



Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Ceará

2018 – 2023

2025

Para fazer o download deste e outros materiais, visite:

<https://americadosul.iclei.org/biblioteca/> e

<https://www.sema.ce.gov.br/inventario-de-emissoes-de-gases-do-efeito-estufa-do-ceara/>.

Este documento foi elaborado pelo Governo do Estado do Ceará através da Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima / Coordenadoria de Desenvolvimento Sustentável (Codes) em parceria com o ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. Trata-se do relatório final do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) do estado do Ceará, abrangendo o período de 2018 a 2023.

Este trabalho pode ser copiado, redistribuído e adaptado para fins não comerciais, desde que seja devidamente citado. Em qualquer utilização deste trabalho, não deve haver qualquer sugestão de que o ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade endossa qualquer organização, produto ou serviço específico.

Esta publicação pode ser citada livremente, mas solicita-se que a fonte seja mencionada.

Citação sugerida: Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima do Governo do Estado do Ceará e ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Ceará**. São Paulo: Governo do Estado do Ceará e ICLEI, 2025. Equipe principal de redatores: Eduarda Miller Tenenbaum, Gustavo Sanches da Silva, Iris Coluna, Joice Oliveira, Léa Gejer, Luiz Gustavo Pinto.

Para informações adicionais, por favor contactar: ICLEI América do Sul, R. Marquês de Itu, 70 – Vila Buarque, São Paulo – Brasil, 01223-000, iclei-sams@iclei.org.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Inventário de emissões de gases de efeito estufa do Estado do Ceará: 2018 a 2023 [livro eletrônico] / [elaborado] Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima do Governo do Estado do Ceará, ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. -- 1. ed. -- Fortaleza, CE : ICLEI Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025. PDF

Bibliografia
ISBN 978-85-99093-33-7

1. Emissões de gases efeito estufa 2. Gases do efeito estufa – Aspectos ambientais 3. Inventários 4. Mudanças climáticas – Aspectos ambientais I. Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima do Governo do Estado do Ceará. II. ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade.

25-320709.0

CDD-363.7392

Índices para catálogo sistemático:

1. Mudança climática : Efeito estufa : Problemas sociais 363.7392
Maria Alice Ferreira – Bibliotecária – CRB-8/7964

Governo do Estado do Ceará

Elmano de Freitas da Costa, Governador; **Jade Afonso Romero**, Vice-Governadora.

Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima (SEMA)

Vilma Maria Freire dos Anjos, Secretária; **Cassimiro Tapeba**, Secretário Executivo; **Karyna Leal Ramos**, Secretária Executiva de Planejamento e Gestão Interna.

Equipe Técnica SEMA

Aline Parente Oliveira, Allyne Ferreira Gama, José Wilker de Freitas Sales, Lara Júlia Gurgel Nogueira, Maik dos Santos Barbosa, Matheus Silveira Pinheiro, Mônica Carvalho Freitas, Viviane Gomes Monte, Wersângela Cunha Duaví.

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

Secretaria Executiva

Rodrigo Perpétuo, Secretário Executivo ICLEI América do Sul; **Rodrigo Corradi**, Secretário Executivo Adjunto e Diretor ICLEI Brasil; **Armelle Cibaka**, Gerente de Planejamento, Gestão e Conhecimento.

Coordenação Técnica

Keila Ferreira, Coordenadora Técnica Brasil; **Léa Gejer**, Coordenadora de Projetos Técnicos; **Marília Israel**, Coordenadora Técnica Regional; **Stephania Aleixo**, Coordenadora Técnica Regional.

Coordenadora do IEGEE

Léa Gejer, Coordenadora de Projetos Técnicos.

Autores

Eduarda Miller Tenenbaum, Assistente de Baixo Carbono Brasil; **Ellen Mirosevic**, Voluntária da Área Técnica; **Gustavo Sanches da Silva**, Assistente de Baixo Carbono Brasil; **Iris Coluna**, Assessora Regional de Medição, Reporte e Verificação; **Joice Oliveira**, Analista Regional de Medição, Reporte e Verificação; **Léa Gejer**, Coordenadora de Projetos Técnicos; **Luiz Gustavo Pinto**, Assessor Técnico.

Elaboração dos Mapas: **Tiago Mello**, Analista Técnico.

Colaboradores Externos

Ideia Circular

Diagramação

Carla Tennenbaum, Lucas Saikale e Bruno Sangali.

Governo do Estado do Ceará – Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Ceará

2018 – 2023

Novembro, 2025

LISTA DE SIGLAS

AECIPP	Associação das Empresas do Complexo Industrial e Portuário do Pecém	EPA	United States Environmental Protection Agency
ABRACAL	Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola	EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ARCE	Agência Reguladora do Estado do Ceará	ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
AFOLU	<i>Agriculture, Forestry, and Other Land Use</i> (em português, Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra)	F-GASES	Gases fluorados
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil	GEE	Gases de Efeito Estufa
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos	GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
AR5	<i>Fifth Assessment Report</i> (em português, Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)	GNV	Gás Natural Veicular
ASMOC	Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia	GPC	<i>Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories</i> (em português: Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade)
BEN	Balanco Energético Nacional	GWP	<i>Global Warming Potential</i> (em português, Potencial de Aquecimento Global)
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará	HFC	Hidrofluorcarbonos
CEGÁS	Companhia de Gás do Ceará	IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CGIRS	Consórcio de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	IEGEE	Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa
C40 Cities	Climate Leadership Group	IMU	Índice de Mobilidade Urbana
C	Carbono	IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (em português: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
CH ₄	Metano	IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
CO ₂	Dióxido de carbono	IPPU	<i>Industrial Processes and Product Use</i> (em português: Processos Industriais e Uso de Produtos)
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente	MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
COP 29	<i>Conference of the Parties of the UNFCCC</i> (em português, 29ª Conferência das Partes)	MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i> (em português, doença por coronavírus 2019)	MT	Ministério dos Transportes
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito do Ceará	MtCO ₂ e	Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes	N ₂ O	Óxido nitroso
ENEL	<i>Ente Nazionale per l'Energia Elettrica</i> (em português: Entidade Nacional de Energia Elétrica)	NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
		ONU	Organização das Nações Unidas
		PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PFC	Perfluorcarbonos
PIB	Produto Interno Bruto
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
SAAEs	Serviços Autônomos de Água e Esgoto
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIN	Sistema Interligado Nacional
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SISAR	Sistema Integrado de Saneamento Rural
tCO ₂ e	Tonelada(s) de dióxido de carbono equivalente
UNICA	Associação Brasileira da Indústria de Cana-de-Açúcar
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (em português, Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> (em português, PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)
VAB	Valor Adicionado Bruto
WRI	<i>World Resources Institute</i>

GLOSSÁRIO

AR5	Quinto relatório de avaliação do IPCC sobre mudanças climáticas.
C	Elemento químico base das emissões de gases como CO ₂ e CH ₄ .
CH ₄	Gás de efeito estufa potente, proveniente de atividades agropecuárias e resíduos.
CO ₂	Principal gás de efeito estufa emitido pela queima de combustíveis fósseis.
CO ₂ e	Unidade que expressa o impacto de GEE em relação ao CO ₂ .
COP 29	Conferência internacional da ONU para negociação de políticas climáticas.
F-GASES	Gases industriais sintéticos com alto GWP, como HFCs e PFCs.
GEE	Gases que intensificam o aquecimento global ao reter calor na atmosfera.
GWP	Índice do potencial de aquecimento de um gás em relação ao CO ₂ .
HFC	Gases usados em refrigeração, com alto potencial de aquecimento.
IEGEE	Inventário que contabiliza emissões e remoções de GEE.
MtCO ₂ e	Unidade de medida de grandes emissões de GEE.
N ₂ O	Gás de efeito estufa emitido principalmente por fertilizantes.
NDC	Compromissos de redução de emissões assumidos pelos países no Acordo de Paris.
PFC	Gases industriais com alto GWP usados em processos metalúrgicos.
SF ₆	Gás com alto GWP usado em equipamentos elétricos.
tCO ₂ e	Unidade padrão de emissão de gases de efeito estufa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução da temperatura média global (1850–2025).....26

Figura 2. Anomalias da temperatura do ar da superfície em 2024 em relação à média do período de referência de 1991–2020.....27

Figura 3. Delimitação dos escopos considerados no método GPC.....33

Figura 4. Localização do estado do Ceará.....41

Figura 5. Frota por tipo no Ceará.....43

Figura 6. Disposição final dos resíduos no Ceará.....45

Figura 7. Geração de energia por fonte (2018–2023).....49

Figura 8. Consumo de energia elétrica por setor e ano no Ceará.....50

Figura 9. Consumo de combustíveis fósseis pelos principais tipo de uso em fontes estacionárias.....51

Figura 10. Cobertura e uso da terra no Ceará em 2023.....53

Figura 11. Mudança do uso e ocupação da terra de 1985 a 2024.....54

Figura 12. Principais produções agropecuárias em 2023 no Ceará.....56

Figura 13. Comparativo do perfil industrial do Ceará e Nordeste em 2022.....58

Figura 14. Evolução das emissões de GEE para o estado do Ceará (2018 – 2023).....68

Figura 15. Emissões de GEE por escopo do Ceará (2018 – 2023).....70

Figura 16. Principais atividades emissoras do Ceará (2018 – 2023).....72

Figura 17. Perfil das emissões líquidas por setor (2018 – 2023).....74

Figura 18. Perfil da média de emissões líquidas do Ceará (2018 – 2023).....75

Figura 19. Emissões líquidas do setor de AFOLU por subsetor (2018 – 2023).....76

Figura 20. Emissões e remoções das atividades de mudança do uso da terra (2018–2023).....78

Figura 21. Emissões das atividades de mudança do uso da terra (2018–2023).....79

Figura 22. Remoções das atividades de Uso da Terra (2018–2023).....80

Figura 23. Emissões por tipo de rebanho (2018 – 2023).....82

Figura 24. Emissões por tipo de atividade (2018 – 2023).....83

Figura 25. Emissões por tipo de produção industrial (2018 – 2023).....85

Figura 26. Emissões do setor de Transportes por escopo (2018–2023).....87

Figura 27. Emissões do setor de Transportes por subsetor (2018 – 2023).....88

Figura 28. Emissões no setor de Transportes por tipo de combustível (2018 – 2023).....90

Figura 29. Emissões do setor de Energia Estacionária por escopo (2018 – 2023).....91

Figura 30. Emissões do setor de Energia Estacionária por subsetor (2018 – 2023).....92

Figura 31. Emissões do setor de Energia Estacionária dos principais tipos de combustível (2018 – 2023).....93

Figura 32. Fator de emissões de CO₂ para o setor de Energia Estacionária (2018 – 2023).....95

Figura 33. Evolução das emissões e consumo de energia no Ceará (2018 – 2023).....95

Figura 34. Emissões do setor de Resíduos por subsetor (2018 – 2023).....96

Figura 35. Emissões por tipo de disposição final.....98

Figura 36. Emissões oriundas do tratamento de efluentes.....99

Figura 37. Emissões oriundas do incineração ou queima a céu aberto (2018 – 2023).....101

Figura 38. Comparação das emissões entre Estados brasileiros (2018 – 2023).....104

Figura 39. Emissão por habitante entre no Brasil, no Ceará e em outros estados brasileiros no ano de 2022.....105

Figura 40. Emissão por PIB entre no Brasil, no Ceará e em outros estados brasileiros no ano de 2021.....106

Figura 41. Comparação dos Inventários com as metas da NDC brasileira.....108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) dos Gases de Efeito Estufa.....65

Tabela 2. Evolução anual das emissões brutas e líquidas no Ceará (2018 – 2023).....69

Tabela 3. Emissões e remoções do subsetor uso da terra.....77

Tabela 4. Emissões por tipo de rebanho.....81

Tabela 5. Emissões por tipo de atividade.....82

Tabela 6. Emissões por tipo de combustível.....89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Delimitação dos escopos no método GPC.....33

Quadro 2. Descrição dos setores de emissão.....34

Quadro 3. Setores e escopos do Inventário de GEE.....36

Quadro 4. Informações sobre o Ceará.....42

Quadro 5. Setores e subsetores considerados no IEGEE do Ceará.....60

Quadro 6. Principais GEE e suas atividades geradoras.....65

SUMÁRIO

SOBRE O ICLEI	15
PRÓLOGO	16
PREFÁCIO	18
RESUMO EXECUTIVO	20
1. INTRODUÇÃO	23
2. CIÊNCIA E POLÍTICA CLIMÁTICA	25
2.1. O Fenômeno do Efeito Estufa	27
2.2. Impactos da Mudança do Clima e Marcos Internacionais	29
3. METODOLOGIA	32
3.1. Engajamento e Capacitação de Atores Estratégicos	38
3.1.1. Sessão de Sensibilização e Capacitação Técnica	38
3.2. Ferramenta de cálculo	39
4. FRONTEIRAS DO INVENTÁRIO	40
4.1. Caracterização do Estado do Ceará	40
4.1.1. Transportes	43
4.1.2. Resíduos	45
4.1.3. Energia estacionária	48
4.1.4. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra	52
4.1.5. Setores produtivos	57
4.2. Período coberto pelo inventário	59
4.3. Coleta de dados	59
4.3.1. Limitações e Recomendações	62
4.4. Gases de Efeito Estufa	64
4.5. Método de Cálculo	66
5. RESULTADOS DO INVENTÁRIO	67
5.1. Resultados do Inventário por escopo	69
5.2. Principais atividades emissoras	71

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS POR SETOR	73
6.1. Setor AFOLU	75
6.1.1. Uso da Terra	77
6.1.2. Rebanhos	81
6.1.3. Emissões agregadas e outras de não-CO2	82
6.2. Setor IPPU	84
6.3. Setor de Transportes	86
6.3.1. Emissões por modal de transporte	87
6.3.2. Emissões por tipo de combustível	88
6.4. Setor de Energia Estacionária	90
6.4.1. Emissões por tipo de combustível	93
6.4.2. Emissões pelo consumo de energia elétrica	94
6.5. Setor de Resíduos	96
6.5.1. Disposição final de resíduos sólidos	98
6.5.2. Tratamento de efluentes líquidos domésticos	99
6.5.3. Incineração de RSS ou queima a céu aberto	101
6.5.4. Tratamento de efluentes líquidos industriais	102
7. COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES COM BRASIL E ESTADOS	103
8. EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES E O CUMPRIMENTO DA NDC	108
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
9.1. Panorama Geral das Emissões	111
9.2. Recomendações e Oportunidades de Mitigação	112
9.3. Próximos Passos e Caminho à Frente	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
ANEXO A. Método de Cálculo e Fatores de Emissão	123

SOBRE O ICLEI

O ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade é uma rede global de mais de 2.500 governos locais e regionais comprometida com o desenvolvimento urbano sustentável. Ativos em mais de 130 países, influenciamos as políticas de sustentabilidade e impulsionamos a ação local para um desenvolvimento urbano sustentável de zero carbono, baseado na natureza, equitativo, resiliente e circular, promovendo mudanças sistêmicas.

Nossa Rede e equipe de especialistas trabalham juntos oferecendo acesso a conhecimento, parcerias e capacitações para gerar mudanças sistêmicas. Fundado em 1990 e com mandato para atuar como ponto focal da Constituency de Governos Locais e Autoridades Municipais (LGMA) nas COPs sobre Clima, Biodiversidade e Desertificação, o ICLEI dá voz aos governos locais em encontros internacionais e articula a implementação da cooperação internacional com os governos locais.

Com atuação na América Latina desde 1994, o ICLEI América do Sul conecta seus 157 associados em 8 países a este movimento global, com três escritórios nacionais estabelecidos no Brasil, Colômbia e Argentina. Na região, buscamos promover as seguintes estratégias aos governos locais associados: i) acesso a informações sobre acordos internacionais; ii) visibilidade e posicionamento nos debates internacionais; iii) oportunidades de intercâmbio técnico e troca de experiências; e iv) acesso às metodologias inovadoras disponíveis no portfólio de soluções.

Dessa forma, o ICLEI América do Sul busca fortalecer a capacidade de seus membros em desenvolver e aplicar políticas públicas, contribuindo para tornar as cidades mais resilientes, sustentáveis e alinhadas aos compromissos climáticos globais.

PRÓLOGO

A crise climática é urgente! Uma realidade inquestionável do nosso tempo e exige ação firme, coordenada e baseada em evidências. O Estado do Ceará, historicamente marcado por desafios ambientais como a escassez hídrica e a vulnerabilidade climática, tem assumido um papel de protagonismo no enfrentamento às mudanças do clima, promovendo políticas públicas integradas, inovadoras e comprometidas com o desenvolvimento sustentável.

É com esse espírito de responsabilidade e visão de futuro que apresentamos à sociedade cearense o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE), documento técnico que sistematiza, de forma transparente, rigorosa e colaborativa, os dados sobre as emissões e remoções de gases de efeito estufa em nosso território, no período de 2018 a 2023.

O inventário é mais do que um relatório: é uma ferramenta estratégica para a construção de políticas climáticas mais eficazes, permitindo identificar as principais fontes de emissão, orientar metas de redução e monitorar os avanços na transição para uma economia de baixo carbono. A metodologia adotada — o Protocolo Global para Inventários de Emissões na Escala da Comunidade (GPC) — garante a credibilidade, a confiabilidade dos dados e sua comparabilidade internacional, fortalecendo ainda mais a governança climática do nosso Estado.

Este documento atende aos dispositivos da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (Lei nº 16.146/2016) e aos compromissos assumidos pelo Governo do Estado do Ceará com as agendas climáticas nacionais e internacionais, como a *Race to Zero* e a *Under2 Coalition*, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

Em meio a um cenário desafiador, especialmente no semiárido nordestino, que já enfrenta os impactos do aumento da temperatura global, o Ceará tem avançado em soluções concretas: o fortalecimento

das energias renováveis, a proteção da biodiversidade, a recuperação de ecossistemas como a caatinga, a proteção da zona costeira e do sistema oceano-marinho, o incentivo à agricultura de baixo carbono e o investimento em inovação tecnológica sustentável. Esses são passos decisivos para a construção de um futuro mais verde, justo e resiliente.

