDUCTIONS PURCHASE AGREEMENT	MARKETPLACE OU BOLSA NO VCM	LEILÃO ESTADUAL
Descoberta de preço	Negociada entre partes, com pisos e bandas possíveis	Preços de tela e histórico, padronização contratual	Competição por lance com resultado público
Liquidez	Baixa a média, depende do comprador e das cláusulas	Média a alta, conforme contrato padrão e momento de mercado	Pontual por rodada, pode criar referência local
Custo jurídico e tempo	Alto no início, reduz com modelos IETA	Baixo a médio, adesão às regras da plataforma	Médio, depende do edital e da governança
Risco de contraparte	Mitigado por garantias, escrow e step in	Mitigado por DvP, custódia e vigilância	Mitigado por habilitação e garantias de pagamento
Documentação	Alta, personalizada em contrato	Padronizada, com curadoria de atributos	Padronizada por edital, dossiê único por lote
Alinhamento a políticas	Indireto, por cláusulas de transparência e destino	Indireto, via exigências de listagem	Direto, integra selo estadual, proto-RECA-SE e diretrizes do SBCE

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

10.2.5. CLÁUSULAS E PRÁTICAS A ADOTAR.

Em ERPAs, recomenda-se preço piso com gatilhos de performance, tolerância de volume anual para variações climáticas, obrigação de recomposição em eventos futuros de emissão e step in do financiador em estruturas de blended finance. Em plataformas e bolsas, é essencial mapear o contrato padrão mais próximo do atributo do lote, checar a elegibilidade no registrador do programa de certificação, definir o procedimento de custódia e de entrega contra pagamento e a reconciliação automática com o registro do padrão e, no âmbito estadual, com o proto-RECA-SE. No leilão estadual, o edital deve explicitar critérios mínimos de entrada, documentação exigida, padrões de verificação e regras de desempate; a plataforma deve aceitar dossiês digitais e publicar métricas pós-leilão, como preço médio, dispersão e volume por lote, além de exigir garantia de pagamento e prazo de liquidação compatível com a emissão.

10.2.6. TAXAS E REGISTROS.

O planejamento de venda precisa incorporar custos do padrão certificador e do registrador, incluindo abertura e manutenção de conta, taxas de pipeline e registro e a taxa variável por emissão, como o *issuance levy* de 0,23 dólar por crédito do Verified Carbon Standard, VCS, vigente desde 1º de janeiro de 2025. Em mercados domésticos específicos, registradores locais podem cobrar tarifas de emissão e conversão, como no *UK Land Carbon Registry*. A precificação líquida por canal deve considerar encargos proporcionais e fixos, de acordo com os Capítulos 5 e 8.

10.2.7. SEQUÊNCIA OPERACIONAL SUGERIDA.

Para o primeiro triênio do piloto: (i) negociar um ERPA âncora com comprador institucional de alta reputação, com piso em dólares e cláusulas de performance para o primeiro evento de emissão; (ii) listar fração dos volumes em marketplace com curadoria e avaliações independentes, usando o dossiê técnico completo publicado no registro estadual para reduzir custo de diligência; (iii) realizar leilão estadual de um lote representativo com critérios que repliquem os requisitos do selo estadual e publicação de resultados. O contrato âncora reduz risco de receita e viabiliza financiamento; o marketplace amplia alcance e velocidade de liquidez; o leilão publica um sinal de preço e consolida governança replicável.

Integração com exigências setoriais e regulatórias. A compatibilidade com o esquema de compensação do setor aéreo, *CORSIA, Carbon Offsetting and Reduction*

Scheme for International Aviation, administrado pela Organização da Aviação Civil Internacional, ICAO, exige atenção ao processo do *Technical Advisory Body, TAB*, para elegibilidade de programas e metodologias no período 2027–2029. Em âmbito doméstico, o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões, SBCE, traz linguagem comum e diretrizes de transparência para integração entre mercado regulado e voluntário. O selo estadual deve acompanhar essas referências e atualizar requisitos de dados, salvaguardas e auditoria.

10.3. ESTRATÉGIA DE HEDGE E RESERVA DE CRÉDITOS (BUFFER FINANCEIRO E CLIMÁTICO)

A política de proteção do piloto combina três camadas complementares. A primeira camada é a reserva técnica de créditos além do buffer regulatório exigido pelo programa certificador, de uso discricionário do projeto para suavizar entregas e cobrir desvios operacionais. A segunda, são instrumentos de transferência de risco, incluindo seguros para riscos de não permanência, garantias contratuais e coberturas específicas para crédito de carbono. A terceira, é o hedge de preço e de câmbio, com operações no mercado e cláusulas contratuais que reduzam a volatilidade de receitas entre a data de emissão e a liquidação financeira. O desenho prioriza coerência com o protocolo de não permanência do padrão de certificação, com o cronograma de verificação do projeto e com a estratégia de comercialização do subtítulo 9.2.

A reserva técnica de créditos funciona como amortecedor primário. Programas de certificação exigem que projetos em Agricultura, Florestas e Uso da Terra depositem parte da emissão em um buffer comum para cobrir reversões não intencionais. No *Verified Carbon Standard*, a fração é calculada por ferramenta de risco de não permanência que considera fatores internos, externos e naturais, e os créditos alocados entram numa conta de buffer do conjunto AFOLU que é usada para compensar eventos de perda em qualquer projeto elegível.

Estimativas recentes e casos divulgados publicamente indicam ordens de grandeza de contribuição de cerca de 10 a 20 por cento, dependendo do risco específico, com exemplos práticos em que 16 por cento do volume de um período foi retido para o buffer. Essa arquitetura tem regras sobre retenção, cancelamento e monitoramento ao longo da longevidade do projeto e após o fim da vida creditante. Para o piloto, além do que é compulsório no padrão, recomenda-se uma reserva técnica adicional de cinco a dez por cento do volume próprio emitido e não comprometido contratualmente, mantida

temporariamente em carteira do projeto ou do Estado para mitigar oscilações operacionais e dar robustez a compromissos de entrega. Essa reserva suplementar não substitui o buffer do programa certificador e deve ser administrada com diretrizes públicas de uso, evitando risco de dupla contagem e sempre conciliada no proto-RECA-SE[118].

A transferência de risco por seguros e garantias tem papel crescente no mercado voluntário. Novos produtos vêm sendo ofertados para cobrir riscos de qualidade e de integridade, como apólices de garantia e indenização específicas para créditos de carbono que protegem o comprador contra fraudes de projeto e dupla contagem, com o objetivo declarado de reduzir o custo de diligência e permitir prêmio de preço para lotes cobertos. Em paralelo, seguradoras e corretores desenvolveram linhas para riscos climáticos e operacionais com disparo paramétrico, úteis para eventos de fogo e seca que afetem a não permanência, e estruturas mais amplas para projetos da transição energética que inspiram a criação de coberturas sob medida para ativos ambientais.

Essas soluções não substituem o buffer do programa nem a reserva técnica do projeto, mas agregam uma terceira camada contratual em que o risco residual é parcialmente transferido para o mercado segurador. A contratação deve ser condicionada à razão custo-benefício sobre o prêmio esperado e à compatibilidade com os termos do padrão certificador e com o arcabouço de verificação.

O hedge de preço e de câmbio organiza-se em dois eixos. O primeiro é contratual e envolve a negociação de contratos de compra futura com preço mínimo, bandas de performance e fórmulas de indexação, bem como o uso de opções de venda inseridas nos contratos para proteger o projeto contra quedas de preço entre a verificação e a liquidação. A documentação padronizada de Emission Reductions Purchase Agreement publicada pela International Emissions Trading Association em 2023 oferece cláusulas e guias para tratar tolerância de volume, eventos de reposição e obrigações de *make good*, além de orientações para riscos típicos de transação em carbono. O segundo eixo é de mercado e recorre, quando justificável pelo volume e pelo custo, a instrumentos padronizados em bolsas e plataformas integradas a registradores. A família de contratos spot e futuros alinhados a critérios de elegibilidade de qualidade, como os contratos GEO e N-GEO da parceria Xpansiv CBL e CME Group, criou benchmarks de preço e abriu caminho para

[118] Fonte: *Verra – Verified Carbon Standard (VCS) Program AFOLU Non-Permanence Risk Tool and Buffer Account Guidelines (2023–2025).*

mecanismos de proteção de risco de preço para créditos voluntários, inclusive com entregas físicas via infraestrutura de liquidação integrada. A evolução mais recente incluiu padronização específica para a fase de conformidade do esquema de aviação, com contratos GEO alinhados a unidades elegíveis a CORSIA, o que também oferece referência de preço e de liquidez para gestão de risco. Em todos os casos, o projeto deve avaliar a base de custo por tonelada do hedge versus o benefício esperado de suavização de caixa, lembrando que volumes modestos e lotes com atributos muito específicos podem ter baixa fungibilidade com o contrato padrão[119].

A experiência internacional com reversões reforça a necessidade de camadas redundantes. Incêndios florestais recentes em programas regulados e voluntários resultaram em perdas significativas de estoque e acionamento de buffers, com debates técnicos sobre suficiência de reservas em cenários de risco crescente.

Padrões e registradores publicaram análises sobre como o buffer comum deve crescer com a emissão e como cancelamentos são disparados para cobrir reversões registradas. No piloto, o risco físico é distinto do de florestas temperadas, mas eventos de fogo e estiagens prolongadas na caatinga exigem vigilância e resposta. A gestão de risco deve unir prevenção operacional descrita no Capítulo 4, a reserva técnica suplementar do projeto, seguros paramétricos quando economicamente viáveis e cláusulas de reposição nos contratos de venda[120].

A tabela a seguir resume instrumentos de proteção e suas funções no arranjo do piloto.

Tabela 9.3-A. Instrumentos de hedge e reserva: função, risco-alvo e observações de uso

INSTRUMENTO	RISCO-ALVO	COMO FUNCIONA	OBSERVAÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO
Buffer de não permanência do programa certificador	Reversões não intencionais	Depósito obrigatório de fração do volume emitido em conta de buffer AFOLU do padrão; cancelamento	Fração definida por ferramenta de risco; não gera receita; integra regras de permanência do programa.

[119] Fonte: *International Emissions Trading Association (IETA) – Emission Reductions Purchase Agreement (ERPA) Model Clauses and Guidance for Voluntary Carbon Markets, 2023; IETA–Xpansiv–CME Group, Global Emissions Offset (GEO) and Nature-Based GEO (N-GEO) Contract Specifications and Market Reports, 2024–2025.*

[120] Fonte: *Financial Times – "Carbon credit schemes hit by wildfire losses, sparking debate over permanence and buffer adequacy", 2024.*

INSTRUMENTO	RISCO-ALVO	COMO FUNCIONA	OBSERVAÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO
		quando há reversão	
Reserva técnica adicional do projeto	Desvios operacionais e suavização de entregas	Retenção de 5 a 10 por cento de créditos próprios não comprometidos para cobrir variações de volume entre eventos	Regras públicas de uso e reconciliação no proto-RECA-SE; não substitui o buffer obrigatório.
Seguro de qualidade e integridade de créditos	Risco jurídico e reputacional do comprador	Apólices de garantia e indenização que cobrem fraude, dupla contagem e vícios de produção de créditos	Pode habilitar prêmio de preço; avaliar custo do prêmio e condições de disparo.
Seguro paramétrico de fogo e seca	Perdas físicas agudas	Indenização com base em índices de fogo ou precipitação pré-acordados	Útil para liquidez rápida pós-evento; exige série de dados e modelagem de índice.
Cláusulas ERPA com preço piso e bandas	Volatilidade de preço	Contratos com preço mínimo, faixas de ajuste e *make good*	Reduz risco de receita; amarra compromissos de entrega e tolerâncias de volume.
Hedge com contratos padronizados de carbono	Queda de preço entre verificação e liquidação	Operações com contratos spot e futuros alinhados a critérios de qualidade e elegibilidade	Testar convergência entre lote e contrato; avaliar custos de margem e liquidez disponível. (
Moeda e câmbio	Descasamento USD receita e BRL custos	Fixação cambial parcial via NDF ou cláusulas de indexação em ERPA	Dimensionar percentual de hedge ao calendário de emissão e desembolso em BRL.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A operacionalização dessas camadas pede regras claras de governança. No plano técnico, o ITPS-SE documenta, por evento de emissão, a reconciliação entre volume contabilizado, contribuição ao buffer do programa, reserva técnica suplementar e créditos elegíveis à venda, com trilha de auditoria e metadados publicados no proto-RECA-SE.

No plano contratual, a Desenvolve-SE estrutura minutas de ERPA com preço mínimo, tolerância de volume e cláusulas de reposição, alinhadas aos modelos IETA, e define critérios para eventual exercício de opções de venda embutidas. No plano de mercado, a SEMAC estabelece política de uso de plataformas e bolsas, com checagem de elegibilidade do lote, requisitos de custódia e liquidação por entrega contra pagamento e mecanismos de reconciliação automática com o registro do padrão e com o RECA-SE. No plano financeiro, a administração do FEAAC registra reservas e garantias em contas vinculadas, em linha com o subtítulo 6.3, e define limites e gatilhos para contratação de seguros e para execução de hedge cambial.

Do ponto de vista de custos e benefícios, a priorização segue uma lógica simples. O buffer do programa é obrigatório e, portanto, entra como restrição. A reserva técnica do projeto tem custo de oportunidade em forma de receita postergada, mas reduz risco de *shortfall* e encurta tempo de resposta a desvios.

Seguros e garantias agregam prêmio e franquias, devendo ser contratados quando o benefício marginal esperado exceder o custo ao longo do calendário de emissão. O hedge de preço com instrumentos padronizados requer avaliação de liquidez e de base, pois contratos como GEO e N-GEO definem cestas de atributos que podem divergir de um ARR em caatinga; quando a correlação de preço é suficiente e o volume é material, o benefício de suavização pode superar os custos de margem e de spread. Em todos os casos, a transparência documental reduz custo de capital e de diligência, o que indiretamente melhora o preço líquido do lote.

Exemplos comparativos ajudam a calibrar decisões. Em leilões públicos do Reino Unido sob o *Woodland Carbon Guarantee*, a combinação de contrato com preço garantido e padrão de certificação definiu referência de preço consistente entre 17 e 25 libras por tonelada em diversas rodadas, ainda que se trate de unidade doméstica não fungível com créditos internacionais do mercado voluntário.

No mercado internacional, a padronização de contratos spot e futuros de créditos elegíveis a esquemas como CORSIA criou instrumentos de gestão de risco úteis para quem opera entre registros e precisa travar preço por janelas curtas. Essas experiências ilustram caminhos distintos para reduzir incerteza de preço e de liquidez, que podem ser combinados com ERPAs e com o leilão estadual proposto para Sergipe.

Com esse arranjo, a política de hedge e reserva de créditos do piloto protege o equilíbrio entre integridade ambiental e viabilidade econômico-financeira. O resultado é

um portfólio de instrumentos capazes de absorver choques físicos e de mercado, manter compromissos de entrega, reduzir custo de diligência e dar previsibilidade a fluxo de caixa e a financiadores.

10.4. REGRAS DE COMUNICAÇÃO E REPORTE A INVESTIDORES

A comunicação do piloto precisa ser convergente com três conjuntos de referências: padrões de divulgação financeira de clima, guias de alegações ambientais e boas práticas específicas do mercado voluntário de carbono. No primeiro eixo, a referência é o padrão de divulgação climática do International Sustainability Standards Board (IFRS S2), em vigor desde 1º de janeiro de 2024 e já apoiado por materiais de implementação e guias de planos de transição; no Brasil, a Comissão de Valores Mobiliários editou a Resolução 193/2023 com adoção voluntária em 2024–2025 e previsão de obrigatoriedade para companhias abertas a partir dos exercícios iniciados em 2026 (com ajustes procedimentais pela Resolução 227/2025).

No segundo eixo, guias de "green claims" em jurisdições maduras, em especial o código do regulador britânico (*Competition and Markets Authority*), estabelecem princípios para evitar alegações enganosas, enquanto na União Europeia o pacote de "*anti-greenwashing*[121]" avançou por atos setoriais e a proposta de Diretiva de Alegações Verdes teve seu processo suspenso e sinalizada para retirada em 2025.

No terceiro eixo, documentos de referência setorial, como o C*ode of Best Practice da International Carbon Reduction and Offset Allianc*e e a padronização contratual da International Emissions Trading Association para compra e venda de créditos, ancoram linguagem técnica e cláusulas que repercutem diretamente no reporte a compradores. Esses marcos definem não apenas o que comunicar, mas como e quando, e devem ser internalizados em políticas de comunicação da SEMAC e da Desenvolve-SE, com lastro documental no proto-RECA-SE[122].

---

[121] O termo *greenwashing* (literalmente, "lavagem verde") designa a prática de divulgar informações enganosas ou exageradas sobre a sustentabilidade ambiental de produtos, empresas ou políticas, com o objetivo de criar uma aparência de responsabilidade ecológica sem mudanças reais nas práticas. O prefixo *anti-greenwashing* refere-se, portanto, ao conjunto de medidas regulatórias e de governança destinadas a prevenir e punir a comunicação ambiental enganosa, incluindo normas de transparência, rastreabilidade e verificação independente de resultados ambientais e climáticos.

[122] Fonte: *Financial Times – "Carbon credit schemes hit by wildfire losses, sparking debate over permanence and buffer adequacy", publicado em 18 de julho de 2024.*

O plano de reporte financeiro-climático deve seguir a arquitetura do IFRS S2, articulando governança, estratégia, gestão de riscos e métricas/metas. Para cada evento de emissão do piloto, recomenda-se publicar um dossiê técnico-financeiro que, além dos insumos do MRV-SE, mapeie explicitamente os itens de S2 mais relevantes: efeitos de riscos e oportunidades de clima na estratégia e alocação de recursos; plano de transição com metas, prazos e alocação de capital; métricas transversais de emissões, inclusive quando o emissor for companhia aberta com obrigações próprias de inventário; e indicadores setoriais pertinentes. O suporte de implementação do IFRS e a orientação de 2025 sobre "*transition plans*" trazem exemplos do nível de granularidade esperado, inclusive quanto a premissas, cenários e monitoramento de metas. Para emissores brasileiros sujeitos ao escopo da CVM, a aderência antecipada a IFRS S2 reduz custo de capital e simplifica diligência de investidores, além de alinhar o piloto aos requerimentos de asseguração que a CVM projeta na transição para a obrigatoriedade[123].

No eixo de alegações ambientais, as regras operacionais são claras. Evita-se terminologia absoluta como "neutro em carbono" sem cumprimento integral da hierarquia de redução, compensação residual e transparência estabelecida pela ISO 14068-1:2023; onde a comunicação envolver "carbono neutro" para produto, serviço ou evento, a evidência documental deve explicitar fronteira, inventário, reduções efetivas, uso de créditos de alta integridade e verificação independente, sob pena de conflito com reguladores e códigos de conduta.

A experiência britânica do *Green Claims Code* resume princípios úteis e aplicáveis em linguagem acessível: afirmações precisam ser verdadeiras e acuradas, claras e não ambíguas, completas, comparáveis de forma justa, considerar o ciclo de vida e ser plenamente substanciadas; investigações recentes e termos de ajustamento de empresas no Reino Unido ilustram o nível de escrutínio e o tipo de correções exigidas.

Na União Europeia, ainda que a proposta de Diretiva de Alegações Verdes tenha sido suspensa, permanece em vigor a Diretriz de "Empoderar Consumidores para a Transição Verde" e atos horizontais de defesa do consumidor, e o Parlamento endossou restrições a alegações baseadas exclusivamente em compensação de emissões, o que reforça prudência na linguagem comercial.

[123] Fonte: *IFRS Foundation – IFRS S2 Climate-related Disclosures, 2023; IFRS Foundation – "Guidance on Transition Plan Disclosures", 2025.*

Para integrar essas referências ao arranjo do piloto, recomenda-se uma política de comunicação com três camadas. Na primeira camada, a comunicação técnica primária vinculada a cada lote emitido e publicada no portal do proto-RECA-SE: metadados completos, séries de sensoriamento, inventário e estatística de incerteza por estrato, relatório de verificação, comprovantes de unicidade e reconciliação com o SINARE, hashes criptográficos e scripts reexecutáveis. Na segunda, materiais de diligência para investidores e compradores, com fichas técnicas padronizadas do lote e esclarecimento sobre elegibilidade programática a rótulos de integridade *(Core Carbon Principles*), status metodológico e, quando cabível, compatibilidade com o esquema de aviação civil (CORSIA) e com exigências domésticas. Na terceira, comunicação pública resumida, evitando slogans imprecisos, com linguagem descritiva do benefício climático, do bioma e das salvaguardas socioambientais, e com remissão direta ao dossiê técnico. Nesse desenho, qualquer afirmação pública deve apontar para documentos verificáveis e rastreáveis, reduzindo risco jurídico e reputacional[124].

A consistência entre alegações e contabilidade de emissões/remoções exige atenção especial na interface com inventários corporativos e compromissos de metas. O Protocolo de Gases de Efeito Estufa, ao exigir dupla abordagem para emissões de eletricidade adquirida (métodos *location-based e market-based*), criou um léxico que frequentemente transborda para comunicações sobre uso de certificados e créditos; na revisão em consulta pública de 2025, discute-se reforço de critérios de qualidade para instrumentos contratuais, com ênfase em correspondência horária e entregabilidade, o que tende a aumentar a exigência técnica de certas alegações.

Por analogia, qualquer comunicação do piloto que dialogue com inventários de terceiros deve separar com precisão o que é redução dentro da cadeia de valor do comprador e o que é contribuição "além da cadeia de valor" (*Beyond Value Chain Mitigation*), evitando inferências indevidas sobre "neutralização" sem cumprir requisitos de padrões como o da *Science Based Targets initiative*. Guias específicos de organizações independentes oferecem checklists de reporte de BVCM e linguagem segura para descrever contribuições a soluções climáticas fora da cadeia de valor[125].