O lançamento deste inventário representa um marco importante em nossa trajetória de compromisso com o clima. Que ele sirva como base sólida para a tomada de decisões baseadas em evidências, para a formulação de políticas públicas e para o engajamento de toda a sociedade cearense nesta missão coletiva de preservar o planeta e garantir qualidade de vida para as próximas gerações.



Vilma Maria Freire dos Anjos

Secretária de Meio Ambiente e Mudança do Clima
Governo do Estado do Ceará

PREFÁCIO

É com grande satisfação que apresentamos o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Ceará, um marco estratégico para o fortalecimento da governança climática e para a consolidação de políticas públicas voltadas ao enfrentamento da crise do clima.

A elaboração deste inventário representa um passo decisivo, fornecendo as bases técnicas e científicas para nortear o planejamento estadual rumo ao desenvolvimento de carbono neutro e resiliente, em alinhamento com os caminhos do ICLEI, e com as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do país e ao Plano Nacional sobre Mudança do Clima, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), que estabelece ações estratégicas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e adaptação aos impactos climáticos no Brasil até 2035.

O levantamento segue a metodologia do Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade (GPC), reconhecida internacionalmente e desenvolvida pelo ICLEI em parceria com instituições de referência mundial. Essa abordagem garante comparabilidade, transparência e consistência dos dados, permitindo ao Ceará alinhar-se às melhores práticas globais em planejamento climático. Nesse contexto, que antecede a realização da COP 30 no Brasil, a robustez e a transparência deste inventário são ainda mais significativas. Para a elaboração e cálculos, a plataforma *WayCarbon Ecosystem* foi utilizada como ferramenta de apoio, assegurando a precisão dos dados.

O Ceará vem se destacando nacionalmente como protagonista da agenda de sustentabilidade. Em um cenário regional marcado por vulnerabilidades, com o semiárido nordestino já sentindo diversos impactos da mudança do clima, este inventário revela-se crucial. Ele orienta não apenas a redução das emissões, mas também a transição energética, a valorização da Caatinga e o fortalecimento de práticas agrícolas de baixo carbono.

O ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade sente-se honrado em apoiar o Governo do Ceará na construção deste instrumento. Estamos convictos de que os resultados aqui apresentados serão fundamentais para acelerar a descarbonização da economia estadual, atrair investimentos sustentáveis e assegurar qualidade de vida para as atuais e futuras gerações.

Que este inventário inspire a continuidade de um trabalho coletivo, capaz de transformar o Ceará em referência nacional e internacional na luta contra a mudança climática.



Rodrigo Perpétuo

Secretário Executivo

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

RESUMO EXECUTIVO

Este **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE)** apresenta uma análise das emissões de GEE no período de 2018 e 2023 para o estado do Ceará. Mais do que uma ferramenta de monitoramento, o IEGEE é um instrumento para **orientar políticas e ações voltadas à redução das emissões e à adaptação climática**. Ele serve como linha de base para o planejamento climático, permitindo a identificação de fontes de emissão, a definição de metas de redução e o monitoramento do progresso em direção a um desenvolvimento mais sustentável e de baixo carbono.

A metodologia utilizada para a elaboração deste inventário é o Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade (GPC – *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*), desenvolvido pelo ICLEI, *World Resources Institute* (WRI) e o *Climate Leadership Group* (C40 Cities). Este método permite a agregação e confiabilidade dos dados para inventários de comunidades, cidades e regiões, além de garantir a comparabilidade internacional, a partir da definição de três escopos: i) emissões diretas dentro dos limites do estado (**escopo 1**); ii) emissões indiretas pelo consumo de eletricidade da rede nacional (**escopo 2**); e iii) outras emissões indiretas fora dos limites, mas resultantes de atividades locais (**escopo 3**).

Foram avaliados seis setores: **Energia Estacionária**, que inclui a produção e consumo de energia; **Transportes**, relacionado à queima de combustíveis por veículos; **Resíduos**, abrangendo o tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos; **Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)**, referente a processos industriais e uso de gases fluorados; **Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)**, que considera fluxos de GEE associados ao uso e manejo do solo; e Outras Emissões Indiretas, para atividades não contempladas nos demais setores. Para estimar as emissões para subsetor de Mudança e Uso da Terra do setor de AFOLU foram adotadas as estimativas do SEEG.

Principais resultados do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

As emissões líquidas totais do Ceará, considerando os setores inventariados, apresentaram **um crescimento de 24,11% das emissões líquidas** entre 2018 e 2023. Partindo de 28,17 MtCO₂e em 2018, as emissões líquidas atingiram 34,96 MtCO₂e em 2023. Observou-se uma leve retração em 2020, possivelmente associada aos impactos da pandemia de COVID-19 nas atividades econômicas, seguida por uma retomada no crescimento.

Os setores que mais contribuíram para o perfil de emissões do estado foram:

- **AFOLU:** maior fonte de emissões em 2023 devido ao desmatamento e à pecuária. Crescimento expressivo de 166% aponta para a necessidade de políticas de uso do solo mais sustentáveis.
- **IPPU:** segundo maior setor fonte de emissões, com alta de 13,3% nas emissões desde 2018. Destaque para a produção de aço e cimento.
- **Transportes:** terceira maior fonte, com crescimento de 8,2%. Modal rodoviário e uso de combustíveis fósseis (gasolina e óleo diesel) são os principais responsáveis.
- **Energia Estacionária:** apesar de uma queda significativa (-72,5%), ainda depende de combustíveis fósseis e é sensível à matriz energética, anos de alta contribuição estão relacionados com o consumo de carvão em termoelétricas.
- **Resíduos:** aumento de 18,6% nas emissões durante o período analisado. Unidades de disposição de resíduos são os maiores emissores; efluentes, incineração e queima a céu aberto também contribuem.

A partir desta análise, as **recomendações e oportunidades de melhoria** incluem incentivar o reflorestamento e a recuperação de áreas degradadas, ampliar a geração de energia renovável e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, transicionar para modais de transporte mais eficiente e limpos, fomentar a eficiência energética industrial, ampliar a coleta seletiva e a reciclagem e universalizar o saneamento básico.

Ao mesmo tempo que a conclusão deste Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa é um marco, é também um ponto de partida para as próximas etapas da conformidade climática do Ceará. Para avançar de forma eficaz, é fundamental:

- **Subsidiar Políticas Públicas Climáticas**
- **Construir a Conformidade Climática Estadual**
- **Definir e monitorar as metas estabelecidas**
- **Promover o reporte e a transparência**
- **Promover o fortalecimento institucional e a capacitação**

Em suma, este documento é um passo crucial para subsidiar o desenvolvimento do Ceará, detalhando o perfil de emissões do estado e delineando possíveis caminhos para um futuro mais sustentável e resiliente.



INTRODUÇÃO

A contabilização das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), visando compreender a situação para tomar decisões assertivas e baseadas em evidências, é parte fundamental da implementação da agenda climática em nível estadual. As informações sobre as emissões são obtidas por meio de Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa.

O Inventário é um instrumento que visa quantificar e monitorar as emissões de uma instituição ou comunidade. Ao definir sua abrangência, identificar as fontes e sumidouros de GEE e contabilizar suas emissões ou remoções, permite a compreensão do perfil das emissões resultantes das atividades dos diversos setores que compõem o território, a partir do qual são identificadas as principais medidas de mitigação que devem ser adotadas pelo governo estadual para reduzir as emissões de GEE.

Este relatório apresenta os resultados do 1º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Ceará, as premissas adotadas e as referências sobre onde os dados foram extraídos. Sua estrutura é apresentada a seguir.

- **Capítulo 1 – Introdução:** contextualiza o inventário e apresenta a estrutura do relatório.
- **Capítulo 2 – Ciência e Política Climática:** introduz os conceitos de mudança do clima, efeito estufa e seus impactos e marcos nacionais.
- **Capítulo 3 – Metodologia:** define o método adotado, a abrangência do inventário e descreve os princípios de contabilização de sua elaboração.
- **Capítulo 4 – Fronteiras do Inventário:** demonstra os limites do inventário, caracterizando o território, os setores a serem analisados e apresenta as fontes e dados de entrada.
- **Capítulo 5 – Resultados do Inventário:** apresenta os resultados gerais do IEGEE do Ceará.
- **Capítulo 6 – Análise dos Resultados por Setor:** apresenta os resultados do IEGEE do Ceará para cada setor e subsetor de atividade.
- **Capítulo 7 – Comparação Das Emissões Com Brasil e Estados:** compara os resultados de emissões com Brasil e estados do nordeste e sudeste, avaliando as emissões per capita e por PIB.
- **Capítulo 8 – Evolução das Emissões e o Cumprimento da NDC:** apresenta o histórico das emissões com base no Inventário Nacional, avança com o IEGEE do Ceará e compara com as metas estabelecidas pela NDC brasileira.
- **Capítulo 9 – Considerações Finais:** sintetização dos resultados e discussões de possíveis ações a serem desenvolvidas dentro da perspectiva da mitigação.
- **Referências Bibliográficas:** fontes que embasaram a produção do atual inventário.
- **Anexos:** apresentação dos métodos de cálculo e fatores de emissão.

Os resultados deste inventário, baseados nos dados já coletados e analisados, serão detalhados nas seções seguintes.



CIÊNCIA E POLÍTICA CLIMÁTICA

A mudança do clima é definida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) como uma alteração estatisticamente considerável do sistema climático, caracterizada por variações em suas médias ou em sua variabilidade, mantidas por períodos de várias décadas ou mais. Conforme a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC (2022), tais alterações decorrem tanto da variabilidade natural do clima quanto das atividades antrópicas que modificam a composição da atmosfera global.

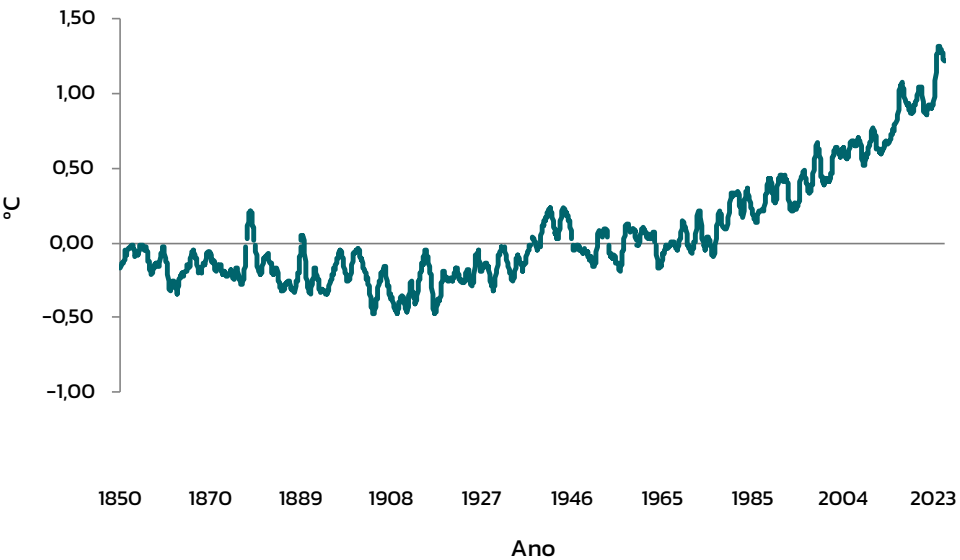
Evidências científicas demonstram que a atual alteração do sistema climático é predominantemente induzida por atividades antrópicas, notadamente a queima de combustíveis fósseis, mudanças no uso da terra e práticas agropecuárias intensivas. Estimativas recentes indicam que mais de 97% da literatura científica revisada por pares converge nesse diagnóstico (IPCC, 2022; WMO, 2023).

Entre os principais indicadores observados destacam-se o aumento contínuo das temperaturas médias globais (NOAA, 2023), a retração acelerada das calotas de gelo e geleiras, alterações nos regimes de precipitação e nos padrões de circulação atmosférica, bem como mudanças na salinidade e na temperatura dos oceanos. Esses processos têm contribuído diretamente para a maior frequência, intensidade e duração de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas, inundações e ciclones tropicais (IPCC, 2022; C3S, 2024).

Em 2024, registrou-se o ano mais quente da série histórica, com uma temperatura média global de 1,55°C acima da média de 1850–1900, de acordo com a análise consolidada de seis bases de dados pela *World Meteorological Organization* (WMO, 2025). Esse valor apresenta uma margem de incerteza de $\pm 0,13^\circ\text{C}$, mas aponta que possivelmente vivenciamos, pela primeira vez, um ano civil com uma temperatura média global superior a 1,5°C em relação ao período pré-industrial.

A **Figura 1** demonstra a evolução no aumento da temperatura média global de 1850 a 2025.

Figura 1. Evolução da temperatura média global (1850–2025).

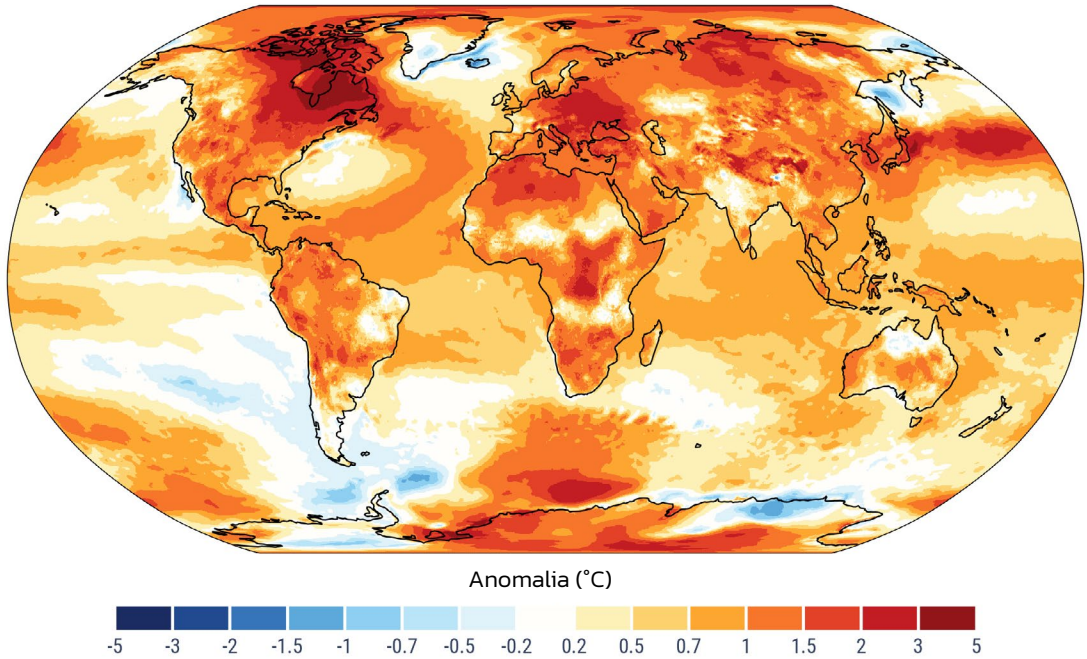


Fonte: (NOAA, 2025).

Essa anomalia reflete uma acelerada e inédita taxa de aquecimento no Holoceno (época geológica atual, iniciada há cerca de 11.700 anos), impulsionada pelo aumento significativo na concentração de gases de efeito estufa (GEE). O incremento desses gases intensifica o forçamento radiativo e contribui para o desequilíbrio energético do sistema climático, exacerbando os impactos do aquecimento global.

Esses resultados reforçam, de forma inequívoca, a urgência de avançar em estratégias de mitigação de emissões e adaptação às mudanças climáticas. A **Figura 2** ilustra as anomalias de temperatura registradas em 2024, evidenciando as tendências alarmantes observadas nesse cenário global.

Figura 2. Anomalias da temperatura do ar da superfície em 2024 em relação à média do período de referência de 1991–2020.



Fonte: C3S, 2024.

2.1. O Fenômeno do Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural essencial para o equilíbrio térmico do planeta, responsável por manter a temperatura média da Terra em torno de 15°C, condição fundamental para a existência da vida como a conhecemos. Sem o efeito estufa natural, a temperatura média na superfície terrestre estaria abaixo de 0°C, tornando o planeta inóspito (IPCC, 2007; Denchak, 2019).

De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (2023), a atmosfera desempenha um papel crucial no controle do balanço energético do planeta. Cerca de 71% da radiação solar incidente atravessa a atmosfera terrestre, enquanto aproximadamente 29% é refletida de volta ao espaço. Esse fenômeno de reflexão, conhecido como albedo, resulta em grande parte da interação com as nuvens, mas também da refletância da superfície terrestre. A radiação solar que consegue atravessar a atmosfera é absorvida pela superfície

terrestre, pelos oceanos e pela própria atmosfera, desencadeando processos como aquecimento, evaporação, formação de nuvens, precipitação, ventos e correntes oceânicas (IPCC, 2021).

O efeito estufa natural ocorre quando os gases de efeito estufa (GEEs), como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e vapor d'água, absorvem eficientemente a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre, pela própria atmosfera e pelas nuvens. Essa radiação é reemitida em todas as direções, inclusive de volta para a superfície terrestre, o que aprisiona o calor no sistema superfície-troposfera e mantém o planeta significativamente mais quente do que seria sem esses gases. A radiação atmosférica está diretamente relacionada à temperatura do nível em que é emitida. Como na troposfera a temperatura diminui com a altitude, a maior parte da radiação infravermelha liberada para o espaço provém de altitudes com temperatura média de -19°C, o que está em equilíbrio com a radiação solar líquida, enquanto a superfície terrestre mantém-se a uma temperatura média de 15°C (IPCC, 2021).

No entanto, o aumento nas concentrações de gases de efeito estufa devido às atividades humanas intensifica esse efeito natural, gerando o que se conhece como "efeito estufa intensificado" (enhanced greenhouse effect). Esse aumento na concentração de GEEs eleva a opacidade infravermelha da atmosfera, fazendo com que a radiação emitida para o espaço ocorra a partir de altitudes maiores e em temperaturas mais baixas. Isso provoca um forçamento radiativo, ou seja, um desequilíbrio energético no sistema climático que só pode ser equilibrado por meio do aquecimento adicional da superfície e da troposfera. Esse aquecimento intensificado é a principal causa do aumento das temperaturas médias globais e das mudanças climáticas observadas atualmente (IPCC, 2023).