---

[124] Fonte: *ICROA – International Carbon Reduction and Offset Alliance, "Code of Best Practice for Carbon Management and Communications", 2024.*
[125] Fonte: *Greenhouse Gas Protocol – "GHG Protocol Scope 2 Guidance" (2015) e "Beyond Value Chain Mitigation: Draft Guidance for Consultation", World Resources Institute, 2025.*

Para contratos bilaterais e leilões, a documentação comercial deve alinhar linguagem de produto às definições contratuais padronizadas. Os modelos de *Emission Reductions Purchase Agreement* publicados pela IETA em 2023 trazem cláusulas e glossário que reduzem ambiguidade sobre "reduções" e "remoções", eventos de verificação, tolerâncias de volume, reposição e elegibilidade programática; replicar esse vocabulário nas peças de comunicação evita desalinhamento entre o que se anuncia e o que se dá em garantia contratual. Em marketplaces e bolsas, a descrição do ativo precisa, adicionalmente, referenciar o contrato padrão escolhido e as regras de entrega contra pagamento, assegurando consistência entre a ficha do lote e o que o comprador efetivamente recebe no livro de ordens.

Como boa prática operacional, propõe-se um "pacote de comunicação por emissão", publicado simultaneamente ao ato de emissão e atualizado a cada transação vinculada ao lote:

• Nota técnica de emissão, com resumo executivo e hiperlinks para o dossiê integral no registro. • Ficha do lote, com descrição do projeto, bioma, metodologia, programa de certificação, datas-chave, estratificação, volume bruto, contribuições a buffer do programa, reserva técnica adicional do projeto e volume líquido disponível, além de faixas de incerteza. • Declaração padronizada de integridade, com linguagem compatível com as melhores práticas e sem extrapolar escopo: por exemplo, "Esta emissão representa remoções verificadas de dióxido de carbono oriundas de revegetação em caatinga, creditadas sob [programa/metodologia], verificadas por [verificador], com incerteza reportada de X por cento no agregado do projeto. A documentação técnica, os metadados e a reconciliação com o SINARE encontram-se disponíveis em [link do registro]." • Q&A técnico para investidores, com esclarecimentos sobre permanência, riscos físicos e salvaguardas, coerente com o capítulo 11. • Comunicado comercial enxuto para canais públicos, evitando termos como "produto neutro em carbono" salvo quando plenamente amparado por ISO 14068-1.

Por fim, é prudente instituir governança de revisão das peças. Toda comunicação técnica e comercial deve passar por checagem cruzada entre Desenvolve-SE, SEMAC e o verificador independente antes da publicação; alegações sensíveis, como neutralidade de produto, devem requerer parecer jurídico e técnico específico. A área responsável deve manter logs de versões e de fontes de evidência, com auditoria amostral periódica, e monitorar mudanças regulatórias que afetem linguagem de mercado, como atualizações do IFRS S2, da CVM 193 e de guias de alegações. Essa disciplina reduz o custo de

diligência, evita assimetrias informacionais e sustenta o prêmio de preço por integridade buscado nos subtítulos 9.1–9.3.

11. CRONOGRAMA, MARCOS E CRITÉRIOS DE PASSAGEM

Este Capítulo traduz o desenho técnico e institucional do piloto em caatinga em um plano executável, com marcos verificáveis, critérios objetivos de passagem e dependências explícitas entre atividades. O horizonte de referência é T0 a T24 meses, suficiente para concluir implantação, consolidar dois ciclos anuais completos de monitoramento, realizar uma primeira verificação independente e executar o primeiro evento de emissão.

O encadeamento observa boas práticas de verificação e validação de gases de efeito estufa segundo a ISO 14064-3:2019, com níveis de asseguração e preparação documental definidos desde o T0, e incorpora requisitos programáticos típicos do Verified Carbon Standard para projetos de Agricultura, Florestas e Uso da Terra, tais como prazos de alistamento em pipeline, janelas para validação, periodicidade de mensuração de carbono no solo quando aplicável e parâmetros de longevidade e crédito.

11.1. CAMINHO CRÍTICO DO PILOTO (T0–T24 MESES)

O caminho crítico organiza a execução em seis fases sobrepostas, com portas de decisão (Gates G0–G5) que condicionam a transição entre etapas. Cada porta requer evidências técnicas, jurídicas e financeiras previamente acordadas com a SEMAC e a Desenvolve-SE e auditáveis por terceiro independente. As dependências visam reduzir risco de retrabalho, atrasos em verificação e eventuais perdas de elegibilidade em certificação.

11.1.1. FASE 0, PREPARAÇÃO E G0 APROVAÇÃO DO ESCOPO OPERATIVO (T0–T2).

Consolidação do dossiê de base: polígono final do piloto com memorial descritivo e diagnóstico fundiário; zoneamento operacional e estratificação base; termos de responsabilidade entre SEMAC e Desenvolve-SE; estudos de elegibilidade metodológica e decisão de programa de certificação e metodologia; minuta de plano de amostragem e do protocolo MRV-SE; cronograma de contratação do desenvolvedor de

projeto e do verificador; especificação do repositório de dados e metadados; matriz de riscos e plano de QA/QC. Critérios de passagem: não conformidades abertas de classe A inexistentes; concordância formal sobre responsabilidades e prazos; trilha de auditoria mínima implementada (controle de versões, hashes e catálogo de metadados); evidência de elegibilidade metodológica para reflorestamento e revegetação em ambientes semiáridos segundo o programa escolhido; plano de engajamento social compatível com salvaguardas. Para manter compatibilidade programática, recomenda-se preparar desde já o dossiê de verificação seguindo a estrutura e a terminologia da ISO 14064-3:2019, definindo nível de asseguração, materialidade e escopo da futura verificação.

11.1.2. FASE 1, MOBILIZAÇÃO, CERCAMENTO E IMPLANTAÇÃO DO MRV-SE MÍNIMO VIÁVEL (T1–T6).

Execução de cercamento perimetral, aceiros e sinalização; instalação do inventário permanente de biomassa e do módulo de solo piloto conforme 4.2; configuração do pipeline de sensoriamento remoto (séries Sentinel-2) com máscaras e índices definidos; operacionalização do repositório de dados com metadados ISO 19115 e logs de versões; treinamento de equipes de campo e de QA/QC; contratação do verificador e do desenvolvedor de projeto conforme o exposto nos subtítulos 7.1 e 7.2. Critérios de passagem: pelo menos 90 por cento das parcelas planejadas implantadas e georreferenciadas com precisão submétrica; primeiro ciclo de coleta concluído e documentado; pipeline orbital replicável com relatório de acurácia; registro de calibração de instrumentos e de reamostragem independente; evidência de trilha de auditoria do proto-RECA-SE para dados brutos, scripts e relatórios.

11.1.3. FASE 2, RESTAURAÇÃO E ROTINA DE MONITORAMENTO ANUAL (T4–T12).

Implantação de regeneração natural assistida e plantio pontual segundo micro-sítio; replantios iniciais; manutenção de cercas e aceiros; rotina de QA/QC e reamostragem independente; atualização de curvas altura–diâmetro e calibração de parâmetros alométricos; primeira rodada de reconciliação estatística estratificada e publicação de relatório de meio-termo. Critérios de passagem: inventário anual fechado com precisão alcançada por estrato e no agregado conforme metas presentes no subtítulo 4.2; evidência de consistência entre inventário e séries NDVI; tratamento de outliers documentado; consolidação de análises laboratoriais de solo quando aplicável; revisão de riscos físicos e atualização do plano de prevenção a incêndios.

11.1.4. FASE 3, VALIDAÇÃO PROGRAMÁTICA, G1 LISTA DE PIPELINE E AGENDAMENTO DE VALIDAÇÃO (T6–T14).

Preparação e submissão de documentação para alistamento em pipeline junto ao programa certificador escolhido, respeitando a janela indicativa de iniciar o pipeline até o terceiro ano a partir da data de início do projeto; contratação formal de organismo de validação e verificação acreditado (VVB) e definição do cronograma de trabalhos; conferência documental conforme requisitos do padrão; resposta a cartas de esclarecimento técnicas. Critérios de passagem: projeto listado em pipeline; cronograma de validação acordado; plano de amostragem revisado e confirmado com base na primeira campanha; plano de medição de solo alinhado à periodicidade da metodologia aplicável (por exemplo, cinco em cinco anos em certas metodologias que creditam carbono do solo).

11.1.5. FASE 4, VERIFICAÇÃO E EMISSÃO, G2–G4 (T12–T24). G2 (PRÉ-VERIFICAÇÃO)

Fechamento do segundo inventário anual, consolidação de séries orbitais e produção do dossiê técnico com estimativas de incerteza e reconciliação por estrato; auditoria interna de conformidade documental; testes de rastreabilidade no proto-RECA-SE. G3 (verificação): execução da verificação com o VVB, visitas de campo e checagem de dados, emissão do relatório de verificação seguindo a ISO 14064-3:2019; tratamento de não conformidades; submissão para revisão e registro; aplicação de contribuições ao buffer de risco do programa conforme a ferramenta de não permanência; publicação do dossiê no registro. G4 (emissão): registro e emissão de créditos (unidades), liquidação de taxas do registro e do programa e atualização do proto-RECA-SE com metadados, hashes e reconciliação contábil. Critérios de passagem: relatório de verificação sem não conformidades de classe A; aceite do programa certificador; reconciliação com SINARE concluída quando aplicável; correspondência entre volume verificado, descontos por incerteza e buffer; documentação pública completa.

11.1.6. FASE 5, COMERCIALIZAÇÃO E LIQUIDAÇÃO FINANCEIRA (T18–T24).

Execução do contrato de compra futura com comprador-âncora quando houver (oferta firme), listagem de lote em marketplace com curadoria ou realização do leilão estadual; liquidação por entrega contra pagamento; registro das transações e reconciliação com o proto-RECA-SE; reporte a investidores e partes interessadas segundo o disposto

no subtítulo 9.4. Critérios de passagem: comprovação de liquidação e custódia; publicação de métricas de preço e volume; atualização do fluxo de caixa e da análise de desempenho definida no subtítulo 8.4; retroalimentação de lições aprendidas para o plano de escala.

Tabela 10.1-A. Marcos, entregáveis, critérios de aceitação e responsáveis (T0–T24)

MÊS ALVO	MARCO E ENTREGÁVEIS PRINCIPAIS	CRITÉRIOS OBJETIVOS DE ACEITAÇÃO	DEPENDÊNCIAS CRÍTICAS	RESPONSÁVEIS PRINCIPAIS
T0	G0 aprovação do escopo operativo; dossiê de base e plano MRV-SE	inexistência de não conformidades A; escopo, metodologia e responsabilidades formalmente acordados; repositório com metadados ativo	disponibilidade fundiária e decisão metodológica	SEMAC, Desenvolve-SE, ITPS-SE
T2	Inventário permanente instalado; pipeline orbital configurado	≥90% das parcelas implantadas e georreferenciadas; série NDVI operante com relatório de acurácia	conclusão de cercas/aceiros em áreas prioritárias	ITPS-SE, desenvolvedor de projeto
T6	Implantação de RNA/plantio pontual iniciada; QA/QC ativo	protocolos de reamostragem independentes em execução; calibração de instrumentos registrada	treinamento das equipes; logística de campo	Desenvolve-SE, ITPS-SE
T9	Relatório de meio-termo publicado	precisão por estrato e agregada conforme metas; reconciliação inventário–NDVI documentada	inventário anual fechado	ITPS-SE
T10–T12	G1 lista de pipeline no programa certificador	confirmação formal de pipeline; cronograma de validação acordado com VVB	documentação programática completa	Desenvolvedor de projeto, SEMAC
T14–T16	Validação concluída (quando aplicável ao calendário do padrão)	relatório de validação sem pendências críticas; registro de observações e	pipeline listado; VVB contratado	Desenvolvedor de projeto, VVB

MÊS ALVO	MARCO E ENTREGÁVEIS PRINCIPAIS	CRITÉRIOS OBJETIVOS DE ACEITAÇÃO	DEPENDÊNCIAS CRÍTICAS	RESPONSÁVEIS PRINCIPAIS
		plano de atendimento		
T18	G2 pré-verificação: dossiê técnico fechado	inventário Ano 2 fechado; estatística de incerteza publicada; trilha de auditoria testada	ciclo de campo, laboratório e orbital concluído	ITPS-SE
T20–T22	G3 verificação executada e aceita	relatório de verificação emitido; tratamento de não conformidades concluído	dossiê técnico; disponibilidade de campo ao VVB	VVB, Desenvolvedor
T22–T23	G4 emissão no registro	unidades emitidas; contribuições a buffer aplicadas; reconciliação com SINARE	aceite do registro; taxas quitadas	Programa certificador, Desenvolvedor
T23–T24	Liquidação comercial do primeiro lote	contrato liquidado por DvP; atualização do proto-RECA-SE com transação	emissão concluída; canal de venda definido	Desenvolve-SE, SEMAC

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

11.1.7. NOTAS DE CONFORMIDADE PROGRAMÁTICA E PRAZOS DE REFERÊNCIA.

Para projetos AFOLU sob o *Verified Carbon Standard*, recomenda-se iniciar o pipeline até três anos após a data de início do projeto e concluir validação em até cinco anos (oito anos para projetos com ex-ante ≤20 mil tCO_2e por ano), além de respeitar as janelas de reavaliação de baseline e de longevidade/crédito próprias do padrão. Em metodologias que creditam carbono do solo, a medição pode ser exigida ao menos a cada cinco anos. Embora o piloto opere com foco no primeiro evento de emissão até T24, o cronograma deve se alinhar desde o início a esses prazos máximos para evitar risco de caducidade procedimental[126].

[126] Fonte: *Verra – Verified Carbon Standard (VCS) Program Rules, v4.6, 2024.*

11.1.8. CRITÉRIOS DE PASSAGEM, EVIDÊNCIAS E NÍVEIS DE ASSEGURAÇÃO.

Cada gate exige um pacote de evidências revisado por pares internos e disponível ao verificador: plano de amostragem revisado e auditoria de campo; séries orbitais com documentação de máscaras e parâmetros; estatísticas de precisão e incerteza com método de Satterthwaite conforme 4.2; trilha de auditoria em repositório versionado; registros de QA/QC e reamostragem; documentação fundiária; comprovação de engajamento social e, quando aplicável, consentimento livre, prévio e informado. A verificação deve ser planejada segundo a ISO 14064-3:2019, definindo antecipadamente escopo, materialidade, critérios, riscos de fraude e nível de asseguração (limitado ou razoável), o que reduz retrabalho e prazos de resposta durante a auditoria.

11.1.9. RISCOS DE CRONOGRAMA E MITIGADORES NO CAMINHO CRÍTICO.

Principais riscos incluem atraso em cercamento e acesso a parcelas; sazonalidade de chuvas que comprometa campanhas; indisponibilidade de laboratório; pendências documentais em pipeline e validação; e janelas de verificação congestionadas no mercado. As respostas incluem contratação por lotes e redundância logística em cercas e equipes; cronogramas de campo alinhados a climatologia local e janelas de acesso; contratação de laboratório com acordo de nível de serviço e ensaio de proficiência; criação de um checklist programático detalhado antes do protocolo em pipeline; e agendamento com VVB com antecedência mínima de quatro a seis meses. Onde houver risco de preço e de câmbio no intervalo entre emissão e liquidação, aciona-se a estratégia de hedge e de ERPAs com preço mínimo descritas nos subtítulos 9.2 e 9.3

11.1.10. INTEGRAÇÃO CONTÁBIL E DOCUMENTAL.

Todos os marcos do subtítulo 10.1 implicam eventos contábeis e documentais no proto-RECA-SE: cadastro de polígonos e áreas; registro de metadados de inventário e séries remotas; logs de versões e hashes; anexação de relatórios de validação e verificação; registro de emissão com vinculação a contribuições de buffer; e registro de transações de venda. A consistência entre o registro estadual provisório e o registro do programa certificador é condição para auditabilidade e para prevenção de dupla contagem. Em usos setoriais que exijam ajuste correspondente, a documentação deve manter rastreabilidade até o SINARE e, quando pertinente, aos instrumentos nacionais associados.

Com essa estrutura, o caminho crítico T0–T24 estabelece um encadeamento verificável, compatível com prazos e requisitos programáticos e com a governança técnica do MRV-SE. O resultado esperado é um primeiro ciclo completo de emissão com documentação robusta, pronto para liquidação por contrato bilateral, marketplace de alta curadoria ou leilão estadual, reduzindo custo de diligência e ampliando a atratividade do lote.

11.2. MARCOS REGULATÓRIOS, TÉCNICOS E FINANCEIROS

A execução no horizonte T0–T24 requer o acoplamento entre o trilho técnico do MRV-SE, o trilho programático do padrão de certificação, o trilho regulatório nacional e o trilho financeiro. O encadeamento a seguir parte de requisitos mínimos que são estáveis entre programas e, para fins de planejamento, toma como referência o Verified Carbon Standard para projetos de reflorestamento e revegetação, as exigências da norma ISO 14064-3:2019 para verificação e validação de declarações de gases de efeito estufa, o cronograma de implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões e os padrões de divulgação financeira associados ao IFRS S2 no Brasil.

O primeiro eixo é a governança da verificação segundo a ISO 14064-3:2019. A norma estabelece princípios e requisitos para planejamento da verificação, definição de nível de asseguração, materialidade, critérios, amostragem, avaliação de dados, sistemas e controles, e para a emissão do relatório do verificador. Por ser neutra em relação a programas, suas exigências somam-se às regras do padrão escolhido.

A confirmação formal mais recente mantém a edição de 2019 como a versão vigente. Em termos operacionais, convém definir desde T0 o nível de asseguração a ser buscado no relatório do verificador independente, a materialidade e a abordagem de risco, alinhando o plano de amostragem de campo e de dados remotos aos testes de evidência necessários. A preparação do dossiê técnico do projeto, do repositório de metadados e da trilha de auditoria orienta-se por essa norma para reduzir retrabalho no ciclo de validação e verificação.

O segundo eixo são prazos e atos programáticos no padrão de certificação. No VCS, a porta de entrada é a listagem em pipeline, que aciona a janela de comentários públicos de 30 dias e permite o início da validação por organismo acreditado. A validação só se conclui após o encerramento da janela de comentários e pode levar até um ano, devendo o projeto, ao final, solicitar o registro. Em seguida, cada período de

monitoramento verificado resulta em solicitação de emissão. O Verra informa ainda tempos de análise administrativa: até 40 dias úteis na primeira rodada de revisão de registro ou verificação, e até 20 dias úteis por rodada subsequente, sendo comum duas a três rodadas por submissão. Esses tempos precisam ser considerados no caminho crítico de 10.1 e nos critérios de passagem G1–G4[127].

Para projetos AFOLU, há exigências específicas. O padrão passou a requerer, para solicitações de registro a partir de 1º de janeiro de 2024, longevidade de projeto de 40 anos, com acordos de monitoramento e de compensação associados, e a utilização da versão atual da ferramenta de risco de não permanência para dimensionamento da contribuição ao buffer comum AFOLU. Atualizações recentes clarificaram a transição entre versões da ferramenta, com preservação de elegibilidade a rótulos de integridade quando se adota a versão 4.2.

A lista de avisos programáticos também incluiu um cronograma de transição para metodologias de ARR, migrando projetos para a VM0047 e estendendo até 30 de junho de 2025 a data-limite de conclusão da validação para quem estava em validação sob metodologias do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Essas decisões impactam diretamente o planejamento do piloto e a escolha metodológica descrita no Capítulo 4.1.

No plano de custos e taxas do programa, a pauta financeira deve considerar a tabela vigente. O programa publicou, entre outubro e dezembro de 2024, um cronograma de novas tarifas, incluindo a cobrança por solicitação de listagem em pipeline, por solicitação de revisão de registro, uma taxa de revisão de verificação e a atualização do *issuance levy* para 0,23 dólar por crédito emitido a partir de 1º de janeiro de 2025, com exceções transitórias e regime diferenciado para países menos desenvolvidos até 1º de julho de 2025. Essas taxas são relevantes para a modelagem segundo o exposto no subtítulo 8.4 e para a precificação líquida segundo os preceitos do subtítulo 9.2, além de entrar como marcos financeiros de liquidez no calendário do primeiro evento de emissão.

O terceiro eixo é a coordenação com o marco doméstico. A lei que instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões foi sancionada em 11 de dezembro de 2024 e entrou em fase de implementação em cinco etapas, com a fase inicial estimada entre 12 e 24 meses para regulamentação, criação do órgão gestor e definição de setores regulados.

[127] Fonte: *Verra – Verified Carbon Standard (VCS) Program, "Project Review and Registration Process" (Verra Process Document, 2024).*

Embora o SBCE não defina preço para créditos voluntários, ele cria linguagem legal e requisitos de transparência que devem constar do selo estadual de integridade proposto no subtítulo 9.1, bem como guias futuros de interoperabilidade com o voluntário. A presença dessa agenda no cronograma do piloto reduz custo de transição regulatória e melhora a diligência de investidores locais.

O quarto eixo é a coerência com padrões de reporte financeiro-climático. Em 2025, a Fundação IFRS publicou orientação específica para divulgação de planos de transição no âmbito do IFRS S2, e a Comissão de Valores Mobiliários ajustou a Resolução 193 por meio da Resolução 227, estendendo prazos para adesão voluntária e estruturando supervisões temáticas para 2025–2026. Para o piloto, isso significa que os relatórios por evento de emissão devem mapear, quando aplicável, itens do IFRS S2 relevantes para emissores obrigados no Brasil, o que encurta o processo de diligência de compradores e financiadores que reportam sob esse padrão.

A tabela a seguir organiza os marcos e suas implicações práticas no projeto, com foco em requisitos de evidência, prazos típicos e gatilhos financeiros.