Esse aumento decorre da elevação contínua das concentrações atmosféricas de GEE, principalmente em função da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural), da agropecuária, das atividades industriais e do desmatamento. No Brasil, por exemplo, o desmatamento é a principal fonte de emissões, dado que as florestas atuam como sumidouros de carbono, mas, ao serem suprimidas ou queimadas, liberam grandes volumes de CO₂ na atmosfera (WWF, s.d.).

2.2. Impactos da Mudança do Clima e Marcos Internacionais

As mudanças climáticas configuram-se como uma das ameaças mais significativas à sociedade humana e ecossistemas, gerando impactos em diversas esferas ambientais, econômicas e de saúde pública (IPCC, 2022). A intensificação do aquecimento global e a continuidade das tendências observadas têm causado elevações do nível do mar, maior ocorrência de eventos climáticos extremos, como inundações, secas e tempestades, disseminação de doenças tropicais e perda de biodiversidade.

O Acordo de Paris, estabelecido durante a COP21 em dezembro de 2015, representa um marco na governança climática internacional. Como primeiro acordo universal juridicamente vinculante sobre mudanças climáticas, estabelece um novo modelo de cooperação entre as nações. Seu objetivo fundamental é controlar o aquecimento global, mantendo o aumento da temperatura média do planeta significativamente abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, preferencialmente limitando-o a 1,5°C.

Este acordo inova ao adotar uma metodologia *bottom-up*, onde cada nação determina suas próprias metas de redução de emissões através das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), em contraste com abordagens anteriores que impunham metas padronizadas. Esta flexibilidade permite que países em diferentes estágios de desenvolvimento possam contribuir de maneira mais realista e efetiva para o esforço global.

O Brasil estabeleceu metas ambiciosas para 2035, demonstrando seu compromisso com a agenda climática internacional. As metas principais incluem uma redução significativa nas emissões de GEE de 59 a 67% abaixo dos níveis registrados em 2005. Além disso, o país busca atingir a neutralidade de carbono até 2050 e zerar o desmatamento ilegal até 2030 (MMA, 2024).

Estes compromissos são particularmente relevantes considerando o papel estratégico do Brasil na preservação de florestas tropicais, na produção de energia renovável e no desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. Para alcançar estas metas, o país necessita implementar uma série de políticas públicas integradas, envolvendo

diversos setores da economia e diferentes esferas governamentais, além de contar com o engajamento do setor privado e da sociedade civil.

Observa-se que os sistemas naturais, em todas as regiões do planeta e nos oceanos, estão sendo impactados, sobretudo em decorrência do aumento das temperaturas médias globais (IPCC, 2021). No Brasil, destaca-se que o aumento nas temperaturas resulta em mudanças climáticas significativas, afetando o ciclo hidrológico e a incidência de fenômenos extremos. Com isso, tornam-se cada vez mais necessárias medidas para a redução das emissões de gases do efeito estufa, bem como para adaptação climática.

Nesse contexto, a participação ativa das cidades e estados na redução de emissões de carbono, no cumprimento do Acordo de Paris e na promoção do desenvolvimento urbano sustentável tem se tornado cada vez mais relevante. Os governos subnacionais desempenham um papel estratégico na implementação de programas de adaptação e mitigação, que geram uma série de co-benefícios para as comunidades em termos de redução da pobreza, emprego, fornecimento de serviços e qualidade de vida.

Esses governos são fundamentais na implementação de políticas públicas como a preservação de áreas verdes, promoção de mobilidade sustentável e eficiência energética. Além disso, funcionam como um elo crucial para impulsionar a conscientização e o engajamento comunitário na agenda climática. Portanto, a articulação entre as diferentes esferas de governo e sua aplicação prática em áreas urbanas é essencial para que o Brasil alcance suas metas estabelecidas no cenário internacional e para o fortalecimento da resiliência climática nacional.

Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Plano Clima e NDC Brasileira

A PNMC, instituída pela Lei nº 12.187/2009 é o principal marco legal da ação climática no Brasil. Seu objetivo central é orientar medidas de mitigação das emissões GEE e de adaptação aos impactos. Para tanto, a PNMC prevê instrumentos como planos setoriais, inventários de emissões e a elaboração de planos nacionais de ação.

Já o **Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Plano Clima)** é o principal instrumento de planejamento de médio e longo prazo previsto na PNMC. Sua função é definir estratégias transversais e setoriais que orientem a redução das emissões e a adaptação climática no horizonte até 2035. O Brasil lançou uma primeira versão do plano em 2008, apresentando metas para o ano de 2020 (MMA, 2025a).

Atualmente, o Governo Federal (MMA, 2025b) está atuando na elaboração da nova versão do Plano, o qual prevê maior integração entre políticas federais, estaduais e municipais, bem como a participação do setor privado e da sociedade civil organizada. Entre suas diretrizes, destacam-se:

- **Definição de metas setoriais intermediárias**, com o foco no compromisso de neutralidade climática até 2050;
- **Estratégia nacional com sete Planos Setoriais de mitigação**, como por exemplo de Agricultura e Pecuária, Cidades, Energia e outros, que deverão conter ações impactantes, ações estruturantes e metas progressivas até 2035;
- **Estratégia nacional com 16 Planos Setoriais de adaptação**, dividindo-se em temas como biodiversidade, saúde, segurança alimentar, gestão de riscos e desastres e outros;
- **O fortalecimento de sistemas de monitoramento**, reporte e verificação (MRV), permitindo acompanhar com maior transparência a evolução das emissões de GEE;
- **Articulação com políticas de desenvolvimento sustentável**, de modo a alinhar crescimento econômico, inclusão social e redução de emissões.

Esse processo de planejamento foi articulado com a atualização das metas da NDC brasileira, na qual foi estabelecida a **redução das emissões líquidas de GEE entre 59% e 67% até 2035**, em relação aos níveis de 2005. As metas já previamente assumidas – redução de 48% até 2025 e 53% até 2030 – foram mantidas, reafirmando o compromisso de alcançar **emissões líquidas zero até 2050**. Em termos absolutos, a NDC indica que as emissões do Brasil em 2035 devem ficar entre 850 milhões e 1,05 bilhão de toneladas de CO₂, equivalente onde será crucial aceleração da transição energética, a redução do desmatamento ilegal e a ampliação do uso tecnologias de baixo carbono nos diversos setores (MMA, 2025c).

A consistência entre PNMC, Plano Clima e NDC estão baseados no diálogo e cooperação entre o governo federal, estadual e municípios, onde a ação conjunta será determinante para orientar a trajetória de redução das emissões de GEE, assegurar transparência no cumprimento das metas e ampliar a ambição climática em ciclos futuros (MMA, 2025c).



METODOLOGIA

Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa são ferramentas essenciais para a gestão climática em qualquer esfera de governo. Para o desenvolvimento do IEGEE do Ceará, foi adotado o Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade (GPC – *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*). Este protocolo, desenvolvido em 2014 pelo ICLEI, *World Resources Institute* (WRI) e o *Climate Leadership Group* (C40 Cities), é reconhecido internacionalmente por sua estrutura robusta e padronizada.

O principal objetivo do GPC é permitir a agregação e a confiabilidade de dados para inventários de comunidades, cidades e regiões, além de facilitar análises comparativas entre diferentes governos locais. Ao estabelecer requisitos claros e prover orientações detalhadas para os cálculos e o reporte dos GEE, o GPC garante rigor e comparabilidade internacional, posicionando o Ceará na vanguarda da ação climática e permitindo sua participação em redes e iniciativas globais que exigem reporte padronizado de emissões.

Nos inventários preparados de acordo com o método do GPC, as emissões são definidas e classificadas em três categorias principais, baseadas na localização geográfica das atividades geradoras, conforme ilustrado na **Figura 3** e descrito no **Quadro 1**.

Figura 3. Delimitação dos escopos considerados no método GPC.



Fonte: WRI; C40; ICLEI, 2014.

Quadro 1. Delimitação dos escopos no método GPC.

Escopo 1	Emissões de GEE por fontes localizadas dentro dos limites do Estado.
Escopo 2	Emissões de GEE que ocorrem como consequência do uso de eletricidade fornecida pela rede nacional dentro dos limites do Estado, como o Sistema Interligado Nacional (SIN) no Brasil.
Escopo 3	Emissões de GEE que ocorrem fora dos limites do Estado como resultado de atividades que ocorrem dentro de seus limites. São consideradas emissões indiretas, originadas de fontes localizadas externamente aos limites estaduais, mas resultantes de atividades sob a responsabilidade direta da administração estadual.

Fonte: Elaboração própria a partir de WRI; C40; ICLEI, 2014.

Além da desagregação em escopos, o GPC também prevê a alocação das emissões por setores e subsetores, conforme disposto no **Quadro 2**, com o objetivo de permitir que todas as atividades sejam identificadas e categorizadas de forma consistente. Para tanto, o GPC determina seis diferentes setores nos quais as atividades emissoras podem ser alocadas:

Quadro 2. Descrição dos setores de emissão.

Setor 1	Energia Estacionária	<p>Neste setor estão incluídas emissões geradas devido à produção, transformação, distribuição e consumo de diferentes formas de energia. Incluem-se também emissões fugitivas, ou seja, aquelas que ocorrem a partir da emissão intencional ou acidental de GEE durante os processos de extração, processamento, transformação e distribuição de combustíveis fósseis, como por exemplo: emissões de vazamentos de gás natural e as emissões de metano durante a mineração de carvão e queima durante a extração e refino de óleo.</p> <p>O <i>GPC</i> define as principais fontes segregadas em: edifícios residenciais; edifícios comerciais e institucionais; indústrias de manufatura e de construção; indústria de energia; agricultura, silvicultura e pesca; fontes não especificadas; emissões fugitivas de mineração, processamento, estoque e transporte de carvão; e emissões fugitivas de vazamento de óleo e gás natural.</p>
Setor 2	Transportes	<p>Neste setor estão incluídas emissões geradas pela queima de combustíveis realizada por diversos tipos de transporte existentes no Estado, além de, quando existente, o consumo de energia por veículos elétricos.</p> <p>As fontes são segregadas por modal: terrestre, ferroviário, fluvial, aéreo e <i>off-road</i>. São avaliados: consumo de gasolina, etanol, óleo diesel, gasolina de aviação e querosene de aviação, consumo de Gás Natural Veicular (GNV), consumo de combustível de viagens nacionais, e consumo de óleo diesel no transporte público.</p>

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Quadro 2. Descrição dos setores de emissão.

Setor 3	Resíduos	<p>Neste setor estão incluídas as emissões relacionadas exclusivamente com o tratamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos. São estimadas as emissões de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e gás carbônico (CO₂) oriundas de degradação da matéria orgânica e outros compostos nas diferentes rotas de tratamento aplicadas na gestão de resíduos.</p> <p>As fontes são segregadas em: disposição de resíduos sólidos, tratamento biológico, incineração, e disposição e tratamento de efluentes.</p>
Setor 4	Processos Industriais e Uso de Produtos	<p>Neste setor são estimadas as emissões provenientes de processos industriais, do uso de GEE em produtos e de usos não energéticos de combustíveis fósseis.</p> <p>As principais fontes de emissão estão relacionadas à indústria de transformação (química ou física), como por exemplo, indústrias de ferro, aço e cimento. Ademais, o uso de GEE (como os hidrofluorcarbonos – HFCs) em produtos como geladeiras, espumas ou latas de aerossol também são contabilizados.</p>
Setor 5	Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra	<p>Neste setor são contemplados os fluxos de GEE oriundos do uso e manejo de solos que influenciam uma variedade de processos do ecossistema, como a fotossíntese, respiração, decomposição, nitrificação/ desnitrificação, fermentação entérica, combustão e outros. Todos esses processos envolvem transformações físicas (combustão, lixiviação e escoamento) e biológicas (atividade de microrganismos, plantas e animais) de carbono e nitrogênio. Neste setor estão descritas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O.</p> <p>Para o setor de <i>AFOLU</i>, as fontes são segregadas em: rebanhos, uso da terra, emissões agregadas e outras emissões de não-CO₂.</p>
	Outras emissões indiretas	<p>Neste setor são computadas as emissões geradas por atividades que ocorrem fora da fronteira do Estado, mas que têm relação com atividades que ocorrem dentro de seus limites, e que não foram contempladas nos outros setores.</p> <p>Para as estimativas, são consideradas atividades que acarretam emissões indiretas, como, por exemplo, a taxa de desperdício de água residuária gerada no Estado, mas lançadas além de seus limites, emissões provenientes do consumo de insumos para construção civil e outros. Destaca-se que de acordo com o GPC não é uma obrigatoriedade estimar essas emissões.</p>

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Para uma maior compreensão de como os diferentes setores de atividade se interligam com os escopos de emissão no inventário, o **Quadro 3** a seguir apresenta de forma resumida a alocação de cada setor dentro dos Escopos 1, 2 e 3. Essa categorização é essencial para identificar a origem das emissões (diretas ou indiretas) e direcionar as estratégias de mitigação de forma eficaz.

Quadro 3. Setores e escopos do Inventário de GEE.

Setor	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
Energia Estacionária	x	x	x
Transportes	x	x	x
Resíduos	x		x
IPPU	x		
AFOLU	x		
Outras emissões de Escopo 3			x

Fonte: WRI; C40; ICLEI, 2014.

Ademais, para uma interpretação adequada dos dados, é necessário diferenciar as emissões brutas das emissões líquidas. As **emissões brutas** correspondem ao total de gases de efeito estufa liberados na atmosfera pelas atividades humanas, sem considerar a compensação exercida pelos sumidouros de carbono. No entanto, as **emissões líquidas** resultam do balanço entre as emissões brutas e as remoções de GEE, que ocorrem, por exemplo, pelo sequestro de carbono em florestas e outras formações vegetais, refletindo de forma mais precisa o impacto líquido das atividades antrópicas sobre o clima. Essa diferença se expressa na equação abaixo:

$$\text{EMISSIONES LÍQUIDAS} = \text{EMISSIONES BRUTAS} - \text{REMOÇÕES DE CARBONO}$$

Por fim, é necessário também definir os limites do sistema analisado. Este passo inclui a delimitação da fronteira geográfica e a identificação das atividades fontes de emissão por setor, aspectos detalhados nos tópicos a seguir.

Diferentes metodologias para a elaboração de inventários de emissões de GEE

A elaboração de inventários de emissões de GEE pode seguir diferentes metodologias, dependendo da escala de análise e do objetivo do levantamento. No Brasil, o **Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE** adota as **Diretrizes do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** como referência principal.

O **Inventário Nacional** tem como foco principal mensurar as emissões de GEE na escala do território nacional, desagregando as atividades em setores-chave definidos pelo IPCC: energia, processos industriais e uso de produtos, agropecuária, mudança de uso da terra e florestas, e resíduos. O objetivo central é a reportagem internacional, garantindo transparência, comparabilidade e conformidade com os compromissos assumidos, alimentando a comunicação nacional e monitoramento das emissões ao longo dos anos.

Já o método **GPC (Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories)** foi concebido para inventários locais em cidades e regiões, buscando apoiar a gestão climática a nível mais subnacional e urbano. Neste método, também baseado nas metodologias de cálculo apresentadas nas diretrizes do IPCC, as emissões são desagregadas em cinco grandes setores e em três escopos, que definem se as emissões são diretas ou indiretas.

Entende-se que o GPC facilita o processo de tomada de decisão na implementação de políticas públicas locais. É importante destacar que as diferentes metodologias são complementares, adotando as melhores práticas e métodos para se mensurar as emissões de GEE. O Inventário Nacional permite a avaliação do desempenho do país frente às metas climáticas internacionais, enquanto o GPC fornece ferramentas para ação no nível subnacional, onde se concentram grande parte das emissões e também as oportunidades de mitigação.

3.1. Engajamento e Capacitação de Atores Estratégicos

A elaboração de um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa para um território tão abrangente como o Estado do Ceará exige concomitantemente com o trabalho técnico, um processo de engajamento e capacitação dos diversos atores envolvidos. Reconhecendo essa premissa, o Plano de Trabalho do IEGEE do Ceará estabeleceu a sensibilização e formação de um Grupo de Trabalho (GT) estratégico, composto por gestores e corpo técnico do estado.

O principal objetivo da formação do GT é fomentar o conhecimento e a autonomia dos gestores e do corpo técnico estadual na construção do IEGEE do Ceará. Este GT foi fundamental tanto para o apoio na coleta de dados quanto para o processo de revisão e validação das informações e produtos do inventário.

O Grupo de Trabalho é composto por membros da Secretaria de Meio Ambiente e Mudança do Clima (SEMA) e outros órgãos estaduais, visando otimizar a comunicação e a colaboração no levantamento e validação dos dados necessários.

3.1.1. Sessão de Sensibilização e Capacitação Técnica

Como parte da estratégia de engajamento, uma sessão presencial de sensibilização e capacitação sobre a elaboração de Inventários de Emissões de GEE foi realizada no dia 03 de abril de 2025, no Anfiteatro do Parque Ecológico do Cocó, em Fortaleza. Esta atividade, desenvolvida pelo ICLEI América do Sul, teve como público-alvo o Grupo de Trabalho e demais técnicos interessados.

A programação da capacitação abordou uma série de temas essenciais para a compreensão do contexto climático e das metodologias de inventário, incluindo:

- **Mudança do Clima:** Nivelamento de conhecimento sobre efeito estufa, GEE, atividades fontes de emissão e impactos da mudança do clima.

- **Marco Legal e Institucional:** Discussão sobre o Acordo de Paris e as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) brasileiras, estabelecendo o contexto das metas climáticas.

- **Metodologias de Elaboração de Inventário:** Apresentação das metodologias do IPCC (*Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas*) e do GPC (*Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*), que balizam a construção deste.

- **Temas Setoriais:** Análise aprofundada dos setores de Energia (Estacionária e Transportes), Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), Resíduos, e Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU), identificando suas principais fontes de emissão.

- **Cálculo e Coleta de Dados:** Orientação sobre métodos de cálculo simplificados, dados de atividade, fatores de emissão e potencial de aquecimento global, além de estratégias para a coleta eficaz de dados junto às instituições detentoras das informações. Foi enfatizado o uso da plataforma *WayCarbon Ecosystem* como ferramenta de apoio para cálculo e processamento dos dados.

3.2. Ferramenta de cálculo

Este Inventário foi elaborado com base na plataforma *WayCarbon Ecosystem*. Essa ferramenta é um software da consultoria *WayCarbon*, parceira do ICLEI, que apresenta uma forte robustez metodológica, utilizando as melhores referências para estabelecer os métodos de cálculo adotados e os fatores de emissão mais apropriados para cada atividade.

Além disso, diante do contexto de ausência de informações específicas do estado, também foi utilizado como referência as estimativas apresentadas no Sistema de Emissões e Remoções de GEE (SEEG), iniciativa renomada no Observatório do Clima.

Por fim, algumas informações sobre as emissões de GEE foram obtidas diretamente pelos parceiros, com bases de emissões que são reportadas publicamente.



FRONTEIRAS DO INVENTÁRIO

4.1. Caracterização do Estado do Ceará

O estado do Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, limitando-se ao sul com Pernambuco, a leste com o Rio Grande do Norte e a Paraíba, a oeste com o Piauí e ao norte é banhado pelo Oceano Atlântico. Com uma área territorial de 148.894,4 km² (IBGE, 2024a), o estado abrange 184 municípios, tendo Fortaleza como a capital.

A população no último censo é de 8.794.957 habitantes (IBGE, 2022) e a densidade demográfica é de aproximadamente 59,07 habitantes por km², sendo o 3º estado mais populoso do nordeste e o 8º do Brasil (IBGE, 2022). Esse valor é superior ao registrado em outros estados do Nordeste, como o Piauí, cuja densidade é de 12,99 hab./km² e a Bahia, com 25,04 hab./km², porém inferior a densidade de Pernambuco com 92,37 hab./km² (IBGE, 2022). A **Figura 4** apresenta o mapa do estado.

Figura 4. Localização do estado do Ceará.



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Em 2021, o Produto Interno Bruto (PIB) do Ceará foi de aproximadamente R\$ 194,9 bilhões e rendimento mensal domiciliar per capita de R\$ 881. Em comparação ao PIB Bruto no ano de 2021, o Ceará fica em 3º lugar, atrás da Bahia (R\$ 352,6 bilhões) e Pernambuco (R\$ 220,814 bilhões) (IBGE, 2021). Já em relação ao rendimento mensal domiciliar per capita, o estado está também em 3º lugar na região, ficando na frente do Rio Grande do Norte (R\$ 1.109) e Sergipe (R\$ 929) (IBGE, 2024b).

A economia do Ceará é majoritariamente sustentada pelo setor de Serviços, que representou 75,2% do Valor Adicionado Bruto (VAB) estadual em 2022, seguido pela Indústria (19%) e pela Agropecuária (5,8%). Em 2024, todos os setores cresceram, com destaque para a Agropecuária (+25,2%), impulsionada por boas safras e expansão da pecuária. A Indústria avançou 10,7%, com destaque para os segmentos têxtil, calçadista e da construção civil, enquanto os Serviços cresceram 4,3%, mantendo-se como base da economia estadual (IPECE, 2025).

Em 2022, o Ceará contava com 1,65 milhão de empregos formais, aumento de 8% frente ao ano anterior, e 199 mil estabelecimentos registrados, com leve retração. Os setores que mais empregaram foram Administração Pública, Comércio Varejista e Educação (SEBRAE, 2022).

O Ceará é dividido em 12 bacias hidrográficas, destacando-se os rios Acaraú, Banabuiú, Jaguaribe e Salgado, sendo o rio Jaguaribe o mais importante e extenso, com cerca de 652 km. O estado também possui lagoas relevantes, como as de Almécegas, Catú, Cauípe, Jijoca e Uruaú. O regime de chuvas é irregular, com duas estações definidas: uma chuvosa, concentrada no primeiro semestre, e uma seca no segundo semestre, com poucas precipitações (FUNCEME, 2024) e maior incidência de queimadas e incêndios florestais no estado. O clima predominante é Tropical Quente Semi-Árido (IPECE, 2014) e o bioma Caatinga (IBGE, s.d.).

Em 2023, a cobertura do solo no estado do Ceará era composta majoritariamente por áreas de uso natural, que representaram 69,77% do território, totalizando 10,39 milhões de hectares. As áreas de uso antrópico corresponderam a 30,16%, 4,49 milhões de hectares, abaixo da média se comparado com outros estados da região como o Rio Grande do Norte (49%), Bahia (46%) e Pernambuco (45%) (MapBiomas, 2023). O **Quadro 4** dispõe da caracterização e limites de inventário do estado.

Quadro 4. Informações sobre o Ceará..

Caracterização e limites do inventário	
Nome do Estado	Ceará
Capital	Fortaleza
País	Brasil
Área	148.894,4 km²
Limites geográficos	Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba e Piauí
População	8.794.957 pessoas (2022)
PIB per capita	R\$ 21.090,11
Clima	Tropical Quente Semi-Árido (predominante)
Bioma predominante	Caatinga

Fonte: IBGE, 2023, 2024b.

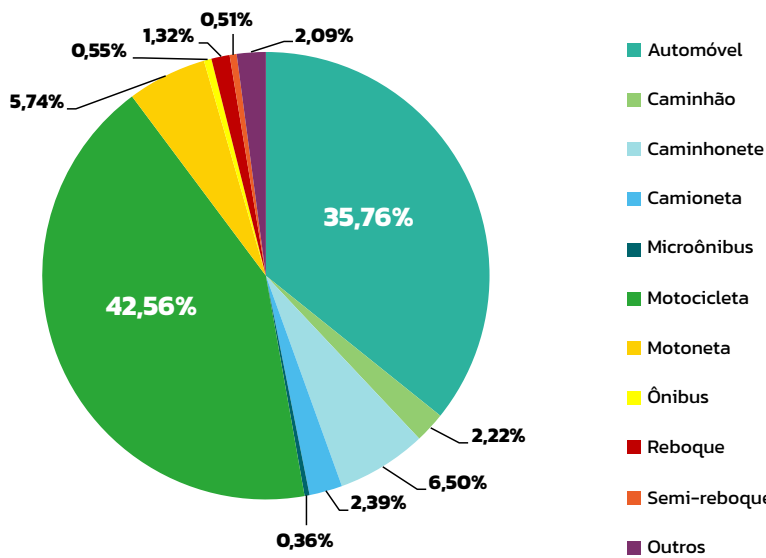
Como parte da delimitação das fronteiras do inventário, as próximas seções se dedicam a caracterizar o estado do Ceará de acordo com os setores sugeridos pelo GPC: Energia Estacionária, Transportes, Resíduos, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), e Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU).

4.1.1. Transportes

De acordo com o Departamento Estadual de Trânsito do Ceará (DETRAN CE), até setembro de 2023, o estado registrou uma frota total de 3.735.255 veículos. As motocicletas lideraram em quantidade, representando 42,56% do total, seguidas pelos automóveis, com 35,76%. Caminhonetes e motonetas apareceram em seguida, com 6,50% e 5,74%, respectivamente. As camionetas corresponderam a 2,39% da frota, enquanto os caminhões representaram 2,22% (DETRAN CE, 2023).

A predominância de motocicletas e automóveis na frota cearense (**Figura 5**) já sinaliza a relevância do transporte rodoviário, de passageiros, para o perfil de emissões do estado, uma tendência que será confirmada nos resultados a seguir.

Figura 5. Frota por tipo no Ceará.



Fonte: ICLEI adaptado de Detran CE, 2023.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2025), em 2023, o estado do Ceará apresentou um perfil de consumo energético diversificado, com destaque para o uso intensivo de combustíveis fósseis no setor de transportes. A gasolina C liderou o consumo entre os combustíveis, com 1,53 bilhão de litros utilizados exclusivamente no transporte rodoviário. O etanol hidratado, também destinado somente ao transporte rodoviário, somou 147 milhões de litros, indicando uma presença ainda relevante de biocombustíveis na matriz veicular cearense.

O óleo diesel foi outro insumo de grande relevância, com um consumo total de aproximadamente 1,14 bilhão de litros, dos quais 89,96% foram destinados ao setor rodoviário, os 10,04% restantes foram distribuídos entre os demais setores. No setor aéreo, o consumo de querosene de aviação atingiu 219,2 milhões de litros, enquanto a gasolina de aviação representou um volume bem menor, com 427,872 litros, ambos exclusivos do transporte aéreo (ANP, 2025).

Além desses, o gás natural veicular (GNV) apresentou consumo de 38,56 milhões de m³ em 2023, reforçando sua importância crescente como alternativa energética menos emissora no transporte rodoviário urbano, especialmente em frotas de táxis e veículos de carga leve (CEGÁS, 2025).

Deste modo, o setor de transportes do Ceará teve grande impacto nas emissões de GEE, devido ao uso predominante de combustíveis fósseis como gasolina e diesel, sendo responsável por 46% e 34% da matriz, respectivamente. A frota estadual, composta majoritariamente por motocicletas e automóveis, intensifica esse impacto. Apesar da presença de biocombustíveis como o etanol, seu uso ainda é limitado frente ao volume total consumido.

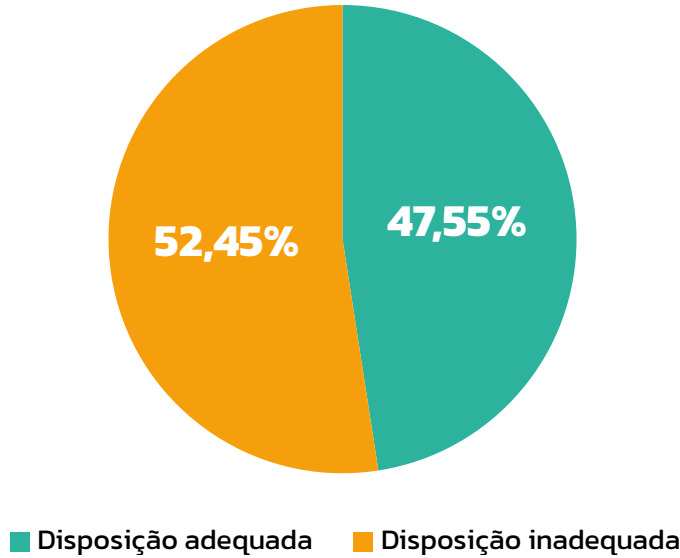
4.1.2. Resíduos

• Resíduos Sólidos Urbanos

Com base no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2025b), em 2023, o estado do Ceará destinou um total de 3.748.274,80 toneladas de resíduos sólidos para unidades de disposição final. Desse volume, 1.782.294,70 toneladas (47,55%), correspondeu às unidades de disposição adequada, em aterros sanitários. Já a disposição inadequada, como lixões e aterros controlados¹, somou 1.965.980,10 toneladas (52,45%), evidenciando desafios na gestão de resíduos no estado. De acordo com o SNIS, em 2022, estavam em operação 148 unidades de disposição inadequada e seis unidades de disposição adequada no Ceará.

A disposição final dos resíduos é apresentada na **Figura 6** a seguir.

Figura 6. Disposição final dos resíduos no Ceará.



Fonte: ICLEI adaptado de SINISA, 2025.

¹ A NBR 8849/1985, que regulamentava os aterros controlados, foi cancelada, tendo em vista que essa técnica não assegura a preservação ambiental, especialmente devido à ausência de impermeabilização adequada do solo, o que pode resultar na contaminação do lençol freático. No entanto, de acordo com dados do SNIS, aterros controlados ainda são utilizados em algumas localidades do território. Por esse motivo, foram considerados e contabilizados neste estudo.

Em 2023, o estado do Ceará apresentou uma cobertura de 83,78% da população total com serviços regulares de coleta de resíduos sólidos domiciliares, abrangendo 7.442.575 habitantes. Este dado refere-se à coleta realizada, direta ou indiretamente, com frequência mínima de uma vez por semana. Entretanto, a coleta seletiva no estado foi significativamente menor, alcançando apenas 5,96% da população total, o que equivale a 529.552 habitantes (SINISA, 2025b).

Quando comparado aos dados nacionais do mesmo período, o Ceará apresenta números ligeiramente inferiores no âmbito da coleta regular de resíduos sólidos domiciliares, já que no Brasil esse índice chegou a 86% da população. No entanto, a discrepância é mais evidente em relação à coleta seletiva: no nível nacional, 35% da população foi atendida por este serviço, enquanto no Ceará, menos de 6% da população conta com acesso à separação e destinação de materiais recicláveis.

Já na região Nordeste, os índices de cobertura foram ainda menores que a média nacional. A coleta regular de resíduos sólidos domiciliares atingiu 75% da população, enquanto a coleta seletiva contemplou apenas 5%. Nesse contexto, o desempenho do Ceará na coleta seletiva (5,96%) posiciona o estado ligeiramente acima da média regional, mas ainda muito distante dos resultados observados no restante do Brasil.

Diante desses dados, conclui-se que a maior parte da população cearense (94,04%) não tem acesso a serviços regulares de coleta seletiva. Embora o estado esteja alinhado à média regional nordestina, a baixa cobertura reflete um grande desafio em termos de separação e destinação adequada de resíduos recicláveis, sobretudo quando comparado aos índices nacionais mais elevados (SINISA, 2025b).

• Esgotamento Sanitário

De acordo com o SINISA (2025a), em 2023, no estado do Ceará, 33,07% da população era atendida por rede de esgotamento sanitário, o que corresponde a 2.824.984 habitantes. Como consequência, 66,93% da população cearense ainda não possui acesso à rede coletora de esgoto ou utiliza soluções individuais para tratar seus efluentes. A extensão da rede pública alcançava 6.669,3 km, evidenciando um sistema ainda em processo de expansão.

Quanto ao tratamento, foram coletados aproximadamente 109 milhões de m³ de esgoto ao longo do ano, dos quais aproximadamente 100 milhões de m³ foram efetivamente tratados, resultando em um índice de tratamento de esgoto de 92,11% sobre o volume coletado (SINISA, 2025a).

Numa comparação regional e nacional, em 2023, o percentual cearense de atendimento da população com rede coletora de esgoto está próximo ao registrado na macrorregião Nordeste (33,79%), apesar de consideravelmente abaixo da média nacional, que alcançou 59,70% (SINISA, 2025a).

É importante destacar que a amplitude reduzida da cobertura (apenas um terço da população atendida) implica em um volume menor de esgoto a ser tratado. Isso se reflete nos dados do SINISA (2025a): enquanto o Nordeste trata 80,97% do esgoto coletado, superando a média nacional de 78,68%, esse desempenho deve ser interpretado com ressalvas. Sistemas com menor cobertura tendem a apresentar taxas de tratamento mais altas, já que lidam com escalas reduzidas e desafios operacionais menos complexos que regiões com redes ampliadas.

Quanto aos resíduos sólidos urbanos, a elevada disposição final de resíduos e a baixa cobertura da coleta seletiva (5,96%), com consequentemente baixas taxas de recuperação de recicláveis e da fração orgânica, favorecem a emissão de metano. Em relação ao esgotamento sanitário, embora 92,11% do esgoto coletado tenha sido tratado, apenas 33,07% da população tem acesso à rede, o que apresenta impactos ambientais e sociais, não apenas relacionados com o enfrentamento à mudança do clima. Como resultado deste cenário da infraestrutura de resíduos no Ceará em 2023, o setor contribuiu significativamente para as emissões de GEE.

4.1.3. Energia estacionária

• Geração de energia

Conforme dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2024), em 2023, a geração de eletricidade no Ceará teve como principal fonte a energia eólica, que representou 71% da matriz elétrica estadual, seguida pela energia solar (25%).

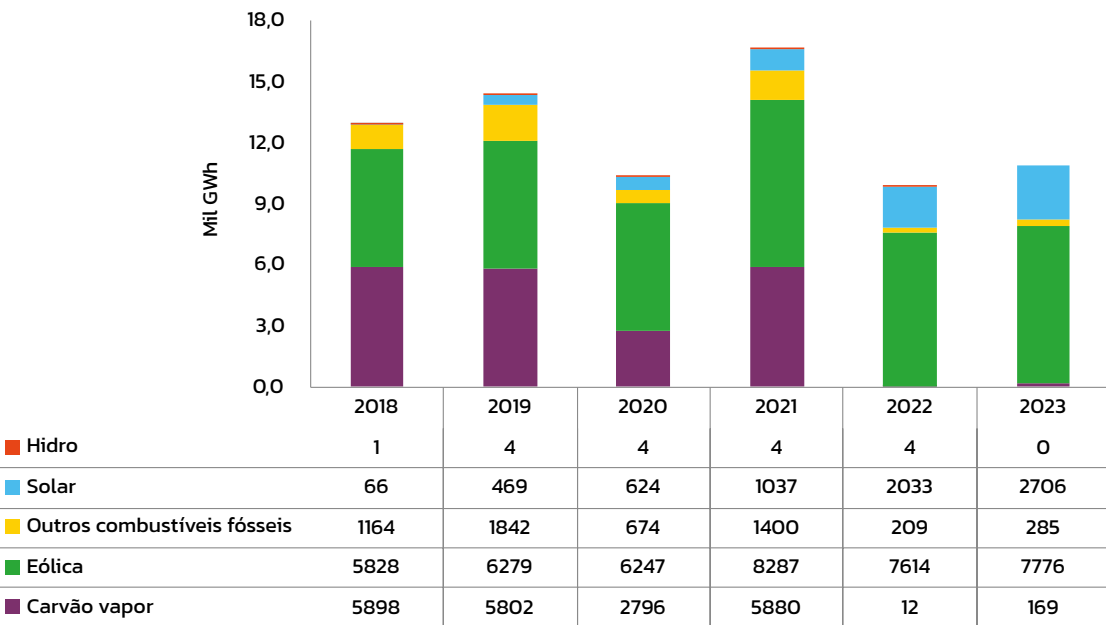
Na comparação regional, a energia eólica também liderou a geração elétrica no Nordeste, respondendo por 55% do total produzido, seguida pela energia hidrelétrica (22%) e solar (11%). No cenário nacional, a geração elétrica ainda é majoritariamente hidrelétrica, correspondendo a 57% da matriz brasileira, enquanto as fontes eólica e solar representaram, respectivamente, 13% e 7% (BEN, 2024).