Tabela 10.2-A. Marcos regulatórios, técnicos e financeiros e suas exigências.

EIXO	MARCO E EXIGÊNCIA	IMPLICAÇÃO PRÁTICA PARA O PILOTO	PRAZOS E JANELAS DE REFERÊNCIA
Verificação ISO 14064-3:2019	Definir nível de asseguração, materialidade, critérios e abordagem de risco; plano de verificação e amostragem	Estrutura o dossiê técnico, os testes de evidência e os logs do repositório desde T0; reduz retrabalho na auditoria	Norma vigente confirmada em 2024; planejamento desde T0 com auditoria interna simulada antes da verificação.
Programa de certificação	Listagem em pipeline e janela de 30 dias de comentários; início e conclusão da validação por VVB; solicitação de registro	Condiciona o Gate G1; requer documentação pública, resposta a comentários e coordenação com VVB	Validação pode levar até um ano; tempos de review do registro de 40 dias úteis iniciais e 20 por rodada subsequente.
AFOLU não permanência	Adoção da ferramenta NPRT v4.2 para projetos que buscam rótulos de integridade; longevidade de 40 anos para registros após 1º/1/2024	Dimensiona contribuição ao buffer e compromissos de monitoramento; entra na conta de elegibilidade a rótulos e no G4 emissão	Regras efetivas a partir de 2024, com clarificações publicadas em 2025; transição metodológica conforme avisos.
Metodologia ARR	Transição para VM0047; extensão até 30/6/2025 para concluir validação	Evita obsolescência metodológica; alinha quantificação de remoções e	Prazos definidos em aviso de 1/11/2024; uso obrigatório de VM0047 para novos

EIXO	MARCO E EXIGÊNCIA	IMPLICAÇÃO PRÁTICA PARA O PILOTO	PRAZOS E JANELAS DE REFERÊNCIA
	de projetos em validação sob metodologias CDM	elegibilidade a avaliações por integridade	projetos e para pipeline após 28/12/2023.
Taxas do programa	Taxas de pipeline, registro, revisão de verificação, manutenção de conta e *issuance levy* de 0,23 US$/crédito	Impacta a precificação líquida e o fluxo de caixa da emissão; deve ser previsto em 8.4 e no edital de leilão	Vigência faseada entre 16/10/2024, 1/12/2024 e 1/1/2025; exceção para países menos desenvolvidos até 1/7/2025.
Marco doméstico	Sanção e implementação em fases do SBCE; preparação de guias de interoperabilidade com o voluntário	Atualiza requisitos do selo estadual, linguagem contratual e trilha de dados; melhora diligência doméstica	LLei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024; fase 1 de 12 a 24 meses para regulamentação e governança do sistema. (
Reporte financeiro	Orientação IFRS S2 para planos de transição; ajustes na CVM 193 pela CVM 227 e supervisões temáticas	Padroniza fichas do lote e dossiês financeiros; reduz custo de capital e tempo de diligência	Orientação publicada em 06/2025; marcos nacionais de 03–04/2025 para adoção voluntária.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A interação entre esses marcos define critérios objetivos de passagem. Para G1 (pipeline e validação), exige-se dossiê técnico estruturado segundo ISO 14064-3:2019, plano de amostragem fechado e repositório com metadados e hashes, além de documentação de elegibilidade metodológica alinhada à VM0047. Para G3 (verificação), requer-se o fechamento do ano 2, a consolidação das séries de sensoriamento e o cálculo de incerteza por estrato, assim como o preenchimento da ferramenta de risco de não permanência e a definição de contribuições ao buffer. Para G4 (emissão), impõe-se a liquidação das taxas programáticas, a reconciliação entre volume verificado, descontos por incerteza e buffer, e a publicação de metadados e relatórios no registro e no proto-RECA-SE.

Os marcos financeiros amarram-se aos regulatórios. A aprovação da verificação aciona a taxa de revisão e prepara a janela de emissão; a emissão deflagra *o issuance levy;* a liquidação comercial deve observar as taxas de custódia e de plataforma quando houver marketplace ou bolsa, e as garantias requeridas no edital do leilão estadual. A gestão desses desembolsos no FEAAC deve espelhar o cronograma exposto no subtítulo 10.1 e os fluxos modelados no subtítulo 8.4, com controles internos que conciliem o registro programático com o proto-RECA-SE.

A governança documental mantém a auditabilidade e a elegibilidade a rótulos. A cada evento de emissão, o projeto publica dossiê com o relatório do verificador, as séries e máscaras de sensoriamento, as estatísticas de incerteza, os relatórios de QA/QC e reamostragem, o cálculo da contribuição ao buffer e as evidências de unicidade e reconciliação com o SINARE. Essa disciplina está alinhada à demanda por transparência de compradores e investidores e às práticas estimuladas pelo IFRS S2 em emissores brasileiros.

Por fim, a coordenação com o cronograma do SBCE preserva opcionalidade de uso. À medida que a regulamentação avance, requisitos de interoperabilidade entre o voluntário e o regulado e procedimentos de ajuste correspondente poderão ser publicados. Antecipar formatos de dados, trilhas de auditoria e conformidade social no selo estadual reduz custo de adaptação e posiciona o piloto para transitar entre demanda voluntária qualificada e usos setoriais assim que janelas regulatórias se abrirem.

11.3. INDICADORES DE VERIFICAÇÃO ANUAL E RELATÓRIOS AO CEMAC

A verificação anual do piloto precisa alinhar três camadas de mensuração: desempenho técnico do MRV-SE, conformidade programática e transparência registral. Os indicadores abaixo estruturam o dossiê anual a ser submetido pela Desenvolve-SE e pelo ITPS-SE à SEMAC e ao CEMAC, com rastreabilidade no proto-RECA-SE e aderência às exigências estatísticas das Diretrizes do IPCC de 2006 e do Refinement 2019, aos requisitos de verificação da ISO 14064-3:2019 e às regras programáticas do padrão de certificação. Esses referenciais orientam metas de precisão e incerteza, QA/QC, documentação de metadados e tempos de processamento em registro, reduzindo risco de não conformidades em auditoria.

No eixo técnico, a métrica central é a precisão do estimador estratificado do incremento de carbono, calculada com formulação explícita de incerteza e graus de liberdade efetivos quando há combinação de variâncias entre estratos. As Diretrizes do IPCC indicam duas abordagens para combinar incertezas: propagação analítica e simulação Monte Carlo; a primeira é suficiente no piloto, desde que se apliquem correções apropriadas e se declarem intervalos de confiança no agregado e por estrato. Quando a combinação envolver variâncias independentes ponderadas, adota-se a aproximação de Satterthwaite para graus de liberdade efetivos do estimador, justificando o uso da distribuição t na construção de intervalos de confiança. O relatório anual deve

explicitar valores de Sh, nh e Wh por estrato, a variância composta e o grau de liberdade efetivo usado em cada estimativa publicada.

A camada programática consolida marcos e tempos de processamento do padrão. O desempenho anual será aferido contra janelas de pipeline, validação, verificação e emissão. O padrão VCS informa prazos de referência de até 30 dias de comentários após o pipeline, até 40 dias úteis para a primeira rodada de revisão de registro e até 20 dias úteis por rodada subsequente, com validação que pode levar até um ano. Taxas programáticas e de emissão impactam diretamente a execução financeira e devem ser acompanhadas como indicadores de custo por tonelada verificada e emitida. Quando aplicável, inclui-se a aplicação da ferramenta de risco de não permanência em sua versão vigente e o cálculo da contribuição ao buffer AFOLU.

A camada de transparência exige metadados padronizados, abertura de dados e reconciliação registral. Metadados geoespaciais seguem o núcleo da família ISO 19115, com identificação, extensão, qualidade e distribuição, além de identificadores persistentes e logs de versão. A adoção de perfis e guias setoriais reconhecidos torna o acervo do piloto interoperável com catálogos públicos e com plataformas de dados governamentais. O dossiê anual registra, também, os insumos de sensoriamento remoto empregados e a sua reprodutibilidade, com referência ao regime de dados abertos de Copernicus e aos procedimentos de acesso a produtos Sentinel implementados no pipeline do projeto, uma vez que a política de acesso livre, pleno e aberto viabiliza reprocessamentos independentes e auditoria técnica.

A tabela a seguir organiza os indicadores anuais a serem reportados ao CEMAC, com fórmula resumida, fonte de dados, periodicidade e critério de aceitação.

Tabela 10.3-A. Indicadores anuais de verificação e de reporte ao CEMAC

INDICADOR	DEFINIÇÃO E FÓRMULA OPERACIONAL	FONTE E MÉTODO	PERIODICIDADE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Precisão agregada do incremento de carbono	Erro padrão relativo do estimador estratificado no nível de 90% de confiança. Variância composta $Var(\hat{Y})=\sum h(W_h^2 S_h^2/n_h)$. Intervalo por t com graus de liberdade efetivos.	Inventário de biomassa e solo; cálculo analítico conforme IPCC 2006 Vol. 1 cap. 3; graus de liberdade por Satterthwaite onde aplicável.	Anual	≤ 10% no agregado do projeto; por estrato ≤ 15%.

INDICADOR	DEFINIÇÃO E FÓRMULA OPERACIONAL	FONTE E MÉTODO	PERIODICIDADE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Coerência inventário–orbital	Correlação e erro de predição entre incremento observado por parcela e séries NDVI/fração de vegetação.	Séries Sentinel-2 em regime Copernicus e parcelas permanentes; modelos por estrato.	Anual	Coeficiente de determinação ajustado por estrato acima de limiar definido no plano anual e análise de resíduos sem viés sistemático.
Taxa de reamostragem independente	Percentual de parcelas reamostradas por equipe de QA/QC independente.	Protocolo QA/QC do ITPS-SE; logs de campo.	Anual	≥ 10% das parcelas totais, com discrepâncias dentro de tolerâncias predefinidas em diâmetro e altura.
Integridade de metadados geoespaciais	Percentual de conjuntos de dados com metadados ISO 19115 completos, incluindo identificação, extensão, qualidade e distribuição, e identificador persistente.	Repositório com perfil ISO 19115-1; checklist de conformidade.	Semestral	≥ 95% de completude e zero registros sem identificador e datação.
Rastreabilidade criptográfica	Percentual de arquivos com hash registrado e reprodutibilidade verificada.	Proto-RECA-SE; logs e verificação de hashes.	Semestral	100% dos arquivos de dados e scripts críticos com hash validado.
Acurácia de classificação temática	Acurácia global e por classe do mapeamento de uso/cobertura empregado no MRV.	Amostras de validação independentes; matriz de confusão.	Anual	Acurácia global igual ou superior ao limiar definido por produto e bioma; documentação de erros de comissão e omissão.
Contribuição ao buffer de não permanência	Percentual do volume emitido alocado ao buffer	Relatório de risco de não permanência e cálculo com a	Por evento de emissão	Aplicação conforme NPRT v4.2 ou regra vigente e

INDICADOR	DEFINIÇÃO E FÓRMULA OPERACIONAL	FONTE E MÉTODO	PERIODICIDADE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
	comum AFOLU do programa.	versão vigente da ferramenta.		publicação do racional.
Tempo de ciclo programático	Dias úteis transcorridos em cada etapa: pipeline, validação, revisão de verificação, emissão.	Painel de acompanhamento no registro do programa.	Anual	Dentro dos prazos de referência, com plano de ação quando houver desvios.
Custo programático por tCO_2e	Soma de taxas de pipeline, registro, verificação e *issuance levy* dividida pelo volume emitido.	Faturas do programa; planilhas financeiras.	Por evento	Compatível com o modelo de 8.4; verificação de aplicação do *issuance levy* vigente.
Reconciliação registral	Convergência entre unidades emitidas no registro do programa, unidades ativas no proto-RECA-SE e registros no SINARE quando aplicável.	Exportações dos registros e reconciliação automatizada.	Por evento e trimestral	Tolerância zero para divergências; relatórios públicos de reconciliação.
Salvaguardas e CLPI	Evidências documentais de salvaguardas sociais e ambientais, consulta e consentimento quando aplicável.	Relatórios e anexos do projeto; parecer do verificador.	Anual	Ausência de não conformidades de classe A; plano de mitigação para observações.
Incidentes e reversões	Registro e quantificação de eventos de perda de estoque por fogo, pragas ou eventos climáticos.	Vistorias, séries orbitais e protocolos de campo.	Contínua e anual	Procedimentos de recomposição e registros no buffer acionados quando aplicável.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O relatório anual ao CEMAC compõe um dossiê fechado, com cinco seções. A seção 1 resume o desempenho do MRV-SE com as métricas acima e séries temporais em comparação com metas fixadas no início do ciclo. A seção 2 apresenta a análise de incerteza, explicando a metodologia de combinação e justificando graus de liberdade efetivos quando utilizados, com referências explícitas às equações do IPCC e ao racional

estatístico. A seção 3 cobre qualidade de dados, metadados e trilha de auditoria, incluindo checklist de conformidade ISO 19115, hashes e reprodutibilidade de scripts. A seção 4 trata da conformidade programática, descrevendo janelas e tempos de processamento, status de validação ou verificação, contribuições ao buffer e taxas incorridas. A seção 5 consolida reconciliação entre registros, salvaguardas e incidentes relevantes, com recomendações vinculadas a ajustes do plano de monitoramento e do cronograma.

A verificação independente, sob a ISO 14064-3:2019, parte desse dossiê e aplica testes baseados em risco e materialidade sobre dados, sistemas e controles. Antecipar o desenho de verificação desde o T0, com definição de nível de asseguração e escopo, reduz retrabalho e encurta prazos nas rodadas de achados e respostas. O relatório do verificador deve documentar evidências, amostragem, rastreabilidade e conclusões, e será incorporado como anexo ao dossiê anual e ao registro.

A transparência sobre dados orbitais e replicabilidade é elemento de integridade. O uso de produtos Sentinel com política de acesso livre permite que auditores e terceiros repliquem consultas e reprocessamentos, desde que o projeto publique identificadores de cenas, parâmetros de mascaramento e índices utilizados. O relatório anual deve indicar as coleções, a versão de processamento e os scripts empregados, com instruções de acesso ao ecossistema *Copernicus Data Space*.

Para os indicadores financeiros e programáticos, a publicação de taxas efetivas e a separação entre custos fixos e variáveis do padrão de certificação favorecem a comparabilidade ano a ano e a aderência à modelagem presente no subtítulo 8.4. O acompanhamento do *issuance levy* e de alterações na pauta de tarifas precisa constar do anexo financeiro, com nota explicativa quando houver efeitos de transição definidos pelo programa.

Finalmente, a governança de reporte prevê deliberação do CEMAC com base em evidências e critérios objetivos. Recomenda-se que cada indicador tenha responsável institucional, fonte primária, rotina de extração e auditoria interna, e que o CEMAC delibere sobre ajustes de meta, correções de processo e autorizações necessárias para manter o caminho crítico proposto no subtítulo 10.1. A publicação do dossiê em portal público, com metadados completos e materiais do verificador, melhora a diligência de investidores e compradores e alinha o piloto às expectativas de transparência setorial e de dados abertos.

11.4. ESTRATÉGIA DE ENCERRAMENTO, AVALIAÇÃO E APRENDIZADO

A fase de encerramento do piloto em caatinga cumpre três objetivos: concluir o ciclo técnico-programático com todas as evidências auditáveis; produzir uma avaliação estruturada de desempenho técnico, financeiro e institucional; e transformar o acervo de dados, métodos e lições em padrões operacionais para a escala pós-piloto. A estratégia organiza essas entregas em quatro frentes: encerramento técnico e programático; avaliação e recomendações; preservação e governança de dados; e mecanismos de retroalimentação ao CEMAC e às equipes executoras.

11.4.1. ENCERRAMENTO TÉCNICO E PROGRAMÁTICO.

A conclusão do ciclo T0–T24 demanda o fechamento documental do período de monitoramento verificado, a reconciliação registral e a aderência às cláusulas de permanência do programa certificador. No âmbito de Agricultura, Florestas e Uso da Terra em programas compatíveis com as *Core Carbon Principles*, permanece vigente a exigência de longevidade mínima de 40 anos e de contribuição ao buffer comum de não permanência, com monitoramento e compensação de reversões conforme a ferramenta de risco atualizada. Isso implica prever, já no encerramento do piloto, como serão cumpridas as obrigações de monitoramento de longo prazo e quais garantias e acordos estarão em vigor caso o projeto transite para a fase de escala ou encerre o crédito em parte da área.

O encerramento programático incorpora os procedimentos do padrão para perdas e reversões. Quando um evento de perda é reportado, créditos do buffer comum são colocados em retenção e, no evento de verificação subsequente, a reversão é confirmada e créditos equivalentes são cancelados; se não houver reversão líquida no período, a retenção é liberada. Em arranjos com reversão não catastrófica, a emissão pode ser suspensa até compensação do déficit, e ao final da longevidade remanescente os saldos do buffer vinculados ao projeto são cancelados. Esses procedimentos precisam estar refletidos no dossiê de encerramento e nos relatórios ao CEMAC, com a trilha de cálculo e as comunicações formais ao registrador.

11.4.2. AVALIAÇÃO E RECOMENDAÇÕES.

A avaliação final combina uma leitura contrafactual técnico-biofísica e uma leitura econômico-financeira e institucional. Do lado técnico, compara-se o incremento estratificado observado versus o contrafactual de baseline e o plano amostral previsto, documentando precisão alcançada, incertezas remanescentes, coerência inventário–

sensoriamento e eventuais correções de série. Do lado financeiro, atualiza-se a análise realizada no subtítulo 8.4 com fluxos realizados, taxas programáticas efetivas, custos de verificação e de emissão e condições comerciais obtidas por canal de venda, inclusive diferenças entre preço de tela e preço líquido por lote.

No eixo institucional, avaliam-se tempos de pipeline, validação, verificação e emissão em relação aos prazos de referência do programa, gargalos operacionais e custo de diligência do comprador. Os resultados alimentam recomendações de escala por estrato de área, por arranjo fundiário e por canal de comercialização, com critérios explícitos de bancabilidade e de integridade.

11.4.3. PRESERVAÇÃO E GOVERNANÇA DE DADOS.

A integridade do legado técnico do piloto depende de um repositório com metadados padronizados e política de preservação de longo prazo. Mantém-se a adoção do núcleo ISO 19115 para metadados geoespaciais aplicado a parcelas permanentes, séries orbitais, máscaras, produtos derivados e relatórios; essa padronização sustenta interoperabilidade e reprocessamentos independentes. Para a preservação de longo prazo, recomenda-se alinhar o repositório estadual à referência OAIS (Open Archival Information System), atualizada para a edição 2025, adotando responsabilidades mandatórias do arquivo (ingestão, armazenamento arquivístico, administração, planejamento de preservação, acesso e gestão de dados descritivos), fixidade e proveniência, de modo a mitigar riscos de obsolescência tecnológica e a assegurar que futuros auditores possam reexecutar cadeias de processamento.

A política de dados aberta para os insumos Sentinel e Copernicus permanece fundamento da replicabilidade: o programa europeu mantém acesso livre, pleno e aberto a dados e produtos, com obtenção mediante registro simples e licenças que permitem reprodução, distribuição e adaptação. O dossiê de encerramento deve incluir identificadores persistentes, versões de processamento, parâmetros de mascaramento e os hashes dos artefatos críticos.

11.4.4. RETROALIMENTAÇÃO AO CEMAC E ÀS EQUIPES EXECUTORAS.

O relatório de encerramento consolida as evidências de desempenho do MRV-SE e de conformidade programática e financeira, mas também registra lições aprendidas e decisões de padronização. Para o ciclo seguinte, propõe-se uma matriz de decisões com status de adoção: parâmetros amostrais por estrato, curvas altura–diâmetro e alométricas

validadas, protocolos de solo e de massa equivalente, limiares de QA/QC, parâmetros de processamento orbital e métricas de acurácia.

Em governança, recomenda-se aprovar um manual de dados e metadados com perfil ISO 19115, políticas de versionamento e de publicação, e um plano OAIS estadual para custódia de longo prazo. No eixo comercial e financeiro, formalizam-se critérios para seleção de canais por lote, cláusulas-padrão nos ERPAs, requisitos de uso de bolsas e marketplaces, e parâmetros de hedge de preço e de câmbio, alinhados à avaliação de 9.2–9.3 e aos custos programáticos vigentes. Esses itens, ao serem deliberados pelo CEMAC, tornam-se parte das condições de elegibilidade para a fase pós-piloto.

11.4.5. CHECKLIST DE ENCERRAMENTO E TRANSFERÊNCIA PARA A ESCALA

1. Conclusão técnica do período de monitoramento verificado, com estatística de precisão e incerteza por estrato e no agregado, reconciliada com séries orbitais e protocolos de QA/QC.
2. Reconciliação registral entre unidades emitidas no programa, registros no proto-RECA-SE e, quando aplicável, registros no SINARE, incluindo aplicação e documentação da contribuição ao buffer de não permanência e de eventuais retenções ou cancelamentos por reversão.
3. Fechamento financeiro do evento de emissão: discriminação de taxas programáticas (pipeline, registro, revisão de verificação, emissão) e custos de plataforma e custódia, com cálculo do custo programático por tonelada e comparação com o modelo de 8.4.
4. Dossiê público de emissão consolidado, com metadados ISO 19115, identificadores de cenas Sentinel, parâmetros de processamento e hashes; publicação no portal do registro estadual e do programa certificador.
5. Relatório de lições aprendidas e de decisões de padronização para a escala, com anexos técnicos versionados e termos de referência atualizados para contratações.
6. Plano de continuidade de monitoramento e de permanência, alinhado às exigências do programa para a longevidade de 40 anos, incluindo acordos de compensação ao buffer e política de resposta a reversões.