A **Figura 7** apresenta a geração de GWh no estado do Ceará por fonte para o período do inventário. Conforme supracitado, a geração a partir da energia eólica é a principal contribuição na matriz estadual, destacando o papel das renováveis no grid cearense. Outro ponto de destaque é o importante aumento da geração de energia do estado em 2021, com crescimento de 60% em relação ao ano anterior (BEN, 2024).

Destaca-se que o período também foi marcado pela geração de eletricidade a partir do consumo de carvão em termoelétricas, que desempenhou um papel significativo até o ano de 2021. No entanto, essa contribuição tornou-se praticamente irrelevante nos anos subsequentes, caindo de expressivos 5.880 GWh em 2021 para apenas 12 GWh em 2022 e 169 GWh em 2023.

Esse comportamento está fortemente conectado ao contexto brasileiro, onde, em 2022, observou-se uma expressiva redução na geração de energia a partir de fontes fósseis, em favor das fontes renováveis. Esse movimento foi impulsionado tanto por condições climáticas favoráveis à geração hidrelétrica quanto pelo aumento da participação de fontes eólicas e solares. Destaca-se que, pela primeira vez, a geração eólica superou a geração térmica em nível nacional. Esses fatores resultaram na redução de aproximadamente 68% das emissões globais associadas à geração de energia elétrica no Brasil (IEMA, 2023).

Figura 7. Geração de energia por fonte (2018–2023).



Fonte: ICLEI adaptado de BEN, 2024.

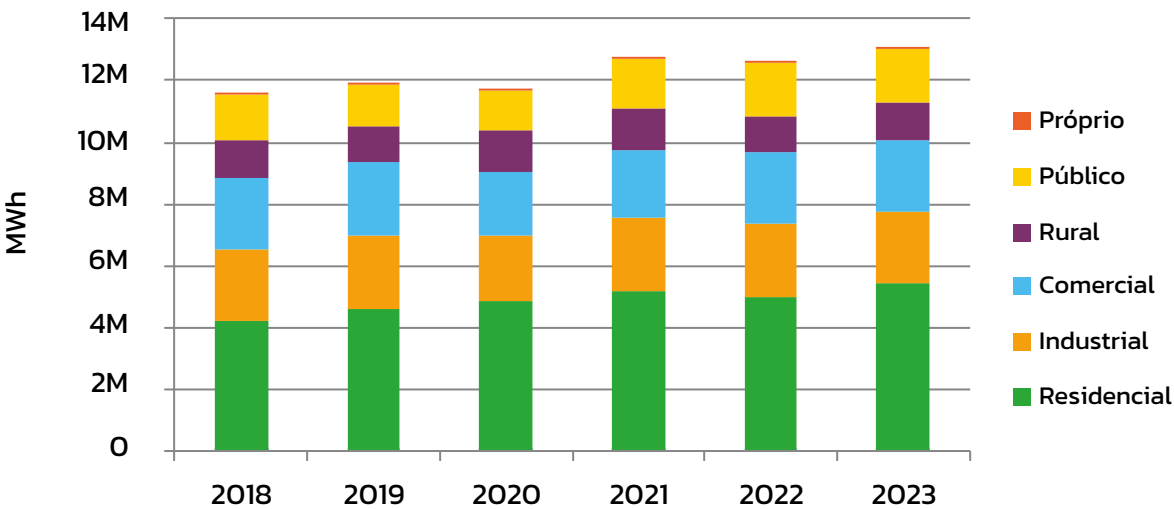
• Consumo de energia elétrica

Em 2023, o consumo total de energia elétrica no estado do Ceará alcançou 13.027.256 MWh ao longo do ano. O setor residencial representou a maior parcela desse consumo (aproximadamente 41,5% do total), seguido pelos setores comercial (18%), industrial (17,8%) e público (13,3%). Os setores rural e próprio² tiveram participações menores, com 9,3% e 0,2%, respectivamente (IPECE, 2023).

De acordo com o IPECE (2023), entre 2018 e 2023, o consumo total variou de 11.575.659 MWh a 13.027.256 MWh, enquanto o número de consumidores de energia elétrica cresceu de 3.543.521 para 4.406.218 – um aumento de cerca de 24%. Esse crescimento do consumo ocorreu de forma variável durante o período analisado: com crescimento entre 2018 e 2019, uma leve retração em 2020 e retomada a partir de 2021. Apesar da oscilação entre os anos, observa-se uma relativa estabilidade na participação proporcional dos diferentes setores de consumo (**Figura 8**).

2 Compreende o consumo de energia elétrica das instalações da distribuidora. Algumas concessionárias informam nesta classe o consumo interno de usinas (EPE, 2019).

Figura 8. Consumo de energia elétrica por setor e ano no Ceará.



Fonte: ICLEI adaptado de IPECE, 2023.

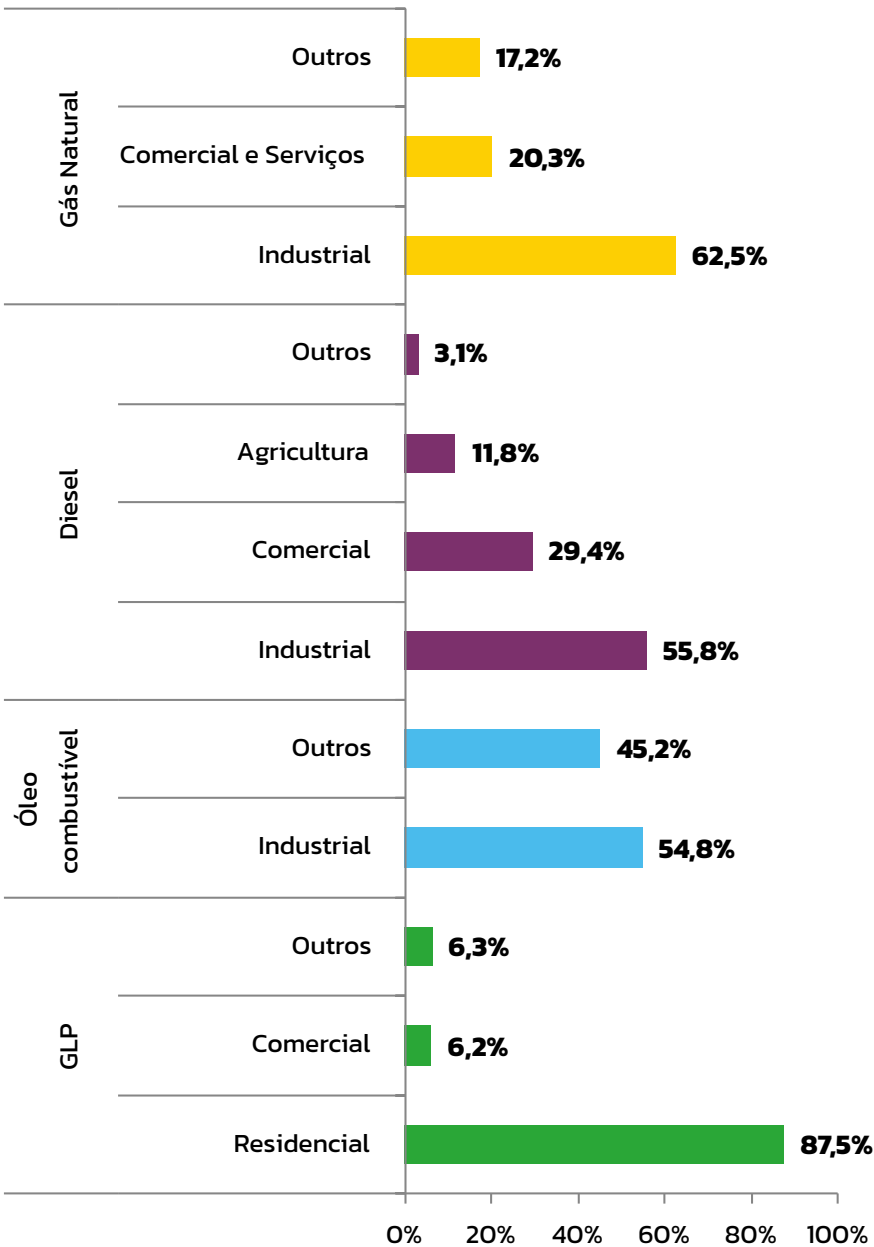
• Consumo de combustíveis fósseis

O consumo de óleo combustível no Ceará foi de 2,14 milhões de litros, sendo 54,76% utilizado pela indústria e 45,24% por outros setores não especificados. Já o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) teve um consumo de 289,4 milhões de kg, dos quais a maior parte foi direcionada ao setor residencial (87,5%). O restante foi distribuído entre os setores comercial (6,2%), industrial (6,15%), agrícola (0,14%) e público (0,01%) (ANP, 2023).

Em relação ao óleo diesel, o consumo total em 2023 foi de aproximadamente 1,14 bilhão de litros. Desse volume, 90,39% foram destinados ao setor de transporte. Os setores industrial e comercial representaram, respectivamente, 5,13% e 2,70% do consumo. As demais aplicações – agricultura (1,08%), setor público (0,19%) e outros usos (0,09%) – somaram juntas 1,36% do total consumido (ANP, 2023).

No caso do gás natural, o consumo total no estado alcançou aproximadamente 21,15 milhões de m³ em 2023, com predomínio do setor industrial, responsável por 13,22 milhões de m³ (62,5%). Em seguida, destacam-se os setores comercial e de serviços (4,28 milhões de m³; 20,3%), residencial (2,40 milhões de m³; 11,4%) e cogeração de energia (1,24 milhão de m³; 5,9%) (CEGÁS, 2025). A Figura 9 demonstra o consumo desses combustíveis pelo seu uso em 2023.

Figura 9. Consumo de combustíveis fósseis pelos principais tipo de uso em fontes estacionárias.



Fonte: ICLEI adaptado de ANP, 2023 e CEGÁS, 2025.

4.1.4. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra

• Uso e ocupação da terra

Conforme dados do MapBiomas, em 2023, a cobertura do solo no estado do Ceará foi majoritariamente composta por vegetação natural, com 67,75% da área classificada como Floresta. A categoria de Vegetação Arbustiva e Herbácea teve baixa representatividade, com apenas 0,28% do território. Os corpos d’água cobriram 1,44% do território estadual, mantendo-se como uma fração modesta da paisagem.

A atividade agropecuária correspondeu a 29,10% da cobertura do solo cearense. Desse total, as pastagens ocuparam a maior parte (64,12%), seguidas por áreas de agricultura (13,58%) e mosaicos de usos (22,30%). Não foi registrada silvicultura no estado nesse período (Projeto MapBiomas, 2023).

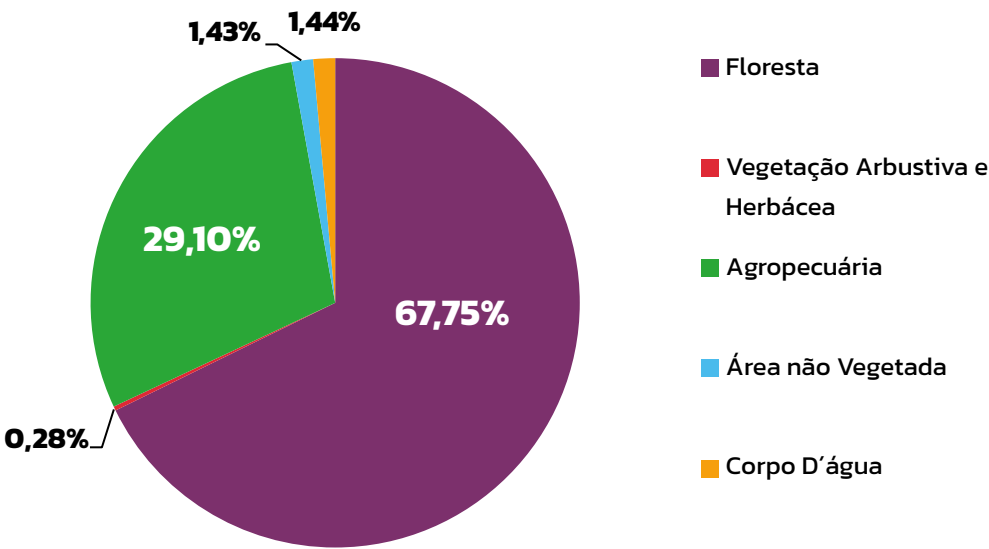
As áreas não vegetadas representaram 1,43% da superfície, sendo compostas, principalmente, por áreas urbanizadas (68,80%), praias (25,32%), mineração (1,34%) e outras áreas não especificadas (4,54%) (Projeto MapBiomas, 2023).

Em relação ao Brasil, no mesmo ano, a cobertura do solo foi majoritariamente por áreas naturais, com destaque para a vegetação florestal, que ocupava 61,47% do território nacional. As atividades agropecuárias corresponderam a aproximadamente 30% da área do país, refletindo a forte presença do setor primário na ocupação territorial. Áreas cobertas por vegetação arbustiva e herbácea representaram 5,72%, enquanto os corpos d’água ocupavam 2,15% da superfície nacional. As áreas não vegetadas somaram 0,66% do território, sendo que, dentro desse grupo, cerca de 65% eram classificadas como áreas urbanizadas (Projeto MapBiomas, 2023).

A nível regional, a distribuição do uso da terra apresenta variações entre os estados nordestinos. Na Bahia, 50% do território era ocupado por cobertura florestal e 45% por atividades agropecuárias. Em Pernambuco, a floresta representava 53% da área, enquanto a

agropecuária abrangia 44%. Por fim, no Piauí, a vegetação florestal predominava de forma mais expressiva, cobrindo 79% do território estadual, enquanto as atividades agropecuárias ocupavam 18% (Projeto MapBiomas, 2023). A **Figura 10** abaixo demonstra a cobertura e uso da terra no Ceará.

Figura 10. Cobertura e uso da terra no Ceará em 2023.

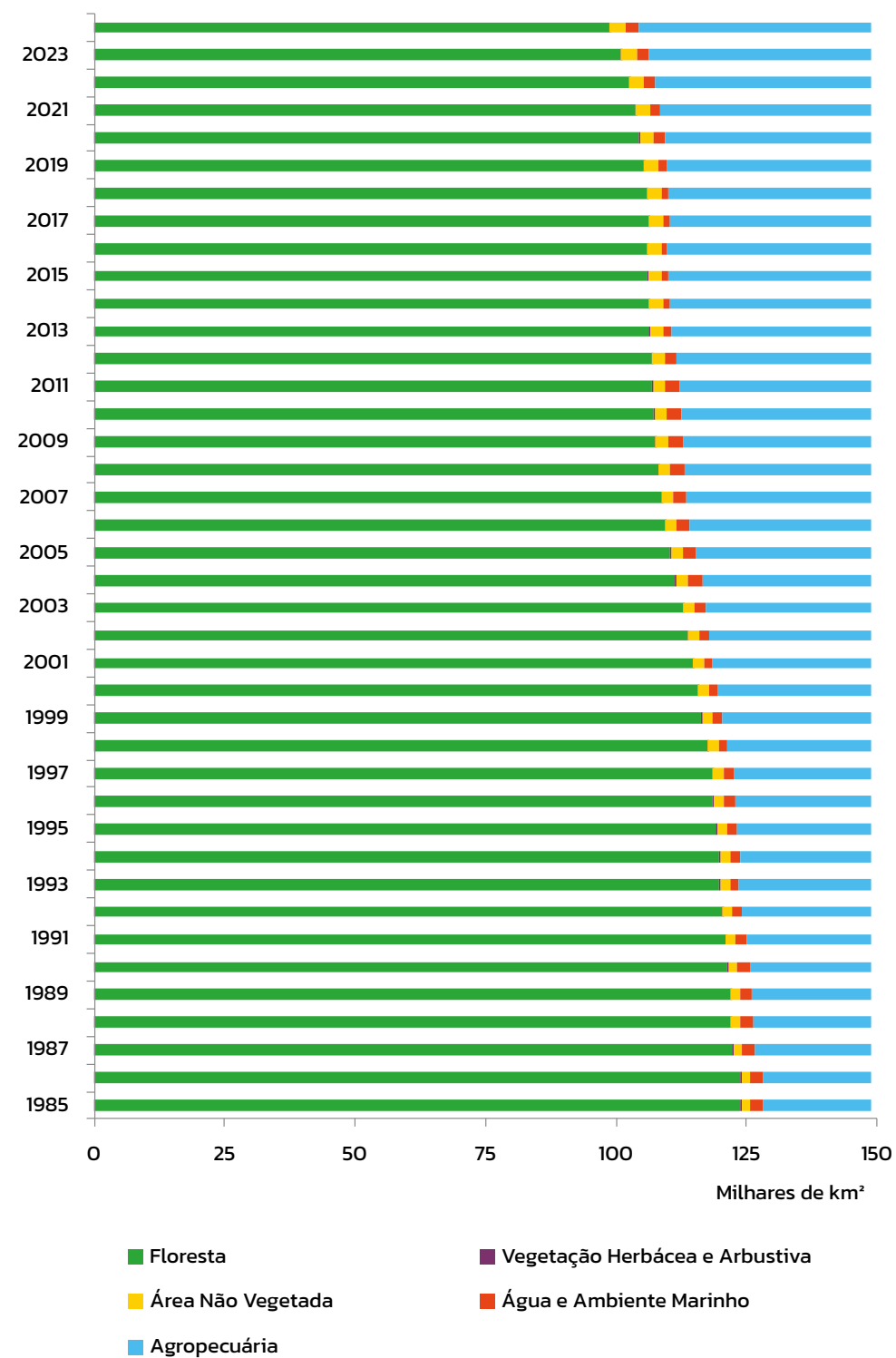


Fonte: ICLEI adaptado de Projeto MapBiomas, 2023.

Isto é, o Ceará apresenta uma proporção de cobertura vegetal superior à média brasileira e de outros estados nordestinos, como Bahia e Pernambuco, que possuem mais de dez pontos percentuais de uso por atividades agropecuárias.

No entanto, é importante destacar que historicamente, observa-se uma importante redução nas áreas estaduais classificadas como floresta, que passaram a ser destinadas à outros tipos de uso. A **Figura 11** apresenta a evolução das áreas por tipo de classificação no período de 1985 a 2024, na qual se observa uma forte expansão de áreas destinadas à atividades agropecuárias, em detrimento das formações florestais savânicas, que são características da caatinga (Projeto MapBiomas, 2023).

Figura 11. Mudança do uso e ocupação da terra de 1985 a 2024.



Fonte: ICLEI adaptado de Projeto MapBiomass, 2023.

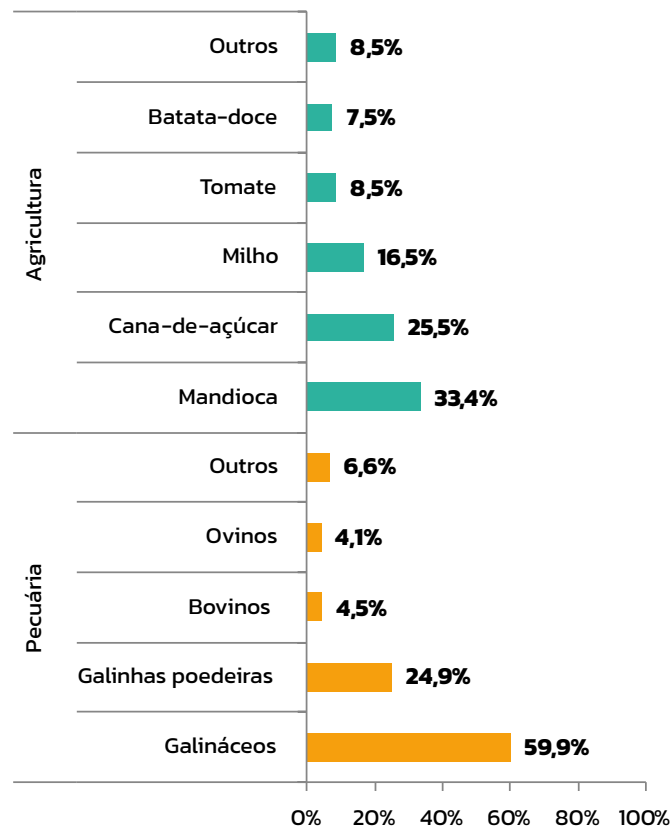
• Agropecuária

Conforme a pesquisa de Produção Agrícola Municipal do IBGE (SIDRA, 2023b), em 2023, a produção agrícola do Ceará destacou-se pela predominância de cultivos como mandioca (33,39%), cana-de-açúcar (25,52%) e milho (16,52%). Outros cultivos de destaque incluíram o tomate (8,48%) e a batata-doce (7,50%). Em menor escala, também foram registradas produções de feijão (3,12%), melão (3,02%), arroz e soja (ambos com 0,88%), sorgo (0,21%), cebola (0,11%) e algodão (0,27%). Culturas como o abacaxi, amendoim, mamona e fumo tiveram participação inferior a 0,1% na produção total.

Quanto ao rebanho animal, por meio da Pesquisa da Pecuária Municipal (SIDRA, 2023a), o setor avícola foi o mais representativo, com os galináceos totalizando 59,90% do efetivo, dos quais 24,93% eram galinhas poedeiras. O rebanho bovino representou 4,45% do total, sendo 1,12% composto por vacas ordenhadas. Os rebanhos ovino e caprino também tiveram relevância, com 4,08% e 1,86%, respectivamente. Já os suínos responderam por 2,05% do rebanho, incluindo 0,35% de matrizes. Outros animais como equinos (0,22%) e codornas (1,03%) compuseram o restante do efetivo pecuário cearense (SIDRA, 2023a).

A Figura 12 demonstra os principais cultivos e rebanhos em 2023 no estado do Ceará.

Figura 12. Principais produções agropecuárias em 2023 no Ceará.



Fonte: ICLEI adaptado de SIDRA, 2023a, 2023b.

A comparação dos dados agropecuários do Brasil e da região Nordeste em 2023 demonstra diferenças na estrutura produtiva e na representatividade de determinadas culturas e criações. No total, a produção agropecuária brasileira somou cerca de 1,19 bilhão de toneladas, enquanto o Nordeste respondeu por aproximadamente 104,5 milhões de toneladas, cerca de 8,8% da produção nacional. A cana-de-açúcar foi o principal produto agrícola tanto no Brasil (66%) quanto no Nordeste (57%) (SIDRA, 2023b).

No tocante à pecuária, o rebanho nordestino representou aproximadamente 281 milhões de cabeças, o que equivale a cerca de 14,7% do efetivo nacional (1,92 bilhão). Embora o número de bovinos seja expressivo, 35,3 milhões no Nordeste (13% do total nacional), a região se destaca pelas criações de caprinos e ovinos, respondendo por 96% e 71% dos rebanhos brasileiros, respectivamente. Os galináceos

representam 74% da produção animal nordestina, alinhando-se à tendência nacional, onde essa categoria responde por 82% do total. O Nordeste também concentra mais de 20% do total de codornas do país, reforçando sua especialização em avicultura de pequeno porte (SIDRA, 2023a).

Assim, a agropecuária do Ceará, marcada pelo cultivo intensivo de mandioca, cana-de-açúcar e milho, e pela predominância da avicultura, tem impacto relevante nas emissões de GEE no estado, o que será tratado no tópico 4.3.

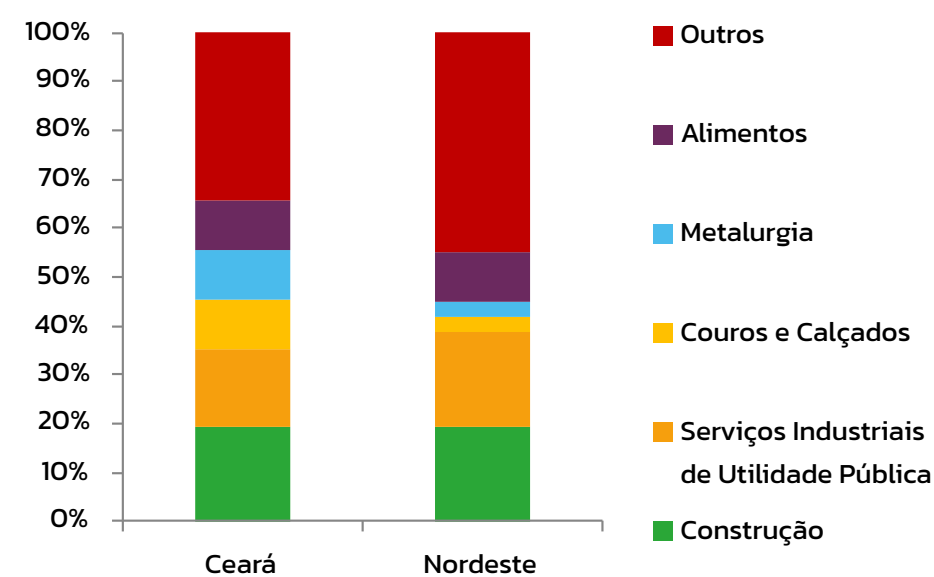
4.1.5. Setores produtivos

Com base nos dados da CNI (2025), o Ceará apresenta um parque industrial de porte médio, com PIB industrial de R\$ 35,2 bilhões, equivalente a 1,5% da indústria nacional e 19% do PIB estadual. A indústria cearense emprega 356,8 mil trabalhadores e reúne cerca de 17,8 mil estabelecimentos, o que representa 3% do total brasileiro. O setor é composto majoritariamente por micro e pequenas empresas (94%), embora as grandes indústrias concentram 43,7% dos empregos, evidenciando um perfil produtivo heterogêneo (CNI, 2025).

Os principais segmentos industriais do estado são Construção (19,1%), Serviços Industriais de Utilidade Pública (16%), Couros e Calçados (10,3%), Metalurgia (10,1%) e Alimentos (10%), que juntos respondem por quase metade da estrutura industrial. A metalurgia, em especial, ganhou destaque na última década, ampliando sua participação em 8,8 pontos percentuais entre 2012 e 2022, impulsionada pela expansão do Complexo do Pecém e da indústria exportadora (CNI, 2025).

A **Figura 13** apresenta as principais indústrias do Ceará e região Nordeste.

Figura 13. Comparativo do perfil industrial do Ceará e Nordeste em 2022.



Fonte: ICLEI adaptado de CNI, 2025.

No contexto regional e nacional, o estado representa 11% do PIB industrial do Nordeste, mas apenas 1,5% do total brasileiro. A participação da indústria no PIB estadual (19%) é inferior à média do Nordeste (20,8%) e significativamente menor que a do Brasil (26,3%), apontando para uma estrutura econômica mais orientada aos serviços (CNI, 2025).

Em termos de exportações, o Ceará se destaca pela pauta industrial: 80,6% das exportações estaduais são de produtos industrializados, principalmente metalúrgicos (52,5%). Entretanto, o estado responde por apenas 0,8% das exportações brasileiras de produtos industrializados, o que revela baixo peso relativo no cenário nacional (CNI, 2025).

O perfil industrial do Ceará, embora mais diversificado e desenvolvido em comparação a outros estados do Nordeste, ainda apresenta desafios no contexto das emissões de GEE. A predominância de setores como construção, alimentos, couros e calçados, metalurgia e utilidades públicas indica uma estrutura produtiva de média intensidade energética, com emissões associadas ao consumo de eletricidade, ao uso de combustíveis fósseis em processos industriais

e à geração de resíduos e efluentes. Assim, a trajetória industrial cearense demanda estratégias voltadas à modernização tecnológica, eficiência energética e descarbonização dos processos produtivos.

4.2. Período coberto pelo inventário

O método GPC recomenda que os inventários cubram, minimamente, um período contínuo de 12 meses, idealmente alinhado a um ano civil ou financeiro, consistente com os períodos comumente usados pelas entidades. Para o IEGEE do Ceará, a presente análise contabiliza as emissões referentes ao período de 2018 a 2023.

4.3. Coleta de dados

A coleta de dados é uma etapa primordial para a construção de qualquer inventário de GEE e, para este Relatório do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Ceará, reflete um esforço contínuo na compilação de informações. A equipe da Coordenadoria de Desenvolvimento Sustentável da Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima do Ceará (CODES-SEMA), com o apoio técnico do ICLEI, realizou o levantamento das informações necessárias, seguindo a segmentação por setores e subsetores propostos pelo GPC, e enviou ofícios às instituições detentoras dos dados. O **Quadro 5** apresenta uma descrição geral dos setores, suas respectivas fontes de emissão e os tipos de órgãos fornecedores de dados.

Quadro 5. Setores e subsetores considerados no IEGEE do Ceará.

Setor	Subsetor	Origem das emissões	Fornecedores de dados
I. Energia Estacionária	I.1. Edifícios residenciais;	Combustão estacionária (consumo de Gás Natural, Gás Liquefeito de Petróleo – GLP e óleo diesel), provenientes do consumo de energia elétrica e consumo de carvão mineral em termelétricas.	ANP CEGÁS ENEL – CE EPE SEMA AECIPP SEINFRA – CE Complexo do PECÉM
	I.2. Edifícios comerciais e institucionais;		
	I.3. Indústrias de manufatura e construção;		
	I.4. Indústria de energia;		
	I.5. Atividades agrícolas, florestais e de pesca.		
II. Transportes	II.1. Rodoviário;	Emissões provenientes de combustão em fontes móveis como automóveis e outros.	ANP ARCE DNIT – CE ANAC DETRAN – CE
	II.2. Aviação;		
	II.3. Hidroviário.		
III. Resíduos	III.1. Disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários e outros tipos de disposição;	Emissões provenientes da disposição de resíduos sólidos urbanos e do tratamento de efluentes sanitários.	SNIS/SINISA Marquise Ambiental CAGECE SAAEs SISAR Fortaleza ASMOC/CGIRS
	III.2. Incineração e queima a céu aberto;		
	III.3. Disposição de efluentes líquidos domésticos (população sem esgotamento sanitário, volume de efluente tratado por tipo de tratamento).		
IV. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)	IV.1. Processos industriais.	Emissões relacionadas com indústrias de transformação, em especial a produção de cimento e aço.	FIEC AECIPP Outras indústrias da região
V. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)	V.1. Rebanhos: (bovinos, equinos, caprinos, ovinos e suínos); V.2. Uso da terra: (supressão e remoção vegetal); V.3. Emissões agregadas e outras de não-CO2 (aplicação de calcário, ureia e nitrogênio).	Emissões provenientes dos processos digestivos da pecuária (animais ruminantes), manejo de nutrientes para fins agrícolas, desmatamento e aplicação de fertilizantes.	MAPBIOMAS SEEG IBGE – SIDRA ANDRA ABRACAL ÚNICA

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Para a coleta de dados, a SEMA enviou ofícios, com apoio do ICLEI, às instituições detentoras dos dados, solicitando as informações das atividades emissoras no Ceará entre 2018 e 2023. Na ocasião de existir dados públicos, estes foram coletados de fontes como IBGE para agropecuária, SNIS/SINISA para resíduos sólidos, MapBiomas para transição de uso da terra, UNICA para a produção de cana-de-açúcar e etanol, e as estimativas do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) para o setor de Mudança do Uso da Terra e Floresta.

Para a elaboração e cálculo das estimativas de emissões, foi utilizada a plataforma *WayCarbon Ecosystem*. Essa ferramenta possui um banco de dados com fatores de emissão segundo o IPCC e permite a inserção e tratamento dos dados de atividade, auxiliando na visualização dos resultados por setor, escopo e ano, de forma a identificar oportunidades de redução e monitorar a eficácia das ações de mitigação. A parametrização da ferramenta e o uso dos dados de atividade disponíveis no *WayCarbon Ecosystem* permitiram a preparação dos gráficos e análises contidos neste relatório.

Ressalta-se que este relatório consolidado foi elaborado a partir do melhor conjunto de informações disponíveis em escala estadual, considerando dados coletados e validados junto às instituições responsáveis. Ainda assim, reconhece-se que a atualização contínua das bases e o aprimoramento dos sistemas de monitoramento poderão, futuramente, refinar e complementar as análises aqui apresentadas.

As limitações específicas de dados por setor são detalhadas ao longo do Capítulo 6, onde indicamos as lacunas que esperamos preencher nas próximas etapas do projeto, conforme as recomendações delineadas na seção a seguir

4.3.1. Limitações e Recomendações

O processo de coleta de dados para inventários de emissões, especialmente em uma escala estadual abrangente, pode apresentar desafios significativos.

A experiência na elaboração de inventários de GEE e o próprio andamento deste projeto indicam que algumas limitações são recorrentes:

- **Disponibilidade e Fluxo de Informação:** A ausência ou o atraso na disponibilização de dados por parte de algumas instituições é um obstáculo comum, especialmente quando é a primeira vez que um inventário é realizado para determinados dados de atividades que não eram monitorados rotineiramente. A necessidade de redesenhar fluxos de comunicação, muitas vezes devido a mudanças de pontos focais nas instituições parceiras, também pode acarretar em atrasos e demandar esforço adicional da equipe.
- **Fontes de Dados Alternativas e Incerteza:** Na falta de dados primários e específicos, é necessário recorrer a fontes alternativas, como universidades, dados públicos de abrangência nacional (e.g., ANP, IBGE, EPE-BEN, SEEG) ou regionais, ou ainda a recursos matemáticos (como interpolação e extrapolação) para estimar emissões. Embora essenciais para garantir a completude do inventário, essas alternativas podem introduzir um nível de incerteza nas estimativas finais.
- **Ausência de dados locais georreferenciados** sobre cobertura do solo e matrizes de transição de tipo de uso;
- **Ausência de informações sobre consumo de combustíveis fósseis e biomassa** além dos dados disponibilizados pela ANP.

Para mitigar esses desafios e aprimorar as futuras edições do inventário, algumas recomendações são fundamentais:

- **Fortalecimento da Comunicação e Cooperação Institucional:** É crucial que os dados sejam disponibilizados de forma sistematizada, evitando a concentração em indivíduos. Com participação ativa das secretarias e órgãos estaduais relevantes, além de reuniões de alinhamento periódicas.
- **Documentação e Transparência:** A documentação detalhada de todas as atividades realizadas, das fontes de dados utilizadas e das hipóteses assumidas é essencial para a transparência e rastreabilidade do inventário, permitindo futuras revisões e replicações.
- **Melhoria Contínua:** As dificuldades encontradas na obtenção de dados servem como pontos de atenção para aprimoramentos. Para as próximas edições do IEGEE do Ceará, busca-se a melhoria contínua na qualidade e na completude das fontes de dados obtidas. A proatividade em buscar informações estaduais mais detalhadas é um objetivo constante para garantir a robustez e aprimoramento dos dados.

4.4. Gases de Efeito Estufa

De acordo com o GPC, os inventários devem contemplar os diferentes tipos de GEE que fazem parte do reporte do Protocolo de Kyoto, sendo os seis principais: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Cada GEE possui um Potencial de Aquecimento Global (GWP – *Global Warming Potential*) associado, que é a medida do quanto cada gás contribui para o aumento das temperaturas globais. O GWP é um coeficiente relativo que compara o potencial de aquecimento de uma determinada quantidade de gás com a mesma quantidade de CO₂, que, por convenção, tem GWP de valor igual a 1. Assim, o GWP é sempre expresso em termos de equivalência de CO₂ (CO₂e).

Os valores de GWP podem ser atualizados ao longo do tempo de acordo com novas descobertas em termos de estimativa de impacto dos gases. Essas atualizações são reportadas em relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*). A **Tabela 1** apresenta os valores de GWP utilizados no atual IEGEE do Ceará, provenientes do Quinto Relatório de Avaliação (AR5 – *Fifth Assessment Report*) do IPCC (2013).