7. Pacote de comunicação e reporte a investidores, estruturado segundo as orientações do IFRS S2 sobre planos de transição e divulgações climáticas, com indicadores financeiros e riscos-oportunidades consolidados.

11.4.6. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E DECISÃO DE ESCALA.

A decisão de escalar deve ser suportada por métricas de desempenho técnico (precisão alcançada e tendência de incremento por estrato), custo programático por tonelada emitida, desempenho comercial por canal, aderência a prazos do programa e capacidade institucional para cumprir exigências de permanência e de preservação de dados. Recomenda-se fixar limiares de decisão, como precisão agregada máxima de 10 por cento, custo programático por tonelada dentro das bandas modeladas em 8.4, liquidação por canal dentro de prazos definidos e conformidade documental sem não conformidades de classe A. O parecer do verificador e o cumprimento das obrigações de buffer e de longevidade são condições de base para a aprovação.

11.4.7. MECANISMOS DE APRENDIZADO CONTÍNUO.

A cada encerramento de período, realiza-se revisão técnica com o verificador independente sobre amostragem, alometria, solo e sensoriamento; revisão de governança de dados com auditoria de metadados e de fixidade; e revisão comercial-financeira com atualização de preços, custos e taxas. As conclusões alimentam a atualização anual do manual técnico e do manual de dados, e um ciclo de melhoria contínua com o ITPS-SE e a Desenvolve-SE. Esse desenho garante convergência entre integridade técnica, conformidade programática, transparência e escalabilidade operacional.

12. GESTÃO DE RISCOS E SALVAGUARDAS

Este Capítulo consolida a matriz de riscos do piloto em caatinga e os respectivos mitigadores técnicos, jurídicos, financeiros e operacionais, com integração explícita ao MRV-SE, ao proto-RECA-SE, ao arranjo institucional SEMAC–Desenvolve-SE e às exigências programáticas do padrão de certificação.

A abordagem adota uma visão por classes de risco — fundiário e territorial, climático e operacional, mercado e preço, social e ambiental — e define para cada classe os instrumentos de prevenção, resposta e remediação, os responsáveis institucionais e as evidências documentais necessárias para auditorias independentes. O Capítulo também estabelece critérios de materialidade e de priorização, de modo que as medidas propostas

sejam proporcionais ao risco residual e compatíveis com o horizonte T0–T24, sem perder a coerência com obrigações de permanência e de governança de longo prazo.

12.1. RISCOS FUNDIÁRIOS, CLIMÁTICOS E OPERACIONAIS E SEUS MITIGADORES

A governança fundiária é a primeira linha de risco do piloto na caatinga. Em Sergipe, programas de regularização vêm titulando áreas devolutas e pequenas posses, com georreferenciamento, cadastro e emissão de escrituras, o que reduz incerteza jurídica e melhora acesso a políticas públicas. Esse movimento cria uma base útil para seleção da área-piloto quando se tratar de domínio estadual ou de parcerias com agricultores familiares com posse titulada.

A política estadual registrou a emissão de 4.285 títulos entre 2023 e 2025, com procedimentos que incluem supervisão ocupacional, topografia georreferenciada e remessa a cartório, o que ajuda a distinguir terras devolutas, patrimônio estadual e propriedade privada e, portanto, delimitar com precisão o perímetro do projeto. Essas evidências devem constar do dossiê de base e ser conciliadas com o Cadastro Ambiental Rural antes do protocolo em certificação.

A sobreposição com áreas protegidas ou territórios de povos e comunidades tradicionais gera risco adicional. O Ministério Público Federal recomendou em 2024 a suspensão de regularização em município sergipano com 70 por cento do território reconhecido como remanescente de quilombo, devido a histórico de conflitos. Essa sinalização impõe uma salvaguarda prática: qualquer alternativa de área que toque territórios quilombolas, terras indígenas ou outras formas de ocupação tradicional exige análise jurídica específica, consulta qualificada e, quando aplicável, consentimento livre, prévio e informado, sob pena de materializar risco social e jurídico que tornaria o ativo inelegível para compradores exigentes[128].

O padrão recente de pressão antrópica na caatinga é um vetor para a matriz de risco territorial. Relatórios anuais do MapBiomas Alerta mostram que a caatinga respondeu por 14 por cento da área desmatada no país em 2024 e que houve registros de grandes desmates concentrados, inclusive um alerta de 13.628 hectares no Piauí. Ainda

[128] Fonte: *Ministério Público Federal – Recomendação nº 13/2024, Procuradoria da República em Sergipe, 2024.*

que a série 2024 aponte queda agregada do desmate em relação a 2023, a dinâmica do bioma permanece relevante e com alta participação de imóveis com Cadastro Ambiental Rural nas validações. Para o piloto, a due diligence deve cruzar o perímetro com séries históricas de alertas validados, validar a inexistência de passivos não sanados e, quando houver passivo pretérito, demonstrar a recomposição e a regularidade ambiental antes da contabilidade de remoções.

O risco climático na caatinga combina aquecimento, intensificação de ondas de calor, maior secura atmosférica e alterações na precipitação. As avaliações regionais do Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima projetam aumento de temperatura máxima anual no Nordeste Setentrional da América do Sul entre aproximadamente 2,0 e 2,5 graus Celsius para cenários de aquecimento global de 1,5 a 2,0 graus, redução da precipitação anual com alta confiança e aumento de secas e dias secos consecutivos, com tendência a maior severidade das estiagens. As sínteses indicam ainda elevação do perigo de fogo para meados do século, coerente com o histórico de picos de fogo em anos secos. Esses diagnósticos justificam mitigadores explícitos para risco físico, sobretudo nos primeiros anos de restauração quando a vegetação está mais vulnerável[129].

A dinâmica de fogo no bioma reforça a necessidade de prevenção e resposta. Análises de quatro décadas do MapBiomas Fogo estimam cerca de 10,9 a 11 milhões de hectares queimados na caatinga entre 1985 e 2023, cerca de 12 a 13 por cento do bioma, com sazonalidade marcada entre agosto e novembro e picos recentes em 2020 a 2023. Boletins oficiais de 2025 registraram aumento de focos e área queimada na caatinga em julho em relação ao ano anterior, o que reforça a variabilidade interanual.

A Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, instituída pela Lei 14.944 de 31 de julho de 2024 e regulamentada por atos subsequentes, fornece base para incorporar aceiros, queima prescrita, brigadas treinadas e sistemas de informação sobre fogo como componentes formais de gestão do risco físico na restauração. O plano operacional do piloto deve aderir a essa política, indicando competências e protocolos na escala estadual e municipal.

[129] Fonte: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – Sixth Assessment Report (AR6), Working Group II, Chapter 12: Central and South America, 2022.*

Os riscos operacionais concentram-se em quatro frentes: implantação física, cadeia de medição e dados, logística e segurança patrimonial. Na implantação, cercamento, aceiros e proteção contra intrusão determinam a taxa de sucesso da regeneração natural assistida e dos plantios pontuais. Na cadeia de medição, falhas de QA/QC, perdas de trilha de auditoria e inconsistências entre inventário e sensoriamento remoto são fontes típicas de achados em verificação. A adesão a metadados geoespaciais padronizados e a política de dados abertos do Copernicus, com acesso livre, pleno e aberto às séries Sentinel, permite reprocessos independentes e auditorias reprodutíveis, o que reduz risco de não conformidade. Na logística, a sazonalidade de chuvas e a acessibilidade a parcelas impõem janelas operacionais e reservas de tempo. Por fim, vandalismo e furto de equipamentos exigem plano de segurança, redundância de instrumentos e repositórios com registros de fixidade e verificações criptográficas.

A tabela a seguir organiza a matriz de risco e mitigadores propostos para a fase piloto, com foco em decisões operacionais que caibam no horizonte T0 a T24 meses.

Tabela 11.1-A. Matriz de risco fundiário, climático e operacional do piloto em caatinga.

RISCO	EVIDÊNCIA E TENDÊNCIA	EFEITO POTENCIAL NO PILOTO	MITIGADORES PROPOSTOS E EVIDÊNCIAS
Insegurança fundiária e sobreposição com direitos de terceiros	Programas de titulação em curso em Sergipe e casos de sobreposição com territórios quilombolas em municípios específicos	Atrasos, litígios, inelegibilidade do ativo para compradores exigentes	Priorizar domínio estadual ou parceiros titulados; due diligence com CAR e matrículas; exclusão preventiva de áreas com indícios de sobreposição; consultas qualificadas quando aplicável; condicionantes documentais no dossiê de base.
Pressão de desmatamento no entorno	Série RAD 2023–2024 aponta forte participação da caatinga, inclusive megaalerta no Piauí; 2024 com 14% da área nacional desmatada no bioma	Risco de vazamento, pressões na borda e questionamentos sobre adicionalidade	Zoneamento operacional com faixa tampão; monitoramento trimestral de alertas validados e resposta administrativa; condicionantes contratuais para parceiros do entorno; registro de passivos e PRADs quando aplicável.
Seca e calor extremos	Projeções IPCC AR6 para Nordeste Setentrional: aquecimento de extremos, redução de precipitação, aumento	Mortalidade de mudas, atrasos em restabelecimento, maior risco de reversão por eventos físicos	Calendário de plantio ajustado a climatologia local; espécies e densidades adaptadas; irrigação de estabelecimento em micro-

RISCO	EVIDÊNCIA E TENDÊNCIA	EFEITO POTENCIAL NO PILOTO	MITIGADORES PROPOSTOS E EVIDÊNCIAS
	de secas e de perigo de fogo		sítios críticos; metas de cobertura morta e manejo do solo; monitoramento hídrico em parcelas-sentinela.
Fogo acidental ou intencional	caatinga com 10,9–11 milhões ha queimados em 1985–2023; picos sazonais; 2025 registrou aumento em julho	Perdas de estoque e interrupção de séries; gatilho de buffer em certificação	Plano de manejo integrado do fogo alinhado à Lei 14.944/2024: aceiros, queima prescrita, brigadas, vigilância sazonal, integração ao Sisfogo; seguros paramétricos quando economicamente viáveis; auditoria de ocorrência no dossiê anual.
Falhas de QA/QC e rastreabilidade	Risco típico em MRV com dados de campo e orbitais; necessidade de reprodutibilidade	Não conformidades de verificação e atrasos na emissão	Protocolo de QA/QC com reamostragem independente; metadados ISO e publicação de parâmetros de processamento; uso de dados Sentinel sob política livre e aberta para auditoria pública; verificação de fixidade com hashes.
Logística e janelas operacionais	Sazonalidade de chuvas e acesso dificultado em estratos específicos	Atrasos de inventário e custos adicionais	Planejamento de campanhas por fenologia e acessibilidade; redundância de equipes e rotas; contratos de laboratório com nível de serviço e ensaio de proficiência.
Segurança patrimonial	Intrusão, vandalismo e furto de equipamentos de campo	Perda de dados e reposição de custos	Cercamento e sinalização; cache de instrumentos; seguro de equipamentos; rotinas de backup e telemetria de ativos.

Fonte: elaboração própria com base em dados do *Relatório Anual de Desmatamento (RAD, 2023–2024)*, projeções do *Sixth Assessment Report* (AR6) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), séries históricas do *MapBiomas Fogo (1985–2023)*, e parâmetros de controle de qualidade (QA/QC) e rastreabilidade definidos no *Produto 5.2 – Estudo do Potencial de Créditos de Carbono em Sergipe* (FIA/SEMAC, 2025).

A articulação entre mitigadores técnicos e salvaguardas legais dá robustez à operação. Na seleção da área, a preferência por terras de domínio estadual ou por

parcerias com posses tituladas reduz incertezas de origem. No desenho físico, aceiros, vigilância e brigadas conformes à Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo diminuem exposição a incêndios. Na governança de dados, o uso de séries Sentinel sob política aberta e metadados padronizados permite auditoria independente e reduz custo de diligência. Por fim, a integração entre monitoramento de desmatamento no entorno e o protocolo de respostas administrativas e legais evita riscos de vazamento e de questionamentos sobre integridade ambiental do piloto.

12.2. RISCOS DE MERCADO, PREÇO E DEMANDA E SEUS MITIGADORES

A dinâmica recente do mercado voluntário de carbono combina contração de liquidez com uma reprecificação a favor de créditos de maior integridade, especialmente remoções. Relatórios de 2024 e 2025 apontam queda do volume transacionado e do valor agregado do mercado em 2023–2024, mas estabilidade das aposentadorias nos principais padrões, sinalizando que o consumo final se manteve em patamar elevado enquanto compradores migravam para segmentos de maior qualidade.

No mesmo período, ampliou-se o prêmio de preço para remoções sobre reduções, com destaque para categorias de reflorestamento e revegetação. Esse pano de fundo oferece um diagnóstico claro para o piloto em caatinga: há demanda qualificada para remoções com documentação robusta, mas o risco de preço e de liquidez permanece elevado e precisa ser tratado contratual e operacionalmente.

O primeiro risco é a volatilidade de preço e a base limitada de compradores dispostos a pagar prêmios por integridade. A evidência mais recente mostra que, embora o valor total transacionado tenha caído em 2024, o preço médio resistiu melhor onde há curadoria de qualidade, e o diferencial entre remoções e reduções aumentou substancialmente. Para um projeto de revegetação na caatinga, a resposta prática é ancorar parte da receita em contratos bilaterais de compra futura com piso de preço e bandas de ajuste, combinar um canal de descoberta pública de preço e manter opcionalidade em marketplace com curadoria. A operacionalização de hedge via contratos padronizados em bolsas só é recomendável quando houver convergência suficiente de atributos entre o lote do projeto e o contrato de referência, uma vez que os contratos GEO e N-GEO padronizam cestas de elegibilidade que nem sempre refletem os atributos específicos de um ARR semiárido.

O segundo risco é de demanda e reputação, motivado por maior escrutínio de alegações ambientais e por mudanças regulatórias que restringem o uso de termos genéricos baseados em compensação. A União Europeia aprovou regras que vedam alegações como “neutro em carbono” ou “eco” quando sustentadas apenas por esquemas de compensação, ao mesmo tempo em que a proposta de Diretiva de Alegações Verdes foi suspensa em 2025, mantendo-se, porém, o arcabouço horizontal de defesa do consumidor e o novo banimento de alegações enganosas. O efeito líquido para o piloto é a necessidade de linguagem técnica precisa, documentação pública e rotulagem reconhecida, sob pena de retração de compradores europeus em lotes sem transparência de alta integridade.

O terceiro risco é regulatório-setorial, ligado à interoperabilidade com o esquema de aviação civil e a eventuais regras domésticas. O processo de reavaliação do esquema de compensação do setor aéreo para o período 2027–2029 recebeu submissões de quatro programas líderes e mantém elegibilidade programática condicionada a avaliação de metodologias e categorias. Projetos que estruturam seus metadados e sua contabilidade para atender a eventuais requisitos de uso setorial preservam opcionalidade de demanda. Em paralelo, as taxas programáticas atualizadas no padrão de certificação, como a tarifa de emissão por unidade a partir de 1º de janeiro de 2025, afetam o preço líquido recebido e devem ser tratadas explicitamente no modelo financeiro e nas cláusulas de repasse em contratos de venda.

O quarto risco é de liquidez operacional em canais de venda. A profundidade de livro em bolsas e marketplaces varia por produto e janela; a execução pode exigir fracionamento de lotes, com custos de intermediação e prazos de liquidação que afetam o fluxo de caixa. Em contrapartida, ERPAs com compradores institucionais reduzem o risco de execução, mas aumentam a dependência do crédito de contraparte e do cumprimento de marcos técnicos e programáticos. O leilão estadual proposto mitiga assimetria informacional e cria sinal público de preço, mas sua periodicidade e tamanho de lote o tornam um mecanismo pontual, não um provedor contínuo de liquidez.

Mitigadores contratuais e operacionais são, portanto, centrais no desenho do piloto. Em contratos bilaterais, recomenda-se: piso de preço em moeda forte com bandas de desempenho; tolerâncias de volume anuais que reflitam variância climática e de medição; obrigação de recomposição em emissões futuras; step-in do financiador em arranjos com blended finance; e cláusulas de ajuste por mudanças de taxas programáticas, explicitando o repasse do *issuance levy* e de tarifas de registro. Em marketplace e bolsa,

exige-se entrega contra pagamento, custódia alinhada ao registro do padrão, reconciliação automática com o registro estadual e fichas técnicas que mapeiem atributos do lote para o contrato padrão escolhido, reduzindo risco de base. No leilão estadual, devem constar na habilitação os requisitos do selo de integridade estadual, a documentação de verificação e as regras de liquidação e garantias de pagamento, além de publicação de métricas de resultado que alimentem a modelagem de preço de referência.

A seleção estratégica de rótulos e elegibilidades reduz o risco de demanda. A convergência com os *Core Carbon Principles* e a busca de elegibilidade setorial quando pertinente elevam a atratividade do lote. Os dados de 2024–2025 indicam que a demanda se manteve mais firme por créditos com rotulagem e curadoria independentes, e que a preferência por *vintages*[130] recentes reforça a importância de realizar a primeira emissão dentro do horizonte do piloto com documentação completa.

A matriz a seguir organiza riscos de mercado, preço e demanda com respostas específicas para o piloto.

Tabela 11.2-A. Riscos de mercado, preço e demanda e mitigadores no piloto em caatinga.

RISCO	EVIDÊNCIA RECENTE	EFEITO POTENCIAL	MITIGADORES PROPOSTOS
Volatilidade e assimetria de preço entre categorias	*Contraction* em 2023–2024; prêmio de remoções crescente; aposentadorias estáveis	Incerteza de receita, risco de subprecificação em janelas fracas	ERPA com piso e bandas; leilão estadual para sinal de preço; listagem seletiva em marketplace com curadoria; hedge tático quando houver contrato padrão compatível.
Reputação e restrições a alegações	Proibição na UE de alegações genéricas baseadas em compensação; suspensão da Diretiva de Alegações Verdes sem revogar o arcabouço *anti-greenwashing*	Retração de compradores europeus para lotes sem transparência reforçada	Linguagem técnica alinhada a guias; dossiê público por emissão no registro; rotulagem reconhecida; integração com SINARE e selo estadual. (

[130] O termo *vintage* é mantido em inglês por constituir a designação técnica adotada nos mercados de carbono para indicar o ano de verificação ou emissão dos créditos — isto é, o período em que a redução ou remoção de emissões efetivamente ocorreu e foi certificada. *Vintages* mais recentes tendem a possuir maior valor de mercado por refletirem metodologias atualizadas, padrões de integridade mais rigorosos e menor risco de desvalorização regulatória.

RISCO	EVIDÊNCIA RECENTE	EFEITO POTENCIAL	MITIGADORES PROPOSTOS
Mudança de elegibilidade setorial	Reavaliação CORSIA 2025 para 2027–2029; submissões de programas líderes	Perda de opcionalidade para compradores setoriais	Preparar documentação e metadados compatíveis com requisitos de uso setorial; manter trilha para *Letters of Authorization* quando aplicável.
Custo programático e erosão do preço líquido	Atualização de taxas e da tarifa de emissão por unidade a partir de 2025	Redução do preço líquido no ponto de emissão	Cláusulas de ajuste e repasse; provisão financeira nas projeções; escolha de janela e canal que minimizem custos por lote.
Liquidez operacional por canal	Profundidade variável em bolsas; custos de intermediação	Demora na liquidação e necessidade de fracionamento	Planejamento de janelas; testes de liquidez; divisão de volumes entre ERPA, marketplace e leilão; cláusulas DvP.
Risco de base em hedge padronizado	Divergência entre atributos do lote e contratos GEO/N-GEO	Proteção ineficiente ou parcial de preço	Avaliar correlação de preço e elegibilidade antes de travar; limitar volumes cobertos; priorizar proteção contratual em ERPA.

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A governança de preços amarra esses mitigadores ao MRV e ao registro. Cada emissão deve ser acompanhada de ficha técnica com volume bruto, descontos por incerteza e contribuição ao buffer, volume líquido disponível, custos programáticos incorridos e canais de venda selecionados. Essa ficha integra o dossiê técnico e o repositório do registro estadual, permitindo auditoria de preço líquido por tonelada e reconciliação com o registro do padrão e com o SINARE. Em contratos bilaterais, a fórmula de preço precisa explicitar indexadores, eventuais faixas condicionadas a integrações futuras com rótulos de integridade e a política cambial adotada quando as receitas forem denominadas em moeda estrangeira.

A política de calendarização reduz risco de vintage e de janela fraca de mercado. Dado o prêmio observado para *vintages* mais recentes, a estratégia do piloto é realizar a primeira emissão ao final do ano 2 com documentação completa, preservar uma reserva técnica adicional para suavizar entregas e, quando houver sinais de janela fraca, diferir a listagem em marketplace e priorizar liquidação por ERPA ou rodada de leilão estadual. A decisão é suportada por um painel de inteligência que acompanha preços de referência em bolsas e reports setoriais, o andamento do processo de rótulos de integridade e a agenda de reavaliação setorial.

Por fim, a qualificação de compradores é um mitigador de risco de contraparte e de reputação. Recomenda-se avaliação de políticas climáticas, conformidade com padrões de divulgação financeira, histórico de aposentadorias e uso de linguagem compatível com arcabouços *anti-greenwashing* em cada jurisdição. A minuta contratual deve prever garantias de pagamento, mecanismos de resolução de disputas e obrigações de comunicação alinhadas ao dossiê público do lote.

12.3. SALVAGUARDAS SOCIAIS E AMBIENTAIS, CONSENTIMENTO LIVRE, PRÉVIO E INFORMADO E MECANISMOS DE RECLAMAÇÃO

A salvaguarda social e ambiental do piloto precisa cobrir três camadas complementares: a observância de direitos territoriais e culturais de povos e comunidades tradicionais, com ênfase em consentimento livre, prévio e informado quando aplicável; a gestão de riscos e impactos socioambientais segundo padrões internacionalmente reconhecidos e exigências de financiadores; e a criação de um mecanismo de reclamação acessível, transparente e auditável, com integração à governança estadual e às exigências de verificação do padrão de certificação e de rotulagem de integridade.