Os gases listados correspondem aos mais estudados e reconhecidos como de maior relevância para os inventários de emissões, estando diretamente associados às principais atividades antrópicas presentes no estado. Ressalta-se que outros gases de efeito estufa existem, porém não foram incluídos nesta análise por não apresentarem ocorrência significativa nas atividades levantadas no território cearense.

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) dos Gases de Efeito Estufa.

Gás de Efeito Estufa (GEE)	GWP
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido Nitroso (N ₂ O)	265
Trifluoreto de Nitrogênio (NF ₃) ³	16.100
Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆)	23.500
Hidrofluorcarbono (HFCs)	116 – 12.400
Perfluorcarbono (PFCs)	6.300 – 17.400

Fonte: IPCC, 2013.

Os principais GEE e suas atividades geradoras podem ser observados abaixo no **Quadro 6**:

Quadro 6. Principais GEE e suas atividades geradoras.

CO ₂	Gerado na queima de combustíveis fósseis (como carvão, petróleo, gás natural e seus derivados) por fontes móveis e estacionárias, em processos industriais, pelo uso de fertilizantes calcário dolomítico e ureia e pelo desmatamento de floresta nativa.
CH ₄	Gerado na queima de combustíveis por fontes móveis e estacionárias, na decomposição de matéria orgânica em processos de tratamento anaeróbico de efluentes e resíduos sólidos, fermentação entérica de animais e manejo de dejetos animais.
N ₂ O	Gerado na queima de combustíveis por fontes móveis e estacionárias, em processos de tratamento de efluentes e uso de fertilizantes nitrogenados.

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

3 Apesar do NF3 estar listado entre os gases de referência, não foi considerado neste inventário por não apresentar fontes significativas de emissão nas atividades antrópicas identificadas no Estado do Ceará.

4.5. Método de Cálculo

Os fatores de emissão utilizados para cada tipo de fonte foram coletados em bases nacionais, como o 4º Inventário Nacional (MCTI, 2021) e, quando não disponíveis, em bases de dados internacionais, como os relatórios do IPCC. De maneira simplificada, as estimativas de emissões e remoções podem ser calculadas a partir do uso da fórmula geral a seguir:

$$E_{i,g,y} = DA_{i,y} * FE_{i,g,y} * GWP_g$$

Em que:

- **I** – Índice que denota uma atividade da fonte ou sumidouro individual;
- **G** – Índice que denota o tipo de GEE;
- **Y** – Ano de referência do relatório;
- **E_{i,g,y}** – Emissões ou remoções de GEE g atribuível à fonte ou sumidouro *i* durante o ano *y*, em tCO₂e;
- **DA_{i,y}** – Dado de atividade consolidado referente à fonte ou sumidouro *i* durante o ano *y*;
- **FE_{i,g,y}** – Fator de emissão ou remoção de GEE g atribuível à fonte ou sumidouro *i* durante o ano *y*, em t GEE g/u;
- **GWP_g** – Potencial de aquecimento global de GEE *g*, em tCO₂e/ t GEE *g*.

O IEGEE do Ceará foi elaborado com o apoio do *software WayCarbon Ecosystem*, que possui um banco de dados com os fatores de emissão para cada tipo de fonte. Os dados coletados foram inseridos e processados nessa ferramenta, previamente parametrizada pela equipe técnica, permitindo o ajuste das unidades de medida e a visualização dos resultados de diferentes maneiras: desagregadas por setor ou subsetor de emissão, por escopo, por ano de emissão, entre outras. Consumos de combustíveis como gasolina e diesel também consideraram a variação do percentual de biocombustíveis em suas composições.



RESULTADOS DO INVENTÁRIO

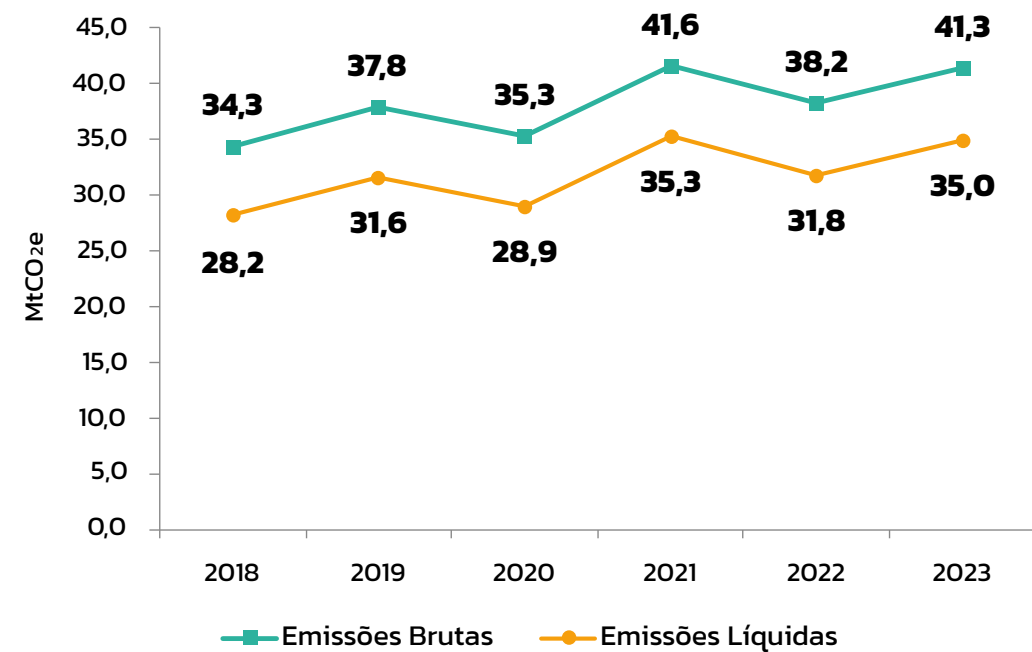
Este capítulo apresenta os resultados do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Ceará para o período de 2018 a 2023. As informações aqui contidas são o produto de uma avaliação abrangente realizada a partir dos dados de atividades coletadas e as estimativas de emissões consolidadas de acordo com o método GPC, fornecendo uma base sólida para a compreensão do perfil de emissões de GEE do Ceará.

Recapitulando, as emissões brutas representam o total de GEE liberados pelas atividades humanas, enquanto as emissões líquidas correspondem ao saldo entre essas emissões e as remoções de carbono realizadas por sumidouros naturais, como florestas, conforme a equação abaixo:

EMISSIONS LIQUIDAS = EMISSIONS BRUTAS - REMOÇÕES DE CARBONO

No período analisado, 2018 a 2023, o Estado do Ceará registrou um expressivo crescimento 20,4% nas emissões brutas e de 24,1% nas emissões líquidas, conforme apresentado na **Figura 14**, que apresenta as variações, na qual se destaca a tendência de crescimento observada no período analisado, realçando as contribuições nos anos de 2021 e 2023.

Figura 14. Evolução das emissões de GEE para o estado do Ceará (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Ao longo da série histórica, as emissões brutas no Estado do Ceará evoluíram de 34,32 MtCO₂e em 2018 para 41,32 MtCO₂e em 2023, após oscilações marcadas por retração de 7% em 2020 e expansão de cerca de 18% em 2021. Esse comportamento está muito relacionado com reduções no consumo de combustíveis no setor de energia e na redução do desmatamento no primeiro ano da pandemia COVID-19, aspectos que serão posteriormente detalhados nas análises setoriais. Já as emissões líquidas acompanharam uma trajetória semelhante, partindo de 28,17 MtCO₂e em 2018, as emissões líquidas atingiram 34,97 MtCO₂e em 2023. Nesse intervalo, registraram o menor valor em 2020 e o maior em 2021, também refletindo a influência da pandemia nas dinâmicas econômicas e produtivas. A **Tabela 2** detalha a evolução anual das emissões brutas e líquidas no Ceará durante o período analisado.

Tabela 2. Evolução anual das emissões brutas e líquidas no Ceará (2018 – 2023).

Ano	Milhões de toneladas de CO ₂ e (MtCO ₂ e)	
	Emissões Brutas	Emissões Líquidas
2018	34,32	28,17
2019	37,83	31,58
2020	35,27	28,95
2021	41,64	35,26
2022	38,19	31,82
2023	41,32	34,97

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

5.1. Resultados do Inventário por escopo

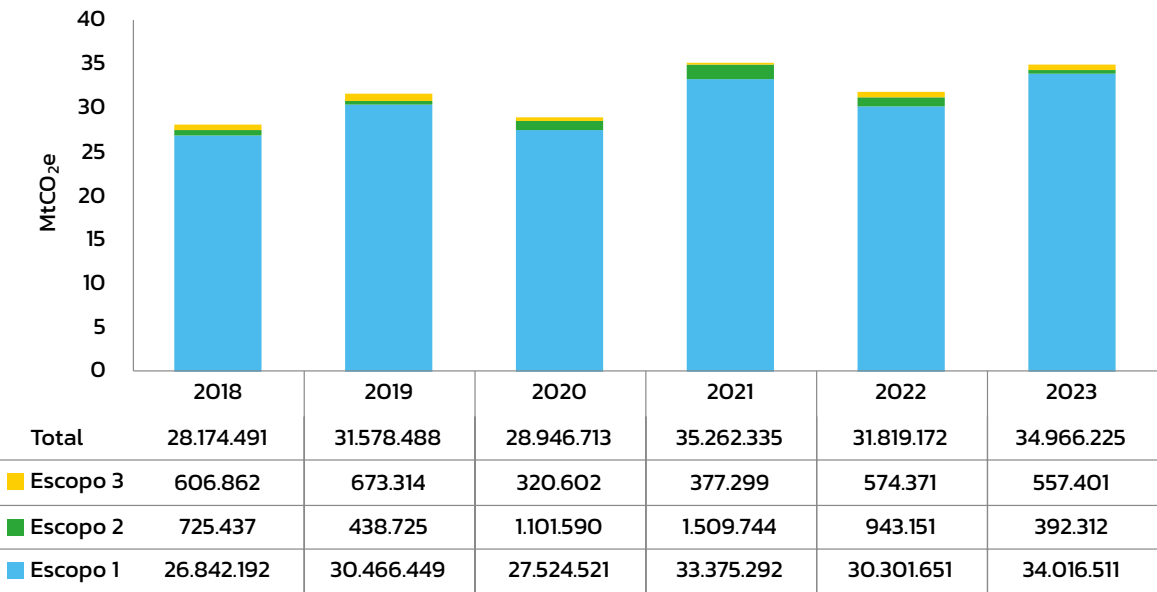
As emissões líquidas de GEE do Estado do Ceará totalizaram 190,7 milhões de tCO₂e considerando a soma das contribuições de cada ano entre 2018 e 2023, com uma média anual de 31,8 milhões de tCO₂e e um crescimento acumulado de 24% ao longo do período.

Ao se analisar essas emissões de acordo com os escopos do GPC, que caracterizam se as emissões são diretas ou indiretas e sua territorialidade, observa-se uma predominância de emissões consideradas de Escopo 1 que compreende as emissões diretas provenientes de atividades fontes de emissão que ocorrem no território, como a queima de combustíveis fósseis, processos industriais e agropecuária. Este escopo respondeu por 96% das emissões totais com crescimento de 27% no período (de 26,8 milhões em 2018 para 34,0 milhões em 2023). Esse aumento está fortemente associado ao crescimento das emissões dos setores de Energia Estacionária, IPPU e AFOLU.

O Escopo 2, referente às emissões indiretas associadas ao consumo de energia elétrica adquirida, apresentou comportamento irregular e baixa representatividade no total, 3% das emissões. Embora tenha atingido picos em 2020 e 2021 (1,1 e 1,5 milhão tCO₂e, respectivamente), encerrou 2023 com 392 mil tCO₂e.

Por fim, o Escopo 3, que abrange emissões indiretas (como transporte aéreo e perdas de energia elétrica por transmissão e distribuição), representou apenas 2% do total, com tendência de redução (-8%) entre 2018 e 2023. A **Figura 15** apresenta o comportamento das emissões por escopo para o período analisado.

Figura 15. Emissões de GEE por escopo do Ceará (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

5.2. Principais atividades emissoras

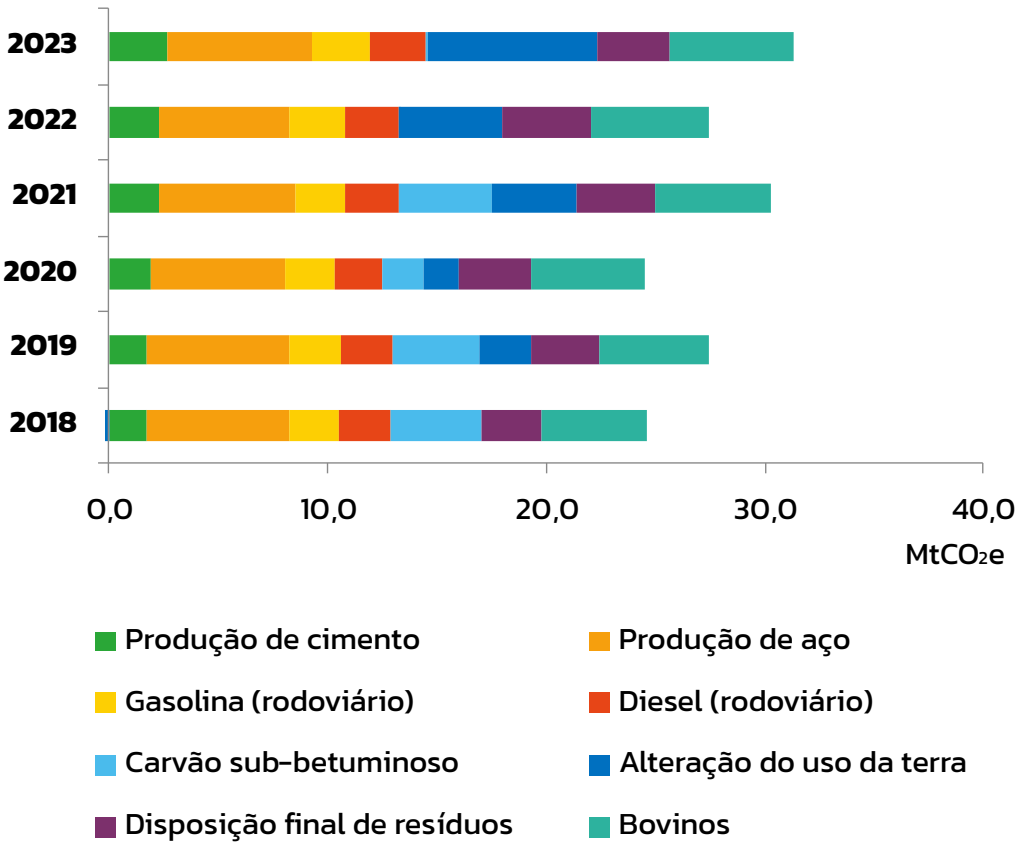
Em uma análise voltada a compreender as principais atividades responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa, utilizando as lógicas setoriais previstas pelo protocolo GPC, busca-se fornecer suporte aos tomadores de decisão na priorização de ações estratégicas a serem implementadas no território. Nesse contexto, foram identificadas as oito principais fontes emissoras que mais contribuíram para as emissões estaduais. Entre elas, destacam-se consistentemente, ao longo dos anos, a produção de aço, a criação de bovinos e o manejo de resíduos sólidos.

A partir de 2021, com o aumento das emissões resultantes de mudanças no uso da terra, principalmente devido ao desmatamento, essa atividade passou a ganhar maior relevância, tornando-se a principal fonte emissora no estado em 2023.

Já o consumo de carvão, atividade relevante até 2021, apresentou uma redução de 97% nas emissões nos anos seguintes, decorrente da não utilização desta fonte para geração de energia elétrica nas termelétricas estaduais, em função da expansão de fontes renováveis.

Outras categorias, como a produção de cimento e consumo de óleo diesel e gasolina no transporte rodoviário também se configuram como grande contribuidores para a intensificação do efeito estufa no estado. A **Figura 16** apresenta as atividades fontes de emissão e suas respectivas contribuições para o período de 2018 a 2023.

Figura 16. Principais atividades emissoras do Ceará (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.



ANÁLISE DOS RESULTADOS POR SETOR

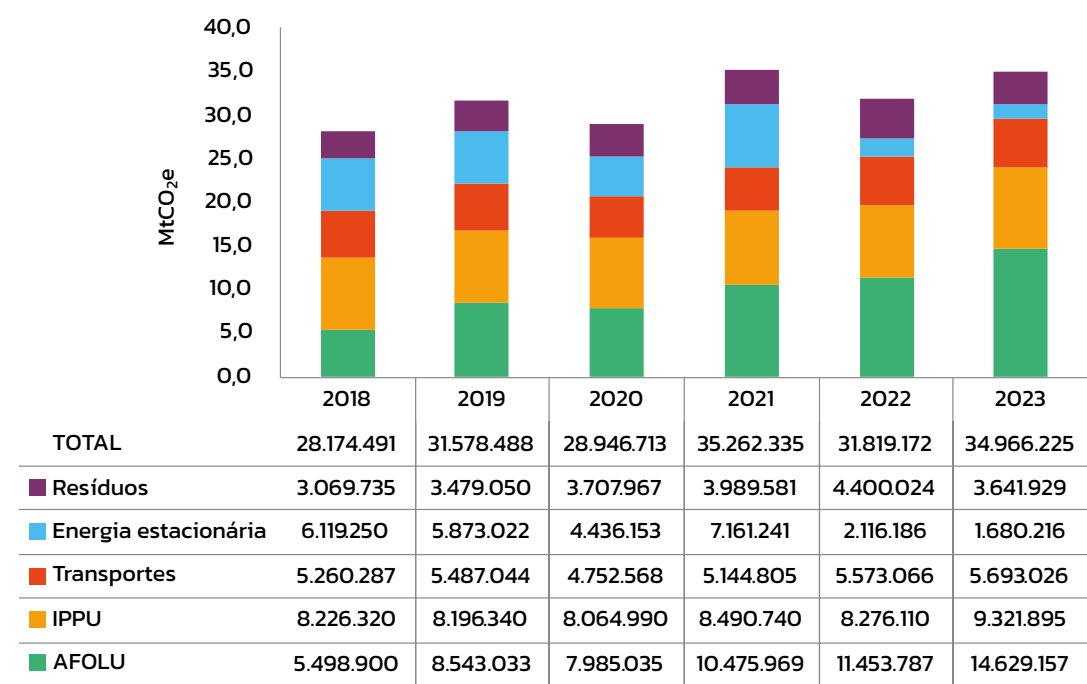
Este capítulo aprofunda a análise dos resultados do Inventário de Gases de Efeito Estufa do Ceará, examinando as emissões por setor de atividade para o período de 2018 a 2023. A compreensão do perfil de emissões de cada setor é fundamental para direcionar de forma estratégica as políticas públicas e as ações de mitigação, promovendo um desenvolvimento mais sustentável e alinhado aos compromissos climáticos do estado.