A base normativa para essa arquitetura é composta, no plano internacional, pela Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho sobre Povos Indígenas e Tribais, internalizada no Brasil e consolidada pelo Decreto nº 10.088, de 5 de novembro de 2019, da Presidência da República, e, no plano doméstico, por diplomas que regulam os territórios quilombolas e orientam a consulta a comunidades tradicionais, além de salvaguardas de projetos de investimento como os Padrões de Desempenho da International Finance Corporation e as Normas Ambientais e Sociais do Banco Mundial. A integração desses referenciais fornece critérios objetivos para elegibilidade social dos créditos e para mitigação de riscos reputacionais e jurídicos.

No contexto brasileiro, há dois vetores jurídicos diretamente relevantes para a escolha e a gestão da área-piloto. O primeiro é a proteção a territórios quilombolas, que tem assento no artigo 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias e regramento procedimental pelo Decreto nº 4.887, de 20 de novembro de 2003, que detalha etapas de identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação. A competência federal para a titulação por meio do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária não exclui a atuação concorrente de estados, e o processo se baseia na autodefinição comunitária e na caracterização de relações territoriais específicas.

Para o piloto, isso implica cláusula de exclusão automática de alternativas de área com indícios materiais de sobreposição a processos de regularização quilombola, salvo quando a própria comunidade, por meio de seu órgão representativo, manifestar interesse em arranjo de parceria com benefícios compartilhados e após cumprimento pleno das etapas de consulta. Essa prudência é coerente com a atualização normativa recente do Incra, que em 2025 constituiu grupos de trabalho para revisar e consolidar instruções normativas sobre reconhecimento e demarcação, evidenciando a vitalidade do tema e reforçando a necessidade de due diligence documental.

O segundo vetor é a consulta prévia, livre e informada às comunidades indígenas e tradicionais quando medidas administrativas ou empreendimentos possam afetá-las diretamente. A Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho, em seus artigos centrais sobre consulta, exige procedimentos de boa-fé, culturalmente apropriados e com o objetivo de alcançar acordo ou consentimento, sendo que a consolidação brasileira da Convenção pelo Decreto nº 10.088, de 2019 reforça sua vigência. A orientação institucional recente também vai nessa direção, com manifestações de órgãos federais em 2025 sustentando, perante o Supremo Tribunal Federal, a necessidade de observância da consulta prévia consoante a Convenção. Para projetos de restauração e manejo florestal com potencial interação com territórios tradicionais, o piloto deve adotar um protocolo próprio de consulta, ancorado em diretrizes operacionais internacionais como as Guidelines on Free, Prior and Informed Consent do Programa ONU-REDD, que oferecem um roteiro aplicável a iniciativas de uso da terra e clima.

A operacionalização do consentimento livre, prévio e informado segue uma sequência mínima com entregáveis verificáveis. A fase de identificação e engajamento mapeia atores e instituições representativas, reconhecendo protocolos comunitários e assegurando tradução e acessibilidade. Na fase de informação, são apresentados, em linguagem clara e em formatos adequados ao contexto local, os elementos centrais do projeto: delimitação espacial, cronograma, práticas de restauração, arranjos de repartição de benefícios e salvaguardas de não restrição a usos tradicionais compatíveis. A fase deliberativa assegura tempo hábil e processos internos de decisão, respeitando formas próprias de governança comunitária.

O registro e a documentação constituem dossiê com atas, listas de presença, pareceres, gravações quando permitidas e material traduzido, compondo prova de processo conduzido em boa-fé. Finalmente, a fase de consentimento formaliza acordos, condicionantes e salvaguardas, inclusive cláusulas de revisão, e estabelece um plano de

acompanhamento participativo. Esse encadeamento está alinhado com o objetivo de alcançar acordo ou consentimento expresso, como enfatizado na interpretação corrente da Convenção 169 e em guias ONU-REDD, e com o entendimento consolidado em padrões de financiamento que, em certos cenários, requerem consentimento livre, prévio e informado, a exemplo do Padrão de Desempenho 7 da *International Finance Corporation.*

Além do consentimento quando devido, o piloto deve adotar um sistema de gestão socioambiental compatível com práticas de financiadores multilaterais e bancos de desenvolvimento. Os Padrões de Desempenho da International Finance Corporation estabelecem requisitos para avaliação e gestão de riscos e impactos, engajamento de partes interessadas, condições de trabalho, saúde e segurança comunitária, aquisições de terra e reassentamento involuntário, biodiversidade, povos indígenas e patrimônio cultural. Em especial, o Padrão de Desempenho 1 requer um plano de engajamento com stakeholders e um mecanismo de reclamação proporcional aos riscos do projeto, acessível e sem custos ou retaliações, com prazos claros e não impeditivo de acesso a vias administrativas e judiciais. O Padrão de Desempenho 7, por sua vez, indica cenários em que consentimento livre, prévio e informado é condição, entre eles impactos significativos sobre terras e recursos naturais de propriedade ou uso tradicional e transferência de povos indígenas de suas terras. A adoção voluntária desses referenciais confere previsibilidade para due diligence de investidores e verificadores e aumenta a elegibilidade do projeto em rotulagens de integridade.

No plano de mercado, as salvaguardas sociais e ambientais dialogam com a exigência de benefícios de desenvolvimento sustentável e procedimentos de salvaguarda estabelecidos por critérios de integridade. Os *Core Carbon Principles do Integrity Council for the Voluntary Carbon Market* incluem, entre seus dez princípios, um princípio específico de benefícios de desenvolvimento sustentável e salvaguardas, assim como requisitos de governança, rastreabilidade, transparência e verificação independente. Programas e categorias de créditos vêm sendo avaliados desde 2024; decisões publicadas reconhecem programas líderes que ajustaram procedimentos para aderir aos critérios, reforçando o elo entre integridade social e elegibilidade de rótulos. Para o piloto, alinhar relatórios, ficha técnica de emissão e documentação de salvaguardas a esses critérios reduz risco de demanda e facilita o posicionamento em canais com curadoria.

A proteção de dados pessoais, especialmente em processos de consulta, cadastro de participantes e operação do mecanismo de reclamação, requer conformidade com a

Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais. A Lei nº 13.709, de 2018, define fundamentos, princípios e bases legais para tratamento de dados, com regras explícitas para consentimento, finalidades determinadas e direitos do titular, bem como salvaguardas específicas para dados sensíveis.

No contexto do piloto, a coleta de informações pessoais para fins de consulta, participação em programas de repartição de benefícios e acompanhamento social deve basear-se em bases legais compatíveis, preferencialmente consentimento específico e destacado quando necessário, e observar direitos de acesso, retificação e revogação. A política de privacidade do projeto e o registro estadual associado devem explicitar finalidades, prazos de retenção, compartilhamentos e medidas de segurança, com a possibilidade de elaboração de relatório de impacto à proteção de dados quando pertinente.

O mecanismo de reclamação constitui a espinha dorsal da responsividade social do piloto. Em consonância com normas de engajamento de financiadores multilaterais, o mecanismo deve garantir canais múltiplos de recebimento de queixas e manifestações, inclusive anônimas quando juridicamente possível, assegurar confidencialidade, prever prazos de resposta e resolução por tipo de demanda e estabelecer trilha de auditoria completa. Os requisitos consolidados em guias de engajamento do Banco Mundial, sintetizados na Norma Ambiental e Social 10, destacam a necessidade de procedimentos de divulgação acessível, registro e resposta com prazos indicativos, proteção contra retaliação e acessibilidade para grupos vulneráveis.

Para o piloto, isso se traduz em pontos de escuta presenciais na área de influência, canal telefônico, formulário digital com campo para anexos e opção de encaminhamento por agentes comunitários treinados, além de material de comunicação visualmente acessível e em linguagem adequada. O registro estadual deve incorporar metadados mínimos de cada queixa, status, resposta e solução.

Para assegurar que o mecanismo seja percebido como legítimo, a governança deve incluir instância de revisão independente. Reclamações não solucionadas no primeiro nível técnico-operacional escalam para um comitê de salvaguardas com participação da SEMAC, Desenvolve-SE, órgão técnico estadual e, quando pertinente, observadores convidados. O comitê publica relatórios trimestrais agregados com indicadores de desempenho do mecanismo, preservando dados pessoais. Em casos de risco de retaliação, o protocolo prevê acolhimento em canais especializados, inclusive mediação por terceiros. Essa arquitetura segue boas práticas derivadas dos padrões de

desempenho e das notas orientadoras de financiadores, que recomendam independência relativa, transparência, proteção a denunciantes e acesso a vias judiciais e administrativas.

O desenho de repartição de benefícios e de salvaguardas de uso tradicional deve ser explícito. Quando houver adesão de parceiros privados ou de comunidades a programas de Pagamento por Serviços Ambientais vinculados ao piloto, as regras de repartição devem constar de termos de adesão e acordos específicos, com critérios objetivos de elegibilidade, fórmulas de cálculo, calendários e mecanismos de auditoria social. Em contextos com populações tradicionais, a política de não exclusão de usos compatíveis, como coleta de produtos não madeireiros e acesso para atividades culturais, precisa ser detalhada, inclusive com mapeamento participativo de trilhas e áreas sensíveis. O consentimento livre, prévio e informado, quando aplicável, incorpora esses elementos como condicionantes, de modo a evitar restrições imprevistas. Diretrizes internacionais de FPIC, como as do Programa ONU-REDD, oferecem referências operacionais para registrar esses compromissos de forma verificável.

A salvaguarda ambiental integra-se ao módulo de biodiversidade e ao controle de risco de fogo já contemplados em capítulos anteriores. Os Padrões de Desempenho incluem um padrão específico para biodiversidade e manejo sustentável de recursos vivos, e a política nacional de manejo integrado do fogo dá suporte jurídico-operacional à prevenção e resposta. A compatibilidade com critérios de salvaguarda ambiental reforça a integridade do ativo emitido, reduz achados em verificação e aumenta a probabilidade de elegibilidade a rótulos de integridade. O dossiê do projeto deve incluir mapas de sensibilidade ambiental, inventário de espécies de interesse especial, condicionantes para supressão eventual e protocolo de resposta a incidentes.

A tabela a seguir resume etapas críticas do consentimento livre, prévio e informado e os respectivos produtos documentais que devem integrar o dossiê do piloto e do registro estadual.

Tabela 11.3-A. Etapas operacionais de CLPI e evidências documentais.

ETAPA	OBJETIVO OPERACIONAL	EVIDÊNCIAS MÍNIMAS
Identificação e planejamento	Mapear partes interessadas, instituições representativas e protocolos comunitários	Mapa de stakeholders, ofícios de apresentação, plano de engajamento com cronograma e recursos
Informação e divulgação	Assegurar compreensão dos elementos do projeto e de seus impactos e benefícios	Materiais traduzidos e acessíveis, apresentações, atas, listas de presença, registros audiovisuais quando consentidos

ETAPA	OBJETIVO OPERACIONAL	EVIDÊNCIAS MÍNIMAS
Deliberação comunitária	Garantir tempo e forma adequados à governança própria	Atas de reuniões internas, pareceres de órgãos tradicionais, registro de dúvidas e respostas
Negociação e consentimento	Estabelecer acordos, condicionantes e repartição de benefícios	Termos de consentimento ou acordos com cláusulas de revisão, anexos cartográficos, salvaguardas de uso
Acompanhamento e revisão	Monitorar cumprimento e ajustar salvaguardas	Indicadores, relatórios periódicos, auditorias sociais, decisões de comitê de salvaguardas, integração ao mecanismo de reclamação

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

Por fim, a integração entre salvaguardas e requisitos de integridade de mercado exige transparência pública. Os Core Carbon Principles demandam transparência ampla sobre atividades creditadas, e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais impõe limites e deveres no tratamento de dados pessoais. O equilíbrio entre publicidade de informações relevantes para escrutínio e proteção de dados é alcançado por meio de fichas técnicas públicas das emissões, com informações agregadas e anonimização sempre que houver risco de identificação indevida, e por um repositório reservado para avaliadores e verificadores contendo os registros nominativos, acessado sob salvaguardas contratuais. Essa solução preserva o controle social sobre integridade do projeto e resguarda direitos individuais.

12.4. PLANO DE CONTINGÊNCIA E CONTINUIDADE OPERACIONAL

A continuidade do piloto em caatinga depende de respostas organizadas a eventos climáticos extremos, incidentes de fogo, falhas operacionais e interrupções institucionais ao longo do ciclo T0–T24. O plano adota a lógica de um sistema de gestão da continuidade baseado na norma de continuidade de negócios ISO 22301:2019, com objetivos mensuráveis de recuperação, responsabilidades claras e exercícios periódicos.

A versão vigente da norma, com emenda de 2024 voltada a mudanças climáticas, define requisitos para planejar, estabelecer, implementar, operar, monitorar e melhorar continuamente um sistema de continuidade, o que orienta a definição de tempos-alvo de recuperação, procedimentos de resposta e auditorias internas. A orientação complementar da ISO 22313 fornece diretrizes operacionais para aplicar esses requisitos em diferentes contextos organizacionais.

O componente de incêndios florestais integra prevenção, preparação, resposta e recuperação, articulado à Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e às competências do Prevfogo do Ibama. A lei federal de 31 de julho de 2024 instituiu a política, reconhecendo o papel ecológico do fogo, a necessidade de coordenação entre União, estados e municípios e a gestão por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Fogo e do Centro Integrado Multiagências de Coordenação Operacional.

No plano operativo federal, o Prevfogo coordena monitoramento de focos, contrata e treina brigadas, implementa queima prescrita quando aplicável, opera o Sistema de Comando de Incidentes e publica planos de prevenção e resposta por bioma. Esses dispositivos são a base para acionar, com antecedência sazonal, cercas corta-fogo, aceiros, queimas prescritas em mosaico sob condições meteorológicas seguras, patrulhamento preventivo e mobilização de brigadas locais e federais, com escalonamento para combate ampliado quando necessário.

O monitoramento e o aviso prévio utilizam fontes oficiais com atualização frequente. O Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais disponibiliza foco ativo e risco de fogo com dados abertos, atualizados de dez em dez minutos no BDQueimadas e até quatro vezes ao dia nos painéis de situação, além de séries históricas e mapas de área queimada.

O TerraBrasilis integra alertas a recortes por bioma e por Cadastro Ambiental Rural, útil para identificar pressão no entorno e orientar patrulhamento. Em caso de escalonamento, o serviço de gestão de emergências Copernicus oferece produtos de mapeamento sob demanda e o EFFIS fornece índices de perigo de fogo, dados abertos e serviços web de acesso público. O plano institucionaliza rotinas automáticas para ingestão e arquivamento dessas fontes, com registro de identificadores, horários de captura e parâmetros de filtragem, de modo a permitir auditoria posterior e reprodutibilidade.

A contingência de reversões de carbono segue as regras programáticas do padrão de certificação para Agricultura, Florestas e Uso da Terra. Projetos que solicitarem registro a partir de 1º de janeiro de 2024 devem assinar os novos instrumentos de compensação do pool de buffer AFOLU e observar os procedimentos de retenção e compensação quando um evento de reversão for confirmado em verificação. O plano operacional incorpora esses compromissos como cláusulas padrão e define gatilhos internos para registrar eventos, quantificar perdas por estrato com base em inventário extraordinário e séries orbitais, submeter documentação ao verificador e registrar a compensação junto ao programa e ao registro estadual.

No eixo de dados e sistemas, a continuidade depende de redundância e de rotinas de recuperação ponto a ponto. Os dados operacionais incluem polígonos e parcelas, inventário de biomassa e solo, séries orbitais, máscaras e derivados, metadados, scripts e artefatos de verificação. O plano estabelece objetivos de recuperação por tipo de ativo: até 24 horas de perda máxima tolerável para dados brutos do inventário e até quatro horas para registros do pipeline orbital, com restauração automática a partir de cópias íntegras validadas por hash. A cada emissão, realiza-se teste de restauração completa do repositório e de reexecução de scripts em ambiente limpo, com geração de relatório de conformidade. A governança de metadados e fixidade permanece alinhada a padrões geoespaciais e às boas práticas de publicação de dados de sensoriamento com política aberta, o que facilita auditorias independentes e reprocessamentos por terceiros.

A resposta a interrupções institucionais contempla quatro cenários críticos. O primeiro diz respeito à indisponibilidade temporária do verificador independente. A mitigação inclui cláusulas de substituição em contrato e manutenção de dossiê de verificação continuamente atualizado, o que reduz tempo de transição. O segundo, à indisponibilidade de laboratório de análises de solo. A mitigação prevê acordos de nível de serviço com laboratório alternativo e, quando aplicável, mudança de frequência de reamostragem de solo dentro dos limites metodológicos, sem comprometer a estatística de incerteza. O terceiro, à indisponibilidade do registro do programa de certificação. O plano incorpora janela de fila e retém a documentação de emissão com carimbo de tempo e hash, registrando no proto-RECA-SE o estado pendente e preparando liquidação contratual vinculada à confirmação de emissão. O quarto, diz respeito às mudanças de janela regulatória de emergência ambiental. O plano referencia as portarias sazonais do Ministério do Meio Ambiente que organizam prevenção e contratação de brigadas, ajustando cronogramas de campo e condicionando atividades de plantio e manutenção à autorização pertinente.

A seguir, um quadro de contingências resume eventos, gatilhos, metas de recuperação e responsáveis.

Tabela 11.4-A. Contingências operacionais do piloto e metas de recuperação.

EVENTO CRÍTICO	GATILHO OBJETIVO	META DE RECUPERAÇÃO E PROCEDIMENTO	RESPONSÁVEIS
Incêndio florestal dentro do perímetro	Deteção confirmada por INPE com duas passagens consecutivas e	Ativação do SCI, isolamento de área, combate inicial por brigada local, escalonamento ao Prevfogo conforme protocolo estadual; vistorias	Desenvolve-SE, brigada local, SEMAC, Prevfogo

EVENTO CRÍTICO	GATILHO OBJETIVO	META DE RECUPERAÇÃO E PROCEDIMENTO	RESPONSÁVEIS
	validação em campo	pós-evento, quantificação de perda por estrato, relatório ao verificador e ao programa; registro de retenção de buffer	
Perigo de fogo extremo	Índice de risco de fogo no quantil superior para 3 dias, segundo INPE e EFFIS	Suspender atividades de campo que aumentem ignição; intensificar patrulhamento e vigilância; preparar aceiros suplementares e aceiros negros sob autorização; comunicação comunitária	Desenvolve-SE, ITPS-SE, SEMAC
Seca extrema no estabelecimento	Precipitação e umidade do solo abaixo de limiar por 30 dias em parcelas-sentinela	Reduzir plantios, priorizar manutenção, aplicar cobertura morta e irrigação de estabelecimento em micro-sítios críticos; atualizar curva de sobrevivência e replanejar reposição	Desenvolve-SE, ITPS-SE
Falha do pipeline orbital	Quebra de ingestão por mais de 4 horas ou inconsistência de máscaras	Trocar para fonte redundante, reprocessar lote, registrar hashes e parâmetros; relatório de incidente e de correção	ITPS-SE
Perda de dados de campo	Falha de dispositivo ou extravio de caderno	Recuperar da cópia diária assinada digitalmente; auditoria de consistência; reamostrar parcela crítica se necessário	ITPS-SE
Indisponibilidade do VVB	Ausência de janela contratada por 60 dias	Acionar cláusula de substituição; manter dossiê pronto; ajustar janela de emissão e comunicação a investidores	Desenvolve-SE, SEMAC
Indisponibilidade do registro	Painel do programa inoperante além do SLA informado	Congelar dossiê com carimbo de tempo e hash; registrar estado pendente no proto-RECA-SE; reprogramar liquidação contratual	Desenvolve-SE
Evento de segurança em campo	Ameaça a equipe ou vandalismo	Suspender operações, acionar segurança pública, registrar BO, reforçar guarda de perímetro; substituir equipamentos e retomar após liberação	Desenvolve-SE, SEMAC

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

O plano de continuidade prevê exercícios e auditorias. A cada semestre, realiza-se simulado de fogo com ativação do Sistema de Comando de Incidentes e avaliação de tempos de resposta, comunicação e integração com o Prevfogo. Anualmente, executa-se teste de restauração completa do repositório e de reprocessamento do pipeline orbital com dados de referência, registrando tempos de retorno ao serviço, passos críticos e não conformidades. Relatórios desses exercícios compõem anexos do dossiê anual ao CEMAC e alimentam revisões do plano.

A comunicação em contingências segue protocolos graduados. Em incidentes de fogo ou reversões, a comunicação pública apresenta fatos, medidas adotadas, a estimativa preliminar e o procedimento programático para compensação via buffer, com remissão ao dossiê quando concluído. Para compradores e financiadores, a comunicação inclui impactos sobre volume líquido e calendário de emissão e as cláusulas contratuais acionadas. Esse desenho, coerente com as exigências de transparência do registro e com as boas práticas de continuidade, reduz risco de reputação e mantém previsibilidade para as partes interessadas.

O financiamento de contingências aparece no orçamento de OPEX e reservas técnicas. A modelagem financeira reserva provisões para brigadas sazonais, manutenção de aceiros, exercícios e auditorias, reposição de equipamentos e contratação de laboratório alternativo. As taxas programáticas e custos extraordinários por reversões são tratados como passivos condicionais, com relato específico por evento de emissão.

Por fim, a integração com a política pública estadual amarra a continuidade ao aparato legal e operacional vigente. A SEMAC e a Desenvolve-SE mantêm coordenação com o Prevfogo, Corpo de Bombeiros Militar e defesa civil, incorporando calendários de emergência ambiental, contratação de brigadas e planos de prevenção. O plano é atualizado anualmente para refletir mudanças normativas, ajustes de taxa do programa de certificação e lições dos simulados e incidentes reais, preservando a aderência a ISO 22301 e às salvaguardas climáticas introduzidas em 2024.

13. PLANO DE ESCALA PÓS-PILOTO

Este Capítulo traduz os resultados do piloto em diretrizes de expansão técnica, institucional e financeira para o período subsequente. A ênfase recai na transformação do arranjo mínimo viável em sistemas permanentes, com foco em governança, padronização de dados, interoperabilidade registral, desenho de processos e capacidade operacional

para suportar múltiplos projetos e áreas em caatinga e, quando oportuno, em outros biomas do estado.

As recomendações se articulam com os requisitos metodológicos consolidados nos capítulos 4 e 5, com a estratégia de comercialização do Capítulo 9 e com a governança de riscos do Capítulo 11, de modo a preservar integridade, auditabilidade e bancabilidade à medida que o escopo cresce.

13.1. INTEGRAÇÃO PLENA AO RECA-SE E AO MRV-SE DEFINITIVOS

A passagem do proto-RECA-SE para um registro estadual definitivo requer evolução simultânea de modelo de dados, processos, tecnologia e governança. O objetivo é assegurar unicidade de projetos e unidades emitidas, rastreabilidade completa de eventos, interoperabilidade com o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e capacidade de escalar o número de projetos e de transações sem perda de integridade.

No plano jurídico-institucional, o registro definitivo opera sob ato normativo estadual que define finalidade, competências, regras de acesso, regime de dados e responsabilidades por operação, auditoria e guarda de longo prazo. O ato deve vincular explicitamente o RECA-SE ao MRV-SE, às salvaguardas sociais e ambientais e à política de transparência do estado. Recomenda-se instituir um comitê técnico com representação de SEMAC, Desenvolve-SE, ITPS-SE e CEMAC, com mandato para aprovar padrões técnicos, homologar mudanças de esquema de dados e credenciar usuários institucionais.

No plano de dados e metadados, o RECA-SE adota um núcleo de metadados geoespaciais compatível com a família ISO 19115, acrescido de um esquema transacional para eventos de ciclo de vida. Cada entidade relevante possui um identificador persistente. O projeto possui identificador próprio, o polígono cadastrado possui identificador e versão, o lote de emissão possui identificador e versão, os arquivos de dados e scripts possuem hashes e carimbos de tempo. O modelo transacional registra estados e eventos: cadastro, validação de documentação, verificação, emissão, alocação a buffer, transferência, aposentadoria e cancelamento. Cada evento contém autor, data, referência documental e resultado. Essa estrutura viabiliza reconciliação automática, auditorias amostrais e geração de trilha de auditoria para verificadores e compradores.

A interoperabilidade com o SINARE exige camadas técnicas e procedimentais. No plano técnico, o RECA-SE deve expor interface programática para consulta e

reconciliação, com serviços de leitura autenticados e exportação de lotes em formatos padronizados. No plano procedimental, o registro estadual adota rotinas de conciliação por emissão e por transação, com conferência de unicidade e consistência de metadados. A política de dados deve separar informações públicas e reservadas, assegurando transparência suficiente para diligência e preservando dados pessoais segundo a Lei Geral de Proteção de Dados.

A arquitetura tecnológica privilegia modularidade e reprodutibilidade. O núcleo do RECA-SE armazena metadados, estados, eventos e vínculos com artefatos externos. Os artefatos primários permanecem em repositório de dados versionado, com verificação de fixidade e logs de acesso. Para escalabilidade, indicadores críticos como tempo de resposta de consulta, disponibilidade mensal de serviços, tempo máximo de conciliação por lote e capacidade de processamento simultâneo de submissões devem ter metas explícitas e monitoramento contínuo. A homologação de novas versões de esquemas e de processos é feita por meio de ciclos de teste com ambiente de pré-produção, roteiros de regressão e publicação de notas de versão.

No MRV-SE definitivo, a ampliação de escopo exige padronização forte e automação prudente. A estratificação parte da base desenvolvida no piloto e admite atualização anual com salvaguardas para manutenção de séries comparáveis. Planos amostrais são definidos por estrato e por projeto, com metas de precisão alinhadas às diretrizes do IPCC. Protocolos dendrométricos e de solo são publicados em manuais estaduais, com anexos operacionais e checklists. O pipeline orbital é formalizado como serviço estatal, com rotinas de ingestão, mascaramento, cálculo de índices e geração de produtos derivados por período, além de catálogo público de cenas e parâmetros para reprocessamento. Um programa de proficiência de laboratórios de solo e de treinamento de equipes de campo é instituído, com auditorias periódicas e reamostragem independente mínima.

O relacionamento com verificadores e certificadoras passa a seguir processos reutilizáveis. O estado mantém um repositório de dossiês de projeto em formato padronizado, com estrutura e terminologia alinhadas à norma de verificação e validação de gases de efeito estufa. Minutas de termos de referência para verificadores e desenvolvedores de projeto são publicadas com requisitos técnicos, de amostragem, de trilha de auditoria e de confidencialidade, reduzindo dispersão de expectativas e tempos de ciclo.

A governança de mudanças técnicas se dá por meio de uma agenda anual. Alterações relevantes em alometria, curvas altura–diâmetro, razões raiz–parte aérea, protocolos de solo ou parâmetros de processamento orbital são propostas pelo ITPS-SE, submetidas a consulta técnica, testadas em ambiente de pré-produção, acompanhadas de análise de impacto sobre incerteza e custo e homologadas pelo comitê técnico. Essa disciplina protege a comparabilidade das séries e a confiabilidade da emissão, evitando rupturas metodológicas inadvertidas.

A seguir, um quadro de requisitos de escala resume as entregas e as métricas de sucesso para a transição ao RECA-SE e ao MRV-SE definitivos.

Tabela 12.1-A. Requisitos de escala do RECA-SE e do MRV-SE.

DIMENSÃO	ENTREGAS DE ESCALA	MÉTRICAS DE SUCESSO
Jurídico-institucional	Ato normativo do RECA-SE com competências e responsabilidades; comitê técnico formalizado; políticas de transparência e de proteção de dados	Registro instituído; reuniões do comitê com atas; política publicada
Dados e metadados	Esquema de metadados ISO 19115 adotado; identificadores persistentes; modelo transacional de estados e eventos; catálogo público	100 por cento das emissões com metadados completos; tempo de reconciliação por lote dentro da meta
Tecnologia	Ambiente de produção com alta disponibilidade; repositório com verificação de fixidade; API de consulta e exportação; pré-produção para homologação	Disponibilidade mensal acima da meta; métricas de resposta em consulta sob o limite; ciclos de homologação concluídos
Processos MRV	Manuais estaduais publicados; metas de precisão por estrato; programa de proficiência de laboratório; reamostragem independente	Precisão agregada dentro da meta; proficiência satisfatória; reamostragem cumprida
Interoperabilidade	Rotina de conciliação com o SINARE por emissão e por transação; exportações padronizadas	Zero divergência em reconciliações; relatórios publicados
Compliance	Trilhas de auditoria completas; relatórios anuais ao CEMAC; auditorias amostrais independentes	Relatórios sem não conformidades críticas; plano de ação para observações executado

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A migração do piloto para o registro definitivo segue etapas claras. Primeiro ocorre a congelamento do dossiê do piloto com metadados robustos e trilha de auditoria completa. Em seguida executa-se a migração controlada de registros e de artefatos, com verificação de integridade e reconciliação automatizada. Finalmente, homologa-se a operação em produção com um ciclo real de emissão ou transferência, acompanhado por

auditoria técnica externa. Durante a migração, o proto-RECA-SE permanece como arquivo ativo de referência, com *redirects*[131] e documentação para garantir rastreabilidade histórica.

No plano de pessoas e capacidades, a escala exige funções e competências específicas. O RECA-SE requer administradores de dados e de aplicação, especialistas em governança de metadados e segurança da informação, e analistas de reconciliação e atendimento a auditorias. O MRV-SE pede equipes de campo e de laboratório capacitadas, analistas de sensoriamento remoto, estatísticos para desenho amostral e profissionais de garantia de qualidade. Recomenda-se um programa permanente de formação e certificação interna, com trilhas para técnicos de campo, analistas de dados e gestores de processos.

A sustentabilidade financeira do registro e do MRV-SE definitivos depende de um modelo de custos e de receitas transparente. O orçamento deve prever manutenção evolutiva, infraestrutura, auditorias, proficiência e treinamento, e pode ser parcialmente financiado por taxas moderadas de cadastro e de emissão, por aportes do FEAAC e por cooperação técnica. A política de taxas deve ser pública e estável, com previsibilidade para desenvolvedores de projeto e compradores.

Por fim, a transparência permanece eixo estruturante. Cada emissão no registro definitivo deve ser acompanhada de ficha técnica pública com metadados completos, documentos do verificador, estatísticas de incerteza, contribuição a buffer e reconciliação com o sistema federal quando aplicável. Essa camada reduz custo de diligência, aumenta a elegibilidade a rótulos de integridade e abre caminho para o escalonamento de canais de comercialização.

13.2. EXPANSÃO TERRITORIAL E SETORIAL

A expansão pós-piloto será mais eficiente se combinar um roteiro territorial de priorização de áreas na caatinga com um portfólio setorial que mantenha custos marginais decrescentes de MRV e preserve a integridade metodológica já consolidada. Para orientar

[131] O termo *redirect* é mantido em inglês por designar, em sistemas de informação e registros digitais, o mecanismo de redirecionamento automático que conduz o usuário ou a aplicação de um endereço antigo para um novo, preservando a continuidade de acesso e a integridade dos links históricos**.** No contexto do *proto-RECA-SE*, os *redirects* asseguram que registros e metadados anteriores permaneçam acessíveis e auditáveis após a migração para o sistema definitivo, garantindo rastreabilidade e transparência documental**.**

a escolha de mosaicos e o ritmo de crescimento, é adequado adotar a lógica de diagnóstico e priorização inspirada na metodologia de avaliação de oportunidades de restauração desenvolvida por organizações internacionais, que estrutura a identificação de áreas, a seleção de modalidades de intervenção, a análise de custos e benefícios e a avaliação de condições habilitadoras institucionais. Essa abordagem, concebida para contextos nacionais e subnacionais, oferece um "*restoration diagnostic*"[132] que facilita a transformação do aprendizado do piloto em critérios objetivos de decisão no plano estadual.

O pano de fundo territorial recomenda cautela na seleção de polígonos e no desenho de faixas de amortecimento contra pressões externas. As séries recentes de alertas validados apontam que a caatinga respondeu por parcela relevante da área desmatada no país em 2024 e registrou, naquele ano, um alerta individual de 13.628 hectares no Piauí, o maior desde o início da série; mesmo com recuo agregado de desmate no bioma, o padrão de concentração de eventos exige que a expansão privilegie blocos com menor pressão no entorno e estratégias explícitas de contenção de vazamento. O sistema de inteligência que serviu ao piloto deve ser mantido em operação contínua, atualizando trimestralmente o histórico de alertas e realimentando as decisões do CEMAC com análises de risco territorial.

Em termos práticos, a seleção de novas áreas pode seguir uma matriz ponderada que integre segurança fundiária, prioridade ambiental, risco de fogo e janela climática, adicionalidade e vazamento, custo por hectare e potencial de co-benefícios. A segurança fundiária, com domínio público estadual ou parceria com posses tituladas e ausência de sobreposições com territórios tradicionais, evita litígios e aumenta a elegibilidade social do ativo; a prioridade ambiental, medida por conectividade ecológica, proteção de nascentes, suscetibilidade à erosão e degradação detectada por séries NDVI, maximiza benefícios ecossistêmicos; o risco de fogo e a janela climática, com base em séries sazonais, orientam o calendário de implantação e manutenção; a adicionalidade e o risco de vazamento, inferidos pela densidade e tendência dos alertas validados, complementam o diagnóstico; o custo por hectare, dirigido por logística e disponibilidade hídrica para

[132] A expressão *restoration diagnostic* é mantida em inglês por se referir a uma ferramenta metodológica internacional padronizada, utilizada para avaliar oportunidades, custos e benefícios **de ações de restauração ecológica**. O termo deriva da metodologia *Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM)*, desenvolvida pelo *World Resources Institute (WRI)* e pela *IUCN*, que orienta governos e instituições na priorização de áreas e estratégias de restauração com base em critérios biofísicos, econômicos e sociais.

estabelecimento, preserva a viabilidade financeira; e os co-benefícios, inclusive elegibilidade a Pagamento por Serviços Ambientais, elevam a adesão social e a resiliência do arranjo.

A tabela a seguir propõe pesos iniciais passíveis de calibração anual pelo CEMAC.

Tabela 12.2-A. Matriz de priorização territorial para expansão em caatinga.[133]

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO OPERACIONAL	INDICADORES E FONTES	PESO SUGERIDO
Elegibilidade e segurança fundiária	Domínio estadual ou parceria com posse titulada; ausência de sobreposição com territórios tradicionais e unidades de conservação com restrição	Matrícula, CAR, bases fundiárias; checagem com processos de regularização quilombola e unidades de conservação	25%
Prioridade ambiental	Conectividade, proteção de nascentes, solo erodível, degradação detectada por NDVI	Mapas de sensibilidade; séries Sentinel-2; modelos de suscetibilidade à erosão; base hídrica	20%
Risco de fogo e janela climática	Sazonalidade e perigo de fogo; dias secos consecutivos; histórico de queima	Programas INPE/BDQueimadas e EFFIS; séries históricas; métricas climáticas regionais	15%
Adicionalidade e vazamento	Pressão do entorno e histórico de alertas validados	MapBiomas Alerta RAD 2024/coleções; densidade de alertas e tendências	15%
Custo por hectare	Acesso, logística, água para estabelecimento, custo de insumos e mão de obra	Orçamentos por microrregião; histórico do piloto	15%

[133] Nota metodológica sobre pesos: A ponderação atribuída aos critérios na Tabela 12.2-A deriva de uma combinação entre relevância técnica para elegibilidade de créditos de carbono, risco operacional e alinhamento com salvaguardas socioambientais exigidas por programas internacionais (como o *Verified Carbon Standard*, o *Gold Standard* e o *ART TREES*). O peso máximo (25%) foi reservado à elegibilidade e segurança fundiária por ser condição sine qua non para registro e comercialização de créditos — qualquer área sem domínio comprovado ou com conflito fundiário invalida o ativo climático. Em seguida, a prioridade ambiental (20%) reflete a relevância de atributos biofísicos que determinam permanência, adicionalidade e contribuição real à resiliência ecológica, critérios centrais nas auditorias de verificação e nas ferramentas de risco de não permanência (non-permanence risk tools). Os eixos de risco de fogo e janela climática (15%) e de adicionalidade/vazamento (15%) possuem pesos equivalentes, pois ambos afetam a integridade ambiental do projeto: o primeiro, pela vulnerabilidade direta à reversão de carbono; o segundo, pela possibilidade de deslocamento de emissões (*leakage*). O custo por hectare (15%) representa a variável de eficiência econômica para expansão, compatível com parâmetros de priorização adotados em planos de restauração do BNDES (*Floresta Viva*) e do MAPA. Por fim, o eixo de co-benefícios e pagamento por serviços ambientais (10%) incorpora a valoração socioambiental prevista na Lei Federal nº 14.119/2021 e é mantido em peso menor para não distorcer a racionalidade técnica da modelagem principal. A matriz resultante reflete equilíbrio entre elegibilidade jurídica, viabilidade ecológica e sustentabilidade financeira, garantindo que a expansão territorial maximize adicionalidade e reduza riscos de integridade e de implementação.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO OPERACIONAL	INDICADORES E FONTES	PESO SUGERIDO
Co-benefícios e PSA	Benefícios hídricos e sociais; elegibilidade a Pagamento por Serviços Ambientais	Lei 14.119/2021 e minutas de regulamentação; mapeamento de serviços ecossistêmicos	10%

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A combinação entre créditos de carbono e instrumentos de Pagamento por Serviços Ambientais pode funcionar como alavanca de adesão, sobretudo em áreas com benefícios hídricos e sociais evidentes. A regulamentação federal do PSA, em consulta pública no meio de 2025, delineou diretrizes para priorizar agricultores familiares, povos indígenas e comunidades tradicionais, a criação de cadastro nacional e arranjos de governança que dialogam com programas estaduais. Ao internalizar esses elementos desde já na política estadual e no RECA-SE, o estado reduz custo de transação, previne dupla contagem de resultados e melhora a diligência de compradores exigentes.

O sequenciamento territorial pode ser organizado em ondas anuais, sem criar barreiras artificiais entre regiões. A primeira onda consolida áreas contíguas de menor risco operacional e fundiário, com economias de escala em cercamento, aceiros e manutenção; a segunda contempla mosaicos com maior pressão antrópica, condicionando a execução a acordos de entorno e a monitoramento trimestral de alertas validados com respostas administrativas rápidas; a terceira avalia pilotos em biomas minoritários do estado, quando houver convergência técnica e institucional, sem diluir o foco na caatinga que sustenta a estratégia. Esse encadeamento deve ser reavaliado a cada ciclo à luz dos relatórios anuais de uso e cobertura e de alertas, aproveitando janelas de menor risco de fogo e de melhor logística.

No eixo setorial, o portfólio que se mostrou promissor no Produto 5.2 oferece rotas com complementaridade de risco e cronogramas distintos de geração de resultados. Permanecendo a restauração em caatinga como âncora das remoções, há espaço para incorporar reduções de emissões de curta maturação em resíduos sólidos urbanos e saneamento, notadamente captura e combustão de metano em aterros e estações de tratamento de esgoto, além de iniciativas de energia distribuída e eficiência em ativos públicos e, seletivamente, manejo de dejetos na agropecuária. Essa diversificação equilibra o ciclo plurianual das remoções florestais com reduções de implementação mais rápida e MRV de menor incerteza, suavizando fluxos de caixa e aumentando a resiliência do portfólio diante da volatilidade de preço observada nos últimos ciclos do mercado voluntário.

A tabela seguinte caracteriza as rotas setoriais recomendadas, com síntese dos atributos operacionais e de MRV, sem prejuízo de ajustes finos a partir de termos de referência específicos por projeto.

Tabela 12.2-B. Rotas setoriais de expansão e atributos de implementação.

ROTA	OBJETO E METODOLOGIA TÍPICA	HORIZONTE DE GERAÇÃO	MRV E INTEGRIDADE	NOTAS OPERACIONAIS
Restauração em caatinga	Revegetação/manejo de regeneração natural assistida com metodologia de reflorestamento/revegetação compatível com VM0047	Remoções crescentes; primeira emissão em 18–24 meses	MRV híbrido campo–orbital; incerteza tratada por estratos; contribuição ao buffer de não permanência	Escalar em blocos contíguos; padronizar amostragem e pipeline orbital; aplicar matriz 12.2-A
Resíduos (aterros)	Captura e queima de CH4 em aterros sanitários	Reduções imediatas após entrada em operação	Balanço de metano, medição de vazão e teor; incerteza baixa	Contratos com operadores; potencial de ERPA com entes públicos
Saneamento (ETEs)	Captura/combustão de biogás e controle de emissões difusas	Reduções em 6–18 meses	Medição direta e fatores padrão	Integração com companhias estaduais; uso do FEAAC para CAPEX
Eficiência energética	Substituição de equipamentos e gestão de energia em prédios públicos	Reduções diluídas	Consumo medido e linha de base ajustada	Contratos de desempenho; atenção à dupla contagem com políticas
Agropecuária (dejetos)	Tratamento anaeróbio e queima de biogás	Reduções em 6–12 meses	Medição e fatores IPCC	Foco em unidades com escala mínima e assistência técnica

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A operacionalização dessa expansão supõe um caderno de dados padronizado e rotinas reutilizáveis. No território, camadas geoespaciais de risco de fogo, pressão antrópica, degradação detectada e conectividade, além de polígonos candidatos com documentação fundiária, alimentam um placar com pontuações e justificativas que acompanha cada decisão do CEMAC.

No setorial, termos de referência e checklists de MRV padronizam medições e relatórios, integrando as entregas ao RECA-SE com identificadores persistentes e trilhas de auditoria. A padronização de dados e processos, a automação prudente do pipeline de

sensoriamento e a replicação de protocolos de campo e laboratório em “kits de expansão” reduzem o custo marginal por hectare ou por tonelada e aceleram a curadoria documental que compradores e verificadores demandam.

Por fim, a expansão deve permanecer alinhada aos sinais macro de uso e cobertura de longo prazo e às oportunidades de cooperação. As coleções atualizadas de uso e cobertura mostram a magnitude das transformações desde meados dos anos 1980 e sustentam análises de conectividade, degradação e suscetibilidade.

Reportar a evolução da carteira estadual em formatos reconhecidos internacionalmente, como o barômetro de restauração, facilita a comparação, a captação de recursos e o diálogo com metas globais de restauração. Em paralelo, as evidências de mercado de 2024–2025 indicam que a demanda por créditos de alta integridade permaneceu relativamente firme e que o prêmio por remoções aumentou, o que reforça a importância de manter a restauração em caatinga como eixo e de garantir que as primeiras emissões adicionais ocorram com documentação completa, rótulos de integridade quando elegíveis e reconciliação registral transparente.

13.3. ARRANJOS DE FINANCIAMENTO PARA A FASE 2027–2030

A consolidação do piloto em caatinga em carteira de projetos exige um arranjo financeiro que combine previsibilidade de entradas, redução de risco de execução e custo de capital compatível com fluxos de caixa que, nas remoções florestais, são crescentes ao longo do tempo. A arquitetura proposta organiza instrumentos em três camadas: capital público-estruturante e garantias para reduzir risco de crédito e de projeto; dívida concessionária e instrumentos de blended finance para antecipar e escalonar investimentos; e receitas por resultados, sobretudo por contratos de compra futura de créditos de carbono, leilão estadual e vendas em mercados com curadoria, que lastreiam amortizações e remuneração do capital.

A camada público-estruturante tem, no Brasil, instrumentos hoje operacionais e com escala crescente. O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, retomado e reformulado, aprovou planos anuais de aplicação que somam R$ 10,4 bilhões em 2024 e R$ 11,2 bilhões em 2025, com a parcela reembolsável gerida pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Os recursos cobrem, entre outras linhas, florestas nativas, recursos hídricos e inovação, com expansão de aprovações e liberações observada em 2024 e 2025.

Essa disponibilidade foi demonstrada por operações de restauração nativas que acessaram o Fundo Clima com intermediação bancária privada e etiquetagem de biodiversidade, como a transação de R$ 80 milhões para uma empresa de reflorestamento reconhecida por agência internacional, além de operações prévias no mesmo segmento. O histórico recente indica que esse instrumento é apto para financiar CAPEX de implantação e manutenção inicial de restauração, sobretudo quando combinado com garantias privadas ou bancárias, reduzindo o custo do crédito e ampliando o alcance regional.

No Nordeste, onde se insere a caatinga sergipana, o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste operado pelo Banco do Nordeste vem ampliando orçamento e linhas ambientais, com o FNE Verde e programas setoriais de transição energética, inovação e sustentabilidade. A programação de 2025 projeta R$ 47,3 bilhões para a região, com comunicação oficial de orçamentos específicos para iniciativas verdes e inovação, inclusive linhas para armazenamento de energia e apoio a cooperativas, e divulgação de alocação dedicada ao bioma caatinga no ano. Esses instrumentos são relevantes para parceiros privados e consórcios municipais em infraestrutura de apoio à implantação (por exemplo, energia e água para viveiros e irrigação de estabelecimento), e para rotas setoriais complementares de redução de metano em saneamento e resíduos integradas ao portfólio estadual.

A camada *de blended finance* articula dívida concessionária, garantias e, quando pertinente, recursos não reembolsáveis orientados a habilitadores com externalidades positivas, como formação de viveiros, capacitação e protocolos de MRV. A coordenação com bancos de desenvolvimento e instituições multilaterais permite estruturar envelopes com moeda local, taxas compatíveis e prazos longos, reduzindo o descasamento entre investimentos iniciais e geração de recebíveis por carbono.

Há iniciativas federais recentes de leilões de investimento para recuperação de áreas degradadas com mecanismos de hedge cambial e arranjos de cofinanciamento público-privado que visam destravar capital para restauração em múltiplos biomas, com participação de bancos multilaterais. A lógica desses leilões é replicável em escala estadual, com foco em caatinga, para atrair investidores institucionais quando houver pipeline e MRV padronizado, reduzindo custo de transação e sinalizando preço por resultado.

As receitas por resultado se organizam em três canais, de acordo com o Capítulo 9 e as condições de mercado: contratos bilaterais de compra futura com piso de preço e

bandas de ajuste; prateleiras com curadoria e bolsas com contratos padronizados quando houver correspondência de atributos; e leilão estadual. O uso de contratos bilaterais com empresas ancoras do setor de energia, logística e indústria permite antecipar compromissos de compra e vincular desembolsos a marcos técnicos do MRV-SE e de verificação. Essa estratégia se beneficia de precedentes recentes de grandes empresas brasileiras estruturando carteiras de compra de créditos de restauração, combinadas com crédito de baixo custo do BNDES para viabilizar o CAPEX dos proponentes. Em paralelo, parcerias setoriais entre empresas estatais e bancos públicos para aquisição de créditos de restauração por meio de chamadas competitivas demonstram capacidade de criar demanda previsível e benchmarks de preço, encorajando contratos plurianuais com critérios de integridade.

A montagem financeira recomendada para 2027–2030 parte do desenho do piloto e projeta três safras de investimentos e emissões. Na safra 1, o CAPEX de implantação e dois anos de manutenção intensiva são financiados por crédito do Fundo Clima via BNDES, com garantia parcial de instituição financeira e contrapartida do FEAAC para itens públicos e de governança. O serviço da dívida é programado para iniciar com defasagem que coincida com a primeira emissão verificada, preservando folga de caixa. Na safra 2, já com custos marginais decrescentes pelo efeito de escala do MRV-SE e do pipeline orbital, parte do CAPEX é coberta por FNE Verde para infraestrutura de apoio e por linhas de inovação para automação de viveiros, enquanto receitas de ERPAs assinados no ano 1 começam a ser apropriadas. Na safra 3, a carteira incorpora o leilão estadual com lotes padronizados e prazos de liquidação definidos, e acelera a rotação de capital por meio de cessão de recebíveis de ERPAs em operações estruturadas locais, mantendo reserva técnica para variâncias de volume e preço.

O arranjo institucional dá previsibilidade ao financiador. A SEMAC e a Desenvolve-SE formalizam papéis de promotor e executor, com governança técnica do ITPS-SE no MRV-SE e do registro estadual. O dossiê de projeto e a ficha técnica por emissão, definidos nos Capítulos 5 e 9, alimentam o pacote de diligência. Para linhas do Fundo Clima e do FNE, o projeto evidencia elegibilidade ambiental, adicionalidade econômica e capacidade de mensuração e verificação; para ERPAs, apresenta fórmula de preço, bandas por integridade e cláusulas de desempenho. A padronização de dados e metadados, com identificadores persistentes e verificação de fixidade, reduz custo de auditoria e de custódia, tornando a carteira bancável em prazos compatíveis com as janelas dos programas públicos.

A matriz de riscos financeiros inclui volatilidade de preço do carbono, risco de volume por variância climática, risco de calendário por janelas de verificação e emissão e risco de contraparte. O conjunto de mitigadores inclui bandas contratuais de entrega e preço, reservas financeiras vinculadas a cada emissão, seguro operacional quando houver oferta para riscos específicos e, sobretudo, diversificação de canais e compradores. Para risco de base cambial, a orientação é priorizar contratos em reais quando o financiamento subjacente estiver em moeda local; quando receitas forem em moeda forte, o uso de proteções cambiais pontuais pode ser avaliado caso a caso, observando o custo de carregamento e o horizonte de liquidação em cada canal.

A tabela a seguir resume a pilha financeira típica para uma área adicional de restauração em caatinga com horizonte de três anos, usando valores e programas hoje existentes como referência e permitindo substituições por linhas equivalentes.

Tabela 12.3-A. Pilha financeira sugerida para 2027–2030 em restauração de caatinga.

CAMADA	FONTE E INSTRUMENTO	USO PRIORITÁRIO	OBSERVAÇÕES DE ELEGIBILIDADE E EVIDÊNCIA
Público-estruturante	Fundo Clima via BNDES (dívida concessionária)	CAPEX de implantação e manutenção inicial	Planos anuais aprovados para 2024–2025; operações recentes em restauração nativa com etiquetagem de biodiversidade e intermediação bancária privada; elegível a florestas nativas e inovação
Regional	FNE Verde e linhas do BNB	Infraestrutura de apoio, inovação, energia e água; rotas setoriais complementares	Programação de 2025 com R$ 47,3 bi; orçamentos verdes e de inovação; anúncio de destinação específica para caatinga
Blended finance	Leilões e programas federais com hedge e cofinanciamento	Ampliação de escala e atração de investidores	Segundo leilão Eco Invest voltado à recuperação de terras degradadas com blended finance e hedge cambial; modelo replicável no estado
Receitas por resultado	ERPAs com empresas âncora; chamadas setoriais; leilão estadual	Amortização, OPEX contínuo e retorno do capital	Parcerias recentes de empresas e bancos públicos para compras plurianuais de créditos de restauração; benchmark setorial

Fonte: elaboração própria com base em dados do *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)*, *Banco do Nordeste do Brasil (BNB)*, *Fundo Clima* (MMA/BNDES), programas federais de *blended finance* e leilões *Eco Invest* (2024–2025), além de benchmarks de mercado de restauração nativa e mecanismos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) descritos nos Produtos 5.2 e 5.3 do Plano de Ações Climáticas de Sergipe (FIA/SEMAC, 2025).

A interação com iniciativas multilaterais e coalizões financeiras amplia o leque de capital paciente e técnico. Coalizões lançadas em 2024 para mobilizar financiamento à restauração e bioeconomia no Brasil, com participação de bancos públicos e multilaterais, setor privado e organizações da sociedade civil, têm metas de alocação até 2030 e foco em escalabilidade e integridade. Embora muitas iniciativas priorizem Amazônia, os instrumentos e salvaguardas são transferíveis para caatinga quando houver pipeline robusto e MRV padronizado. Além disso, a discussão internacional sobre fundos de florestas tropicais com dotação permanente e pagamentos por conservação abre janela de cooperação e de coinvestimento em arranjos jurisdicionais e subnacionais, que podem complementar o portfólio estadual no médio prazo.

A governança financeira compatível com investidores institucionais exige relatórios periódicos com reconciliação entre o registro do padrão de certificação e o registro estadual, métricas de custo programático por tonelada, evolução de estoque e de incerteza e indicadores socioambientais associados a salvaguardas. O alinhamento a padrões de divulgação climática, como os requisitos de transparência hoje frequentemente exigidos por compradores corporativos e financiadores, reduz risco de reputação e acelera diligências. Na medida em que o portfólio amadurece, a possibilidade de securitização de recebíveis de ERPAs ou de carteiras de pequenos projetos por meio de veículos estaduais ou regionais pode ser avaliada, sempre preservando unicidade e trilha de auditoria.

Com essas peças, a fase 2027–2030 pode avançar com um mix de capital de baixo custo para implantação, instrumentos de blended finance para escala, contratos por resultado para ancoragem de receita e mecanismos estaduais de mercado para descoberta de preço. A prioridade é preservar a integridade metodológica e a transparência que sustentam prêmios de preço e elegibilidade em canais com curadoria, ao mesmo tempo em que se reduz o custo de capital por meio de garantias, etiquetagens e padronização documental.

13.4. META DE PADRONIZAÇÃO E REPLICABILIDADE INTRAESTADUAL

A consolidação do piloto em um programa estadual exige que a arquitetura técnica, documental e operacional seja convertida em padrões reutilizáveis. O objetivo é que qualquer novo projeto de caatinga submetido ao MRV-SE e ao RECA-SE siga o mesmo esquema de dados, os mesmos procedimentos de medição e de processamento

orbital, as mesmas regras de qualidade e a mesma trilha de auditoria, com variações apenas onde a metodologia exigir ajustes por estrato.

A base de metadados geoespaciais adota o núcleo ISO 19115-1, incluindo a emenda de 2018 que atualizou a estrutura de elementos e códigos, com extensões para atributos específicos do projeto como estratos, parcelas, séries orbitais e artefatos de verificação. Para qualidade de dados, a referência passa a ser a ISO 19157-1:2023, que organiza os componentes de qualidade, define a estrutura de medidas e descreve procedimentos gerais de avaliação e princípios de reporte, permitindo padronizar precisão, completude, consistência lógica, acurácia temática e temporal em relatórios de verificação e em fichas técnicas de emissão. Ao adotar essa dupla ancoragem, o estado ganha comparabilidade entre projetos e redução de custo de diligência, além de alinhar a documentação aos princípios de dados encontráveis, acessíveis, interoperáveis e reusáveis.

A camada de publicação e interoperabilidade do registro se beneficia de padrões abertos que expõem dados e eventos em formatos previsíveis. A disponibilização de coleções geoespaciais e de eventos transacionais em interfaces web compatíveis com a família OGC API permite consultas programáticas e reconciliações independentes, começando pelo núcleo de recursos do OGC API Features, que define blocos de construção modulares para listar coleções, descrever seus limites espaciais e temporais e consultar feições; quando necessário, a extensão de sistemas de referência de coordenadas acrescenta suporte a outros referenciais além do WGS 84 em longitude e latitude. Esse arranjo facilita integrações com painéis internos, com o sistema federal e com compradores ou verificadores que queiram reexecutar amostragens ou conferir metadados de lotes.

A governança de preservação de longo prazo dos artefatos técnicos precisa migrar do protocolo de piloto para um sistema arquivístico com responsabilidades explícitas. A referência internacional mais consolidada é o modelo OAIS, cuja edição de 2025 atualizou o escopo e as responsabilidades mínimas para ingestão, armazenamento arquivístico, gestão de dados, acesso e planejamento de preservação. Incorporar o OAIS como política do RECA-SE significa definir papéis institucionais, processos de ingestão com verificação de fixidade, plano de migração tecnológica e acesso auditável a pacotes de informação arquivística, de forma que cenas orbitais, versões de máscaras, códigos e relatórios possam ser recuperados e reprocessados décadas à frente. Essa camada dá

previsibilidade a verificadores, compradores e órgãos de controle, reduzindo risco de perda de reprodutibilidade com a evolução tecnológica.

A replicabilidade operacional depende de manuais e kits padronizados. O manual de parcelas define dimensões, critérios de inclusão de indivíduos, regras de medição para fustes múltiplos, protocolos de subamostragem de altura, registro botânico e documentação fotográfica e geodésica, com formulários e exemplos preenchidos. O manual de solo consolida amostragens por camada, determinações de densidade aparente, aplicação do método de massa equivalente e procedimentos laboratoriais com controles e ensaios de proficiência. O manual orbital descreve ingestão, mascaramento, cálculo de índices, validações, parâmetros e versões de processamento. O caderno estatístico estabelece alocação amostral, fórmulas de variância estratificada, graus de liberdade aproximados e regras para recalibrar n por estrato. Todos os manuais incluem quadros de conformidade, listas de verificação e anexos operacionais; são publicados com identificadores persistentes e versionamento, e cada emissão registra explicitamente a versão aplicável, o que simplifica auditorias e comparações longitudinais.

O processo de verificação e validação precisa estar desenhado para reutilização. Dossiês de projeto, planos de monitoramento, relatórios de campo, scripts e metadados são organizados em uma árvore de diretórios padronizada, com chaves e hashes publicados no registro. Os termos de referência para verificadores reutilizam a mesma matriz de escopo, os mesmos critérios de materialidade e os mesmos artefatos obrigatórios, minimizando idas e vindas. Formulários eletrônicos de verificação e de reconciliação registral reduzem erros de transcrição e facilitam a integração com o sistema federal, mantendo unicidade e trilha de auditoria.

A padronização precisa de metas, indicadores e prazos para virar prática. O quadro abaixo propõe indicadores de adoção e metas anuais de maturidade para a transição do piloto para um programa plenamente padronizado.

Tabela 12.4-A. Indicadores de padronização e metas de adoção[134].

INDICADOR DE PADRONIZAÇÃO	DEFINIÇÃO OPERACIONAL	META T+12	META T+24
Cobertura de metadados ISO 19115-1	Emissões com metadados completos segundo perfil estadual	90% dos lotes	100% dos lotes

[134] Os indicadores e metas da Tabela 12.4-A foram definidos com base em padrões internacionais de dados ambientais e de certificação de créditos de carbono, priorizando rastreabilidade, interoperabilidade e

INDICADOR DE PADRONIZAÇÃO	DEFINIÇÃO OPERACIONAL	META T+12	META T+24
Qualidade ISO 19157-1 reportada	Emissões que apresentam medidas de qualidade e métodos	80% dos lotes	100% dos lotes
Publicação via OGC API Features	Coleções e eventos acessíveis por API conforme parte 1 e CRS por referência quando aplicável	1ª emissão publicada	Todas as emissões publicadas
Conformidade OAIS	Artefatos com pacotes de informação, verificações de fixidade e plano de preservação	Política aprovada e piloto concluído	Auditoria interna concluída
Reutilização de manuais e listas de verificação	Projetos novos usando as versões correntes dos manuais	80% dos projetos	100% dos projetos
Tempo de reconciliação registral	Intervalo entre verificação aprovada e conciliação com o registro estadual e o sistema federal	≤ 10 dias úteis	≤ 5 dias úteis
Proficiência laboratorial	Laboratórios com ensaio externo de proficiência válido	1 laboratório credenciado	2 ou mais credenciados
Reamostragem independente	Parcelas reamostradas por equipe independente por ciclo	≥ 10%	≥ 10%

Fonte: elaboração própria – FIA (2026).

A replicabilidade também exige disciplina de mudanças. Alterações em equações alométricas, curvas altura–diâmetro, razões raiz/parte aérea, parâmetros orbitais e critérios de QA/QC entram em um ciclo anual: proposta técnica, teste em ambiente de pré-produção com amostras históricas, análise de impacto sobre incerteza e custo,

verificabilidade. A meta de 90%–100% para cobertura de metadados ISO 19115-1 reflete o requisito de completude mínima adotado por repositórios públicos e iniciativas como *Global Forest Observations Initiative* (GFOI) e *FAO OpenForis*, assegurando que cada lote de emissão tenha descrição detalhada, origem, data e qualidade documentadas. A qualidade ISO 19157-1 reportada em 80% no primeiro ciclo e 100% no segundo é compatível com práticas de controle de qualidade espacial (DQ Elements) exigidas por sistemas de monitoramento com verificação independente, permitindo rastrear incertezas e precisão posicional. A publicação via OGC API Features, inicialmente para a primeira emissão e universalizada até T+24, foi calibrada segundo as recomendações do *Open Geospatial Consortium* para garantir interoperabilidade com o SINARE e sistemas estaduais, considerando o tempo médio de **implantação** de infraestrutura geoespacial. A conformidade OAIS (Open Archival Information System) segue diretrizes do *Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS)* e do *ISO 14721*, justificando uma fase inicial de política e piloto (T+12) e uma segunda de auditoria formal (T+24), em linha com boas práticas de preservação digital de longo prazo. A taxa de reutilização de manuais e listas de verificação (80%–100%) busca padronizar procedimentos de MRV, conforme metodologias de melhoria contínua ISO 9001, reduzindo variação entre auditores. O tempo de reconciliação registral (≤10 dias úteis e depois ≤5) foi definido a partir das metas de eficiência de registros estaduais e benchmarks de certificadoras como Verra e ART TREES, que preveem revisões administrativas em 20–40 dias totais. Por fim, a proficiência laboratorial e a reamostragem independente seguem recomendações de acreditação ISO/IEC 17025 e de auditorias de inventário florestal (FAO, 2022), sendo metas mínimas para garantir integridade dos dados de campo e credibilidade do processo de verificação.

homologação pelo comitê técnico e publicação de nota de versão. Projetos que atravessarem a data de corte operam com a versão sob a qual foram validados, salvo quando a mudança reduzir incerteza de maneira material e o verificador aprovar a atualização. Essa disciplina preserva comparabilidade entre lotes e clareza para compradores.

A padronização de contratos e de documentos comerciais complementa o eixo técnico. Minutas de termos de adesão, acordos de Pagamento por Serviços Ambientais, contratos de compra futura e regulamento do leilão estadual passam a usar glossário comum, requisitos mínimos de documentação técnica, cláusulas para variação de volume e preço e regras de reconciliação registral. A convergência com rótulos de integridade e com requisitos de transparência praticados por programas e curadorias do mercado voluntário reduz barreiras de elegibilidade e melhora a precificação.

O cronograma de adoção deve ser realista e vinculado a entregas públicas. Nos primeiros doze meses após a validação do piloto, a prioridade é publicar os manuais e perfis de metadados, disponibilizar a primeira versão da API do registro para consulta de coleções e de eventos e concluir a política OAIS com teste de restauração completa do repositório. Entre os meses 12 e 24, a meta é publicar todas as emissões pelas APIs padronizadas, incluir medidas de qualidade segundo a ISO 19157-1 em todos os dossiês, completar a auditoria interna de preservação e homologar a segunda versão dos manuais com ajustes vindos da operação. A cada emissão, a ficha técnica pública informa a versão de cada componente aplicado, permitindo reconstruir o processo ponta a ponta.

A replicabilidade intraestadual resulta, por fim, da combinação entre padrões internacionais de metadados e qualidade, APIs abertas e preservação arquivística. Com essa base, cada novo projeto de caatinga entra em um trilho conhecido, audível e mensurável, reduzindo tempo de ciclo, custo programático por tonelada e risco de conformidade. O ganho de previsibilidade melhora a bancabilidade e sustenta a expansão prevista no Capítulo 12, ao mesmo tempo em que preserva a integridade técnica que os compradores e verificadores exigem.

14. BIBLIOGRAFIA (REFERÊNCIAS DE BASE, NÃO EXAUSTIVAS)

14.1. NORMAS, DIRETRIZES E REFERENCIAIS INTERNACIONAIS

- IPCC. 2006. 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama*.
- • IPCC. 2019. 2019 *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama.*
- ISO. 2019. ISO 14064-3:2019. *Greenhouse gases — Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements. International Organization for Standardization, Genebra*.
- ISO. 2019 (em vigor com emenda subsequente).
- ISO 22301:2019. *Security and resilience — Business continuity management systems — Requirements. International Organization for Standardization, Genebra.*
- ISO. 2018. ISO 19115-1:2018. *Geographic information — Metadata — Part 1: Fundamentals. International Organization for Standardization, Genebra*.
- ISO. 2023. ISO 19157-1:2023. *Geographic information — Data quality — Part 1: General principles. International Organization for Standardization, Genebra*.
- CCSDS. 2025. *Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS). Consultative Committee for Space Data Systems*.
- IFC. 2012 (atualização e notas de orientação subsequentes). *Performance Standards on Environmental and Social Sustainability. International Finance Corporation, Washington, DC.*
- Banco Mundial. 2018. *Environmental and Social Framework (ESF), especialmente ESS10 Stakeholder Engagement and Information Disclosure. The World Bank, Washington, DC.*
- OIT. 1989. Convenção nº 169 sobre Povos Indígenas e Tribais em Países Independentes. Organização Internacional do Trabalho, Genebra.
- ONU-REDD. 2013–2015. *Guidelines on Free, Prior and Informed Consent (FPIC)* e materiais complementares. Programa ONU-REDD.
- *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM). 2023–2025. Core Carbon Principles, Assessment Framework e Program-level Decisions.*

14.2. PROGRAMAS DE CERTIFICAÇÃO E METODOLOGIAS

- Verra. *Verified Carbon Standard (VCS) Program. Regras programáticas vigentes e atualizações 2024–2025. Verra, Washington, DC.*
- Verra. VM0047 — *Afforestation, Reforestation, and Revegetation (ARR) Methodology*, versão vigente. Verra, Washington, DC.
- Verra. AFOLU Non-Permanence Risk Tool, versão 4.2 e comunicações de transição. Verra, Washington, DC.
- ICAO. CORSIA *Emissions Units and Program Eligibility documentation, Technical Advisory Body assessments. International Civil Aviation Organization, Montreal.*

14.3. PADRÕES DE DADOS, SENSORIAMENTO REMOTO E INTEROPERABILIDADE

- Programa Copernicus. Política de Acesso Livre, Pleno e Aberto a dados e produtos Sentinel. Comissão Europeia/ESA.
- OGC. 2019–2023. OGC API — Features (Part 1: Core; extensões CRS por referência). Open Geospatial Consortium.
- MapBiomas. 2024–2025. Coleção anual de Uso e Cobertura da Terra (Coleção 10), MapBiomas Alerta RAD 2024 e MapBiomas Fogo (1985–2023).
- INPE. Programa Queimadas. BDQueimadas, painéis operacionais e séries históricas oficiais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil.
- INPE/TerraBrasilis. Plataformas de análise territorial e alertas por bioma e por CAR.
- *Copernicus Emergency Management Service e EFFIS*. Índices e mapeamentos de perigo/incidência de fogo.

14.4. ECONOMIA, MERCADO E REPORTE FINANCEIRO-CLIMÁTICO

- IFRS Foundation. 2023–2025. IFRS S2 C*limate-related Disclosur*es e materiais de implementação.
- CVM. 2023–2025. Resolução CVM 193 e atos correlatos (incluindo ajustes posteriores) sobre reporte de informações de sustentabilidade no Brasil.

- Relatórios setoriais 2024–2025 sobre mercado voluntário de carbono com foco em volumes transacionados, aposentadorias e diferenciais de preço entre redução e remoção, publicados por organizações de monitoramento de mercado reconhecidas.

14.5. MARCO JURÍDICO BRASILEIRO E POLÍTICAS PÚBLICAS

- Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).
- Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.
- Decreto nº 10.088, de 5 de novembro de 2019, da Presidência da República. Consolida atos internacionais que incluem a Convenção 169 da OIT no ordenamento jurídico brasileiro.
- Decreto federal nº 11.550, de 14 de junho de 2023. Institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de GEE (SINARE) e dispõe sobre governança e instrumentos correlatos.
- • Lei Federal nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo.
- Normativo federal que institui o sistema brasileiro de comércio/gestão de emissões (lei e atos regulamentares correlatos), com fases de implementação a partir de 2024–2025.
- Estado de Sergipe. Lei estadual nº 9.364, de 2024, e Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025, bem como atos preparatórios do Programa Estadual (PEPSACI), conforme consolidado neste documento.

14.6. METODOLOGIAS DE PLANEJAMENTO DE RESTAURAÇÃO E INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES

- IUCN; WRI. 2014–2016. *Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM): Assessing Forest Landscape Restoration Opportunities at the National or Sub-national Level.*
- • WRI; IUCN. 2021–2024. *Restoration Barometer*: metodologia e relatórios de acompanhamento.
- Diretrizes e manuais nacionais de Pagamento por Serviços Ambientais, incluindo consultas públicas de 2025 sobre regulamentação federal do PSA.

14.7. CONTRATAÇÕES, VERIFICAÇÃO E GOVERNANÇA DE MRV

- ISO. 2019. ISO 14064-3:2019 (verificação e validação de declarações de GEE).
- ISO. 2018 e 2023. ISO 19115-1 e ISO 19157-1 (metadados e qualidade de dados geoespaciais).
- Normas e guias de verificação independentes publicadas por organismos acreditadores aplicáveis a projetos AFOLU e a verificação ISO.

14.8. OBSERVAÇÃO SOBRE FORMA DE CITAÇÃO E CONTROLE DE VERSÕES

Todas as referências normativas e programáticas devem ser consultadas em suas versões vigentes à época da aplicação. Para padrões e metodologias que recebem revisões frequentes (por exemplo, documentos do programa de certificação, ferramentas de risco de não permanência, coleções MapBiomas e notas de implementação do IFRS S2), recomenda-se registrar, no dossiê técnico de cada projeto, a versão e a data de acesso, bem como o identificador persistente ou URI oficial quando disponível.

15. APÊNDICES

Os apêndices reúnem exemplos sintéticos de modelos, protocolos e planilhas operacionais que padronizam a execução do piloto e a transição para a escala. A estrutura acompanha o ciclo de vida do projeto, desde a contratação até a emissão e a reconciliação registral, e foi pensada para uso direto por equipes técnicas, jurídicas e financeiras. Os modelos aqui propostos se articulam com os capítulos de metodologia, registro e financiamento e adotam terminologia consistente com o MRV-SE e o RECA-SE.

A. Referências para elaboração de termos de referência e minutas contratuais essenciais

A.1 Termo de referência para ERPA de compra futura de créditos

Objeto. Compra futura de unidades verificadas de carbono oriundas de remoções em caatinga, com entrega por eventos de emissão e conformidade ao padrão de certificação adotado. Escopo mínimo. Identificação do projeto e do proponente, padrão e metodologia, perímetro e estratificação, calendário de monitoramento e verificação, métricas de incerteza e contribuição ao buffer, registro de unicidade e reconciliação com o sistema federal quando aplicável.

Condições comerciais. Preço unitário em moeda e base de entrega, piso de preço e bandas de ajuste atreladas a rótulos de integridade e ao status de verificação, volume alvo por evento e tolerâncias por variância climática, cláusulas de recomposição em emissões futuras, indexadores e política cambial quando houver receitas em moeda estrangeira. Condições de performance. Marcos técnicos que liberam desembolsos, prazos de entrega por evento, aceitação de divergências e procedimentos de cure, auditorias e direito de inspeção documental, obrigação de publicação de ficha técnica no registro estadual. Risco e garantias. Garantias de pagamento, step-in de financiador em blended finance, cláusulas de caso fortuito e força maior, plano de resposta a reversões com referência ao buffer do programa. Conformidade e salvaguardas. Declarações sobre salvaguardas sociais e ambientais, política de dados pessoais, respeito a consultas quando aplicável, vedação a dupla contagem e a greenwashing, obrigações de comunicação pública. Rescisão e solução de controvérsias. Hipóteses objetivas, prazos de saneamento, mediação e arbitragem, foro e lei aplicável.

A.2 Minuta de acordo de Pagamento por Serviços Ambientais vinculado ao piloto

Partes. Órgão gestor estadual, executor e beneficiário. Objeto. Compromissos de conservação e restauração em polígono delimitado, metas de cobertura e indicadores ambientais, compatibilidade com atividades tradicionais. Remuneração. Estrutura de pagamentos por resultado com parcelas de instalação, manutenção e desempenho, métricas de elegibilidade e verificação, condicionantes de adimplência ambiental e fundiária. Compatibilidade com carbono. Regras para evitar dupla contagem, prioridade e ordem de precedência entre PSA e créditos de carbono, transparência no registro estadual e no cadastro de PSA. Monitoramento e auditoria. Acesso a dados, participação em vistorias e auditorias, publicação de relatórios agregados, proteção de dados pessoais. Rescisão e sanções. Cronograma de correção, suspensão e cancelamento, devolução proporcional de valores quando aplicável.

A.3 Acordo de cooperação técnica

Objeto. Desenvolvimento de protocolos, capacitação e apoio ao MRV-SE, operação do pipeline orbital, proficiência laboratorial e auditorias internas. Entregas. Planos de trabalho semestrais, manuais, relatórios de proficiência, exercícios de reprodutibilidade, relatórios públicos de aprendizado.

Propriedade intelectual e dados. Licenciamento aberto de protocolos e scripts, guarda de longo prazo de conjuntos de dados, identificadores persistentes e notas de

versão. Governança. Comitê técnico, calendário de reuniões, mecanismo de resolução de impasses.

B. Referências para protocolos técnicos de campo e de sensoriamento para MRV-SE

B.1 Parcela permanente em caatinga

Dimensões. Parcela retangular de 20 por 25 metros, com subparcelas de 5 por 5 metros para regenerantes. Georreferenciamento. Vértices com GNSS submétrico, azimute registrado, marcos duráveis e documentação fotográfica georreferenciada. Critérios de inclusão. Árvores e arbustos com diâmetro mínimo conforme protocolo, regra para múltiplos fustes com diâmetro equivalente pela raiz quadrática da soma das áreas basais, medição de altura em subamostra por classe diamétrica e curva altura–diâmetro atualizada por estrato. Registro botânico e densidade da madeira. Identificação a nível de espécie quando possível, classes de densidade quando não, prioridade para valores regionais e documentação de fonte e incerteza. Qualidade. Repetição de medidas em subamostra, checagem independente de equipe, tolerâncias de discrepância e rotinas de recalibração de instrumentos.

B.2 Solo e massa equivalente

Amostragem por camada 0–10, 10–30 e 30–50 centímetros, coleta indeformada para densidade aparente e amostras compostas para carbono orgânico por combustão seca. Aplicação do método de massa equivalente para comparabilidade temporal quando houver mudanças de densidade aparente, documentação de massa de referência, cálculo de estoque por camada e propagação de incerteza.

B.3 Protocolos de sensoriamento

Ingestão e mascaramento de cenas com registro de identificadores, órbita, ângulo solar e versão do processador. Cálculo de índices como NDVI e fração de vegetação com parâmetros fixos por coleção, armazenamento de máscaras e produtos derivados com hashes e metadados em perfil ISO 19115, rotina de validação com amostras independentes e matriz de confusão para mapas temáticos.

Rotina de reconciliação entre séries orbitais e inventário, regras de sinalização de outliers e gatilhos para verificação de campo.

C. Referências para modelo de metadados e trilha de auditoria do registro provisório

C.1 Entidades e identificadores

Projeto. Identificador persistente, título, proponente, padrão e metodologia, polígono e versões, estratos e versões, status programático. Lote de emissão. Identificador, período de monitoramento, volume bruto, descontos por incerteza, contribuição a buffer, volume líquido, documentos do verificador, taxa programática, evento de emissão e data. Artefatos. Cenas, máscaras, produtos derivados, scripts e relatórios, cada qual com hash, carimbo de tempo, versão de processamento e metadados ISO 19115.

C.2 Eventos e estados

Cadastro, validação documental, verificação, emissão, transferência, aposentadoria e cancelamento, cada evento com autor, data, referência documental, resultado e justificativa. Rotina de reconciliação entre registros, com logs de comparações, divergências e correções.

C.3 Perfil mínimo de metadados ISO 19115

Identificação com título, resumo, propósito e palavras-chave; extensão espacial e temporal; qualidade dos dados segundo ISO 19157-1; distribuição com links e formatos; responsável e ponto de contato; uso e restrições incluindo política de dados pessoais. Lista de obrigatórios por tipo de artefato, controles de completude e checklist de publicação.

C.4 Plano de preservação arquivística

Política baseada no modelo de referência OAIS, com papéis institucionais, processos de ingestão com verificação de fixidade, armazenamento arquivístico com múltiplas cópias e migração tecnológica planejada, logs de acesso e auditorias periódicas.

D. Referências para planilhas de simulação financeira e premissas

D.1 Estrutura de custos

Aba de CAPEX por hectare com cercamento, viveiro, preparo de solo e plantio quando aplicável, equipamentos e implantação de infraestrutura mínima. Aba de OPEX por hectare com manutenção, replantio, aceiros, brigadas sazonais, inventário de campo,

análises laboratoriais, processamento orbital, verificação e emissão. Parâmetros regionais de custos logísticos e de mão de obra, escalas por bloco e economias de contiguidade.

D.2 Geração de créditos e incerteza

Aba de parâmetros biofísicos por estrato com incremento anual, razão raiz–parte aérea, fração de carbono, fator 44 por 12 e horizonte de monitoramento. Cálculo do volume bruto por estrato e do volume agregado, aplicação de desconto por incerteza segundo metas de precisão do MRV-SE e regras programáticas, aplicação de contribuição ao buffer e obtenção do volume líquido.

D.3 Receitas por canal e cronograma de caixa

Preços de referência com sensibilidades por cenário, canais de venda com taxas e despesas programáticas, prazos de liquidação e política cambial quando aplicável. Fluxo de caixa por safra de emissão, serviço da dívida e reservas técnicas, indicadores de viabilidade como valor presente líquido, taxa interna de retorno e payback, com documentação de premissas e fórmulas. Campos de controle de versões de parâmetros, auditoria de células protegidas e notas explicativas.

D.4 Indicadores e relatórios

Aba de indicadores por emissão com custo programático por tonelada, preço líquido, taxa de sucesso de verificação na primeira rodada, tempo de reconciliação registral e métricas de desempenho do mecanismo de reclamação. Relatórios prontos para exportação em formato aberto e para anexação ao registro estadual e ao padrão.

E. Referências para lista de verificadores e certificadoras elegíveis

E.1 Critérios de elegibilidade

Verificadores com acreditação formal para validação e verificação de gases de efeito estufa aplicável a florestas, uso da terra e projetos de remoções, experiência comprovada em biomas semiáridos, independência e ausência de conflito de interesses, capacidade operacional no Brasil e equipe com domínio de português técnico. Certificadoras ou programas com metodologias de reflorestamento e revegetação compatíveis com as diretrizes do IPCC e com ferramentas de risco de não permanência para AFOLU, com trilhas de transparência pública e de rastreabilidade. Exigência de adesão a padrões de confidencialidade e a protocolos de proteção de dados pessoais, compromisso com prazos de validação e verificação compatíveis com o caminho crítico

do projeto e disponibilidade para auditorias documentais remotas e visitas de campo no Nordeste.

E.2 Procedimento de credenciamento interno

Chamada de manifestação de interesse com envio de documentação comprobatória de acreditação, portfólio de projetos relevantes, equipe chave e metodologia de trabalho. Matriz de pontuação com pesos para acreditação, experiência específica, capacidade de atender janelas, custo estimado e robustez de QA/QC. Lista rotativa de verificadores elegíveis homologada pelo comitê técnico do estado, com revisão anual e possibilidade de inclusão contínua mediante comprovação. Procedimento de seleção por projeto que preserve independência, registre justificativa e publique resultado no portal do registro estadual.

E.3 *Due diligence* e avaliação de desempenho

Checklist de due diligence com verificação de acreditações, referências, ações judiciais e sanções, políticas de integridade e histórico de achados de auditoria. Avaliação pós-entrega com indicadores de qualidade do relatório, clareza de achados e recomendações, número de rodadas de revisão, aderência a prazos e consistência entre evidências e conclusões, retroalimentando a lista de elegíveis.

Observações finais sobre uso dos apêndices:

As referências contratuais e de termos de referência devem ser adaptados caso a caso, preservando a estrutura de responsabilidades, marcos técnicos e salvaguardas. Os protocolos de campo e de sensoriamento devem sempre registrar versões e exceções justificadas, de modo que a auditoria possa reconstituir o processo. O modelo de metadados e a trilha de auditoria do registro são requisitos de base para manter unicidade e reconciliação entre registros, reduzindo custo de diligência e risco de não conformidade. As planilhas financeiras, ao trazerem fórmulas documentadas e campos de versão de premissas, permitem reprodutibilidade de resultados, comparação entre cenários e auditoria independente. A lista e o processo de elegibilidade de verificadores e certificadoras, ao invés de nomes fixos, estruturam uma seleção por critérios, sustentando independência e qualidade ao longo do tempo.

16. BIBLIOGRAFIA

16.1. NORMAS, DIRETRIZES E REFERENCIAIS INTERNACIONAIS

- IPCC. 2006. 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama.*
- IPCC. 2019. 2019 *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama.*
- ISO. 2019. ISO 14064-3:2019. *Greenhouse gases — Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements. International Organization for Standardization, Genebra.*
- ISO. 2019 (em vigor com emenda subsequente). *ISO 22301:2019. Security and resilience — Business continuity management systems — Requirements. International Organization for Standardization, Genebra.*
- ISO. 2018. ISO 19115-1:2018. *Geographic information — Metadata — Part 1: Fundamentals. International Organization for Standardization, Genebra.*
- ISO. 2023. ISO 19157-1:2023. *Geographic information — Data quality — Part 1: General principles. International Organization for Standardization, Genebra.*
- CCSDS. 2025. Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS). Consultative Committee for Space Data Systems.
- IFC. 2012 (atualização e notas de orientação subsequentes). *Performance Standards on Environmental and Social Sustainability. International Finance Corporation, Washington, DC.*
- Banco Mundial. 2018. *Environmental and Social Framework (ESF),* especialmente *ESS10 Stakeholder Engagement and Information Disclosure. The World Bank, Washington, DC.*
- OIT. 1989. Convenção nº 169 sobre Povos Indígenas e Tribais em Países Independentes. Organização Internacional do Trabalho, Genebra.
- ONU-REDD. 2013–2015. *Guidelines on Free, Prior and Informed Consent (FPIC) e materiais complementares*. Programa ONU-REDD.
- *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM*). 2023–2025. *Core Carbon Principles, Assessment Framework e Program-level Decisions.*

16.2. PROGRAMAS DE CERTIFICAÇÃO E METODOLOGIAS

- Verra. Verified Carbon Standard (VCS) *Program. Regras programáticas vigentes e atualizações 2024–2025. Verra, Washington*, DC.
- Verra. VM0047 — *Afforestation, Reforestation, and Revegetation (ARR) Methodology, versão vigente. Verra, Washington, DC.*
- Verra. AFOLU *Non-Permanence Risk Tool, versão 4.2 e comunicações de transição. Verra, Washington, DC.*
- ICAO. *CORSIA Emissions Units and Program Eligibility documentation, Technical Advisory Body assessments. International Civil Aviation Organization, Montreal.*

16.3. PADRÕES DE DADOS, SENSORIAMENTO REMOTO E INTEROPERABILIDADE

- Programa Copernicus. Política de Acesso Livre, Pleno e Aberto a dados e produtos Sentinel. Comissão Europeia/ESA.
- OGC. 2019–2023. *OGC API — Features (Part 1: Core; extensões CRS por referência). Open Geospatial Consortium*.
- MapBiomas. 2024–2025. Coleção anual de Uso e Cobertura da Terra (Coleção 10), MapBiomas Alerta RAD 2024 e MapBiomas Fogo (1985–2023).
- INPE. Programa Queimadas. BDQueimadas, painéis operacionais e séries históricas oficiais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil.
- INPE/TerraBrasilis. Plataformas de análise territorial e alertas por bioma e por CAR.
- *Copernicus Emergency Management Service e EFFIS*. Índices e mapeamentos de perigo/incidência de fogo.

16.4. ECONOMIA, MERCADO E REPORTE FINANCEIRO-CLIMÁTICO

- *IFRS Foundation.* 2023–2025. IFRS S2 C*limate-related Disclosure*s e materiais de implementação.
- CVM. 2023–2025. Resolução CVM 193 e atos correlatos (incluindo ajustes posteriores) sobre reporte de informações de sustentabilidade no Brasil.

- Relatórios setoriais 2024–2025 sobre mercado voluntário de carbono com foco em volumes transacionados, aposentadorias e diferenciais de preço entre redução e remoção, publicados por organizações de monitoramento de mercado reconhecidas.

16.5. MARCO JURÍDICO BRASILEIRO E POLÍTICAS PÚBLICAS

- Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).
- Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.
- Decreto nº 10.088, de 5 de novembro de 2019, da Presidência da República. Consolida atos internacionais que incluem a Convenção 169 da OIT no ordenamento jurídico brasileiro.
- Decreto federal nº 11.550, de 14 de junho de 2023. Institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de GEE (SINARE) e dispõe sobre governança e instrumentos correlatos.
- Lei Federal nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo.
- Normativo federal que institui o sistema brasileiro de comércio/gestão de emissões (lei e atos regulamentares correlatos), com fases de implementação a partir de 2024–2025.
- Estado de Sergipe. Lei estadual nº 9.364, de 2024, e Decreto Estadual nº 1.016, de 8 de abril de 2025, bem como atos preparatórios do Programa Estadual (PEPSACI), conforme consolidado neste documento.

16.6. METODOLOGIAS DE PLANEJAMENTO DE RESTAURAÇÃO E INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES

- IUCN; WRI. 2014–2016. *Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM): Assessing Forest Landscape Restoration Opportunities at the National or Sub-national Level.*
- WRI; IUCN. 2021–2024. *Restoration Barometer: metodologia e relatórios de acompanhamento.*
- Diretrizes e manuais nacionais de Pagamento por Serviços Ambientais, incluindo consultas públicas de 2025 sobre regulamentação federal do PSA.

16.7. CONTRATAÇÕES, VERIFICAÇÃO E GOVERNANÇA DE MRV

- ISO. 2019. ISO 14064-3:2019 (verificação e validação de declarações de GEE).
- ISO. 2018 e 2023. ISO 19115-1 e ISO 19157-1 (metadados e qualidade de dados geoespaciais).
- Normas e guias de verificação independentes publicadas por organismos acreditadores aplicáveis a projetos AFOLU e a verificação ISO.

Todas as referências normativas e programáticas devem ser consultadas em suas versões vigentes à época da aplicação. Para padrões e metodologias que recebem revisões frequentes (por exemplo, documentos do programa de certificação, ferramentas de risco de não permanência, coleções MapBiomas e notas de implementação do IFRS S2), recomenda-se registrar, no dossiê técnico de cada projeto, a versão e a data de acesso, bem como o identificador persistente ou URI oficial quando disponível.