Para esta avaliação, foram considerados os seguintes setores de acordo com o GPC: Transportes, Energia Estacionária, Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU), Resíduos e Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU).

A evolução das emissões líquidas do estado do Ceará, desagregado por setor para cada ano da série histórica, é apresentado na **Figura 17**.

Nota-se que os setores se comportaram de maneira bastante distintas ao longo do período analisado, onde as emissões associadas com AFOLU apresentaram um crescimento muito marcante, de 166%, entre os anos de 2018 a 2023, impulsionado pela intensificação das atividades agropecuárias e pela conversão de áreas de vegetação. Já os setores de IPPU, resíduos e transportes apresentaram oscilações ao longo dos anos, mas apresentando uma leve tendência de crescimento no período. Por fim, o setor de energia estacionária apresentou uma importante redução de 73% no período analisado, evidenciada por uma redução drástica do consumo de carvão nas termelétricas.

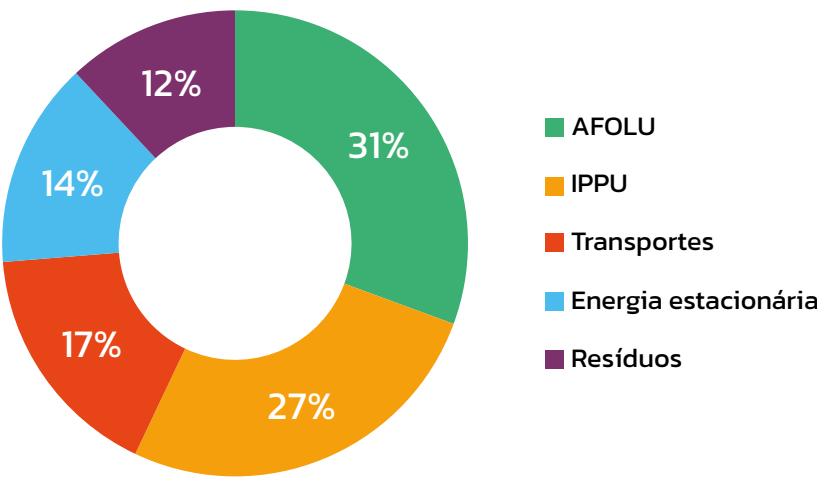
Figura 17. Perfil das emissões líquidas por setor (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O perfil estadual considerando a média de contribuição de cada setor pode ser observado na **Figura 18**. Observa-se que ao se considerar a contribuição média de cada setor entre os anos de 2018 a 2023, AFOLU se caracteriza como a principal fonte de emissão estadual, seguido das contribuições de processos industriais e uso de produtos, transportes, energia estacionária e o setor de resíduos como o de menor contribuição.

Figura 18. Perfil da média de emissões líquidas do Ceará (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A seguir, cada setor será analisado em profundidade, detalhando as principais fontes de emissão, suas tendências e o impacto geral no balanço de GEE do estado.

6.1. Setor AFOLU

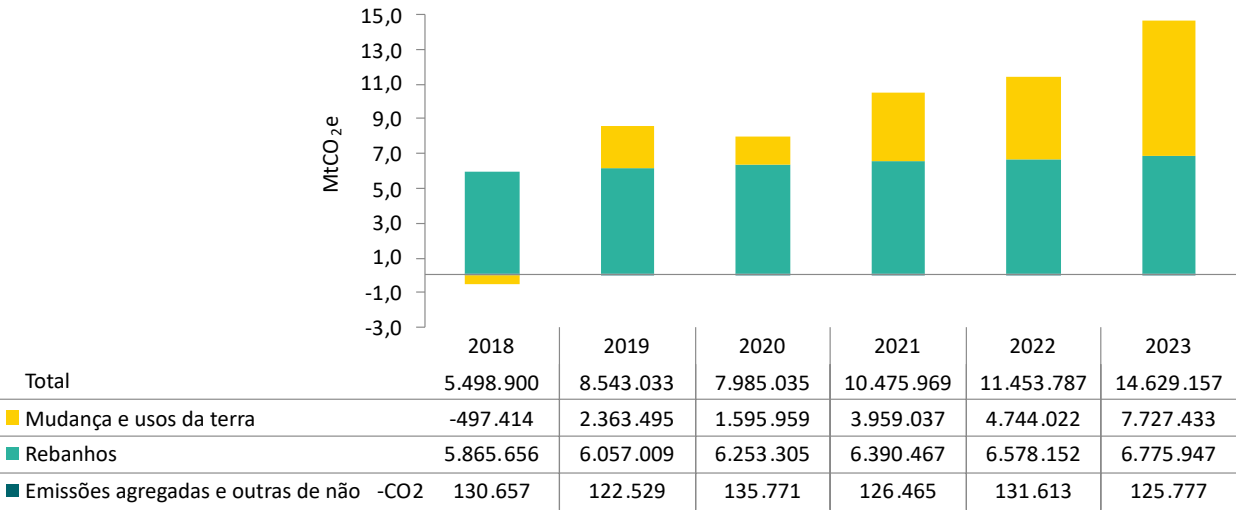
O setor AFOLU (Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra) desempenha um papel central no balanço de GEE do Ceará, pois compreende tanto fontes de emissão quanto processos de remoção de carbono da atmosfera. As atividades neste setor incluem a pecuária, o cultivo agrícola, as mudanças no uso e cobertura do solo, e a manutenção e recuperação de áreas vegetadas. No GPC, as emissões deste setor são consideradas apenas de Escopo 1.

No processo de coleta de dados do IEGEE do Ceará, não foi possível obter informações georreferenciadas sobre o uso do solo com base nos dados fornecidos pela SEMA. Diante dessa limitação, optou-se por utilizar como referência para o inventário estadual as emissões apresentadas na plataforma SEEG, na qual têm-se uma descrição detalhada de atividades fontes de emissão e remoções relacionadas com a mudança do uso da terra no território cearense.

A análise da série histórica revela uma trajetória de crescimento significativo, com as emissões passando de 5,5 MtCO₂e em 2018 para 14,62 MtCO₂e em 2023, o que representa um aumento de 166% no período.

A **Figura 19** detalha e ilustra as emissões por subsetor, evidenciando os principais impulsionadores dessa dinâmica.

Figura 19. Emissões líquidas do setor de AFOLU por subsetor (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O subsetor de rebanhos foi o principal responsável pelas emissões, somando 37,92 MtCO₂e, o equivalente a 65% do total, ao se considerar todos os anos. Suas emissões cresceram 16% ao longo da série histórica, impulsionadas pela fermentação entérica e pelo manejo de dejetos animais, refletindo a expansão gradual da atividade pecuária.

Em seguida, o subsetor de mudança e uso da terra apresentou forte variação no período, partindo de uma remoção líquida de -497.414 tCO₂e em 2018 para emissões de 7,73 MtCO₂e em 2023, acumulando 19,89 MtCO₂e no total. Esse resultado corresponde a um aumento de 1.654%, associado sobretudo à conversão de áreas de formações florestais savânicas para áreas de uso agropecuário, evidenciando a pressão sobre os ecossistemas e a limitação das capacidades de remoção de carbono pela vegetação.

Por fim, as emissões agregadas e outras de não-CO₂ registraram uma leve redução de 4% no período, totalizando 772.812 tCO₂e. Esse subsetor inclui fontes diversas, como o manejo de solos agrícolas e a queima de resíduos, que se mantiveram relativamente estáveis na série analisada.

6.1.1. Uso da Terra

O subsetor de Uso da Terra é um dos principais determinantes do perfil de emissões líquidas do Ceará. Ela engloba tanto as emissões provenientes de atividades que liberam carbono (como o desmatamento) quanto às remoções de carbono por meio de sumidouros (como a manutenção de áreas protegidas e a regeneração de vegetação secundária). A **Tabela 3** apresenta o detalhamento das emissões e remoções do subsetor, com base nos dados do SEEG.

Tabela 3. Emissões e remoções do subsetor uso da terra.

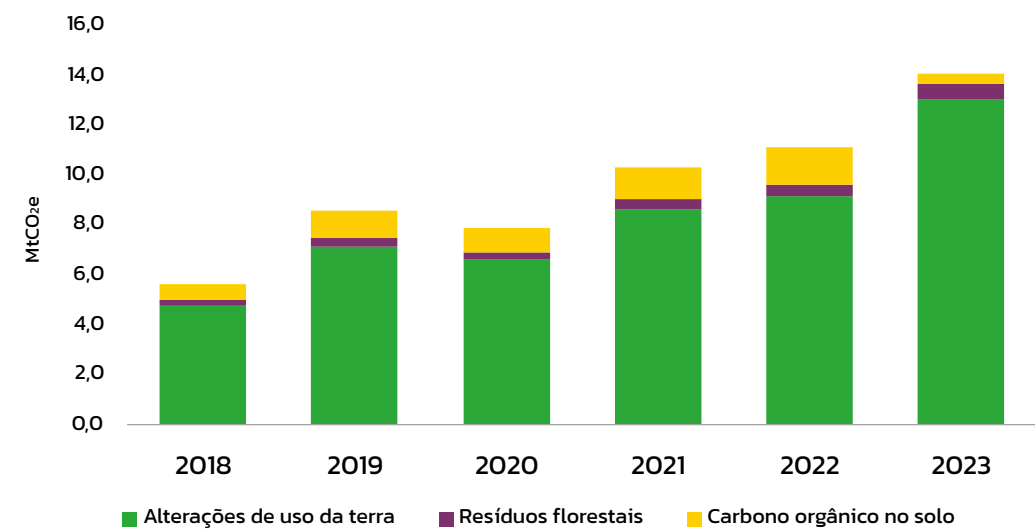
Componente	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Alterações de uso da terra	4.793.881	7.164.730	6.620.802	8.623.466	9.172.228	13.034.832
Resíduos florestais	199.280	327.354	300.326	411.973	442.284	631.033
Carbono orgânico no solo	657.253	1.123.546	1.002.316	1.306.134	1.504.285	419.044
Remoção por mudança de uso da terra	-24.729	-21.434	-14.562	-11.690	-6.393	-8.264
Remoção em áreas protegidas	-307.207	-307.327	-306.026	-306.486	-304.985	-304.130
Remoção por vegetação secundária	-5.815.892	-5.923.374	-6.006.897	-6.064.360	-6.063.397	-6.045.082

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

As emissões pela alteração do uso da terra, em especial o desmatamento, permanece como um dos componentes mais impactantes das emissões, elas cresceram de 4,79 MtCO₂e em 2018 para 13,3 MtCO₂e em 2023, um aumento de 172%, associado principalmente à conversão de áreas naturais em usos agropecuários e áreas sem vegetação, que podem estar relacionadas com a expansão das usinas eólicas no estado. Destaca-se que 97% das emissões nesta categoria são oriundas da transição para uso agrícola e pecuário.

As emissões provenientes de resíduos florestais e de carbono orgânico no solo também contribuíram, somando, respectivamente, 2,31 MtCO₂e (crescimento de 217%) e 6,01 MtCO₂e, embora este último tenha apresentado queda de 36% no período, conforme apresentado na **Figura 20**.

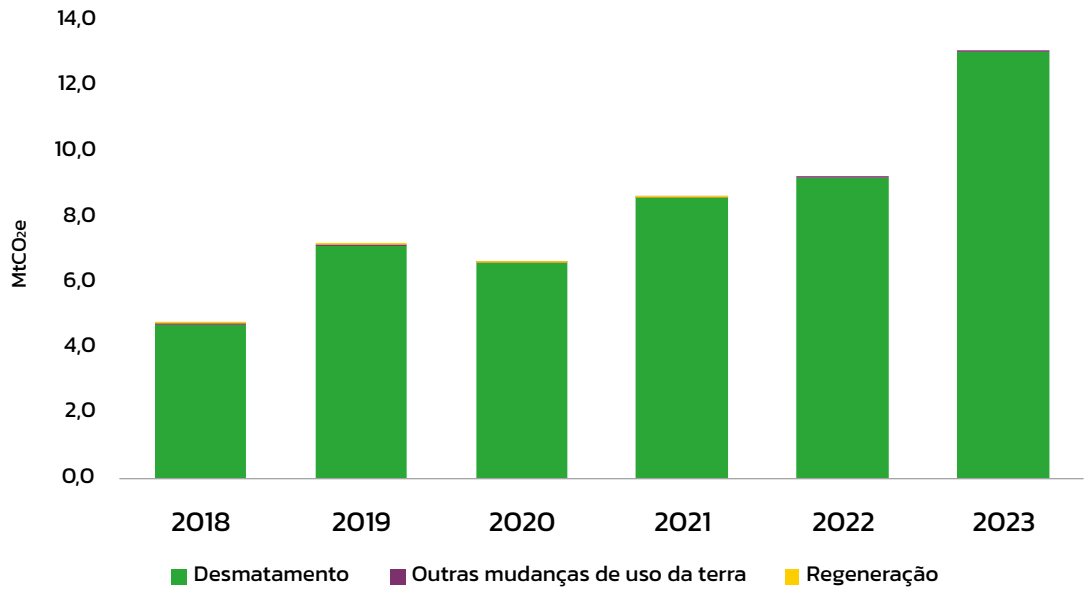
Figura 20. Emissões e remoções das atividades de mudança do uso da terra (2018–2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Essa dinâmica reforça o protagonismo do desmatamento na elevação das emissões do subsetor, destacando a urgência de políticas públicas voltadas à contenção da perda de cobertura vegetal e ao fortalecimento de iniciativas de conservação e restauração de ecossistemas. A **Figura 21** demonstra as principais atividades emissoras do subsetor de mudança do uso da terra.

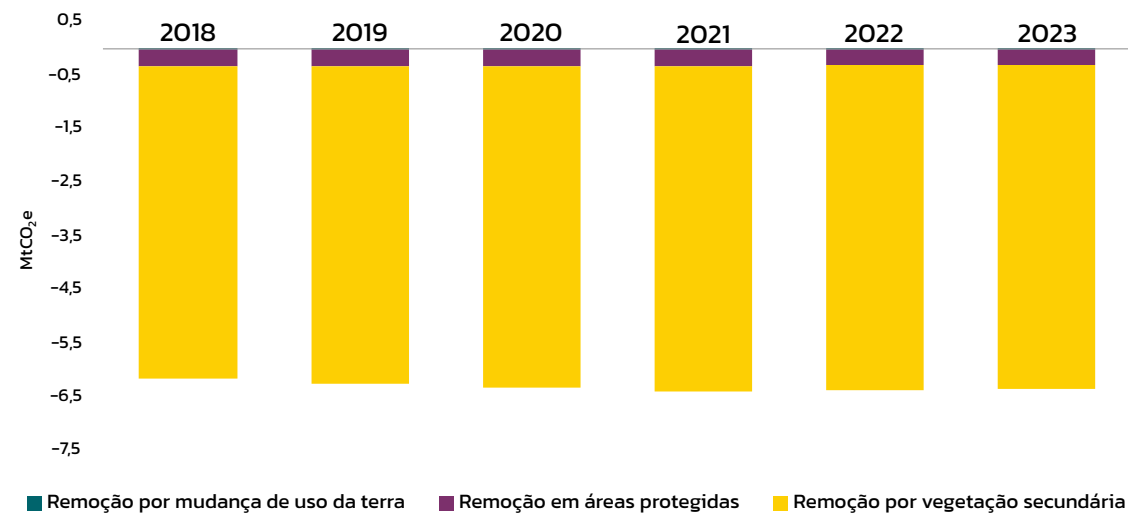
Figura 21. Emissões das atividades de mudança do uso da terra (2018–2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Em contrapartida, os sumidouros de carbono desempenharam papel importante na compensação parcial dessas emissões. A remoção por vegetação secundária foi o principal destaque, totalizando –35,92 MtCO₂e no período, com leve incremento de 4% na capacidade de sequestro entre 2018 e 2023. Já a remoção em áreas protegidas manteve-se relativamente estável, com média anual de –0,306 MtCO₂e, enquanto a remoção por mudança de uso da terra representou um volume mais modesto (–0,087 MtCO₂e no total), conforme apresentado na **Figura 22**.

Figura 22. Remoções das atividades de Uso da Terra (2018–2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O balanço líquido do subsetor revela uma trajetória de forte variação, passando de uma contribuição negativa de 0,497 MtCO₂e em 2018 para a emissão líquida 7,73 MtCO₂e em 2023, o que corresponde a um aumento de 1.654%. Essa evolução evidencia que, apesar da contribuição crescente dos sumidouros, as emissões brutas ligadas às alterações de uso da terra superaram de forma significativa a capacidade de remoção, reforçando a urgência de medidas mais eficazes de conservação e restauração ambiental.

6.1.2. Rebanhos

As emissões provenientes do subsetor Rebanhos são predominantemente geradas pela fermentação entérica (digestão de animais ruminantes) e pelo manejo de dejetos animais. A Tabela 4 apresenta o detalhamento das emissões por tipo de rebanho.

Tabela 4. Emissões por tipo de rebanho.

Rebanho	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Outros rebanhos	328.633	335.809	349.810	355.797	365.412	372.109
Ovinos	680.245	698.409	722.392	733.720	746.868	746.153
Bovinos	4.856.779	5.022.791	5.181.103	5.300.950	5.465.873	5.657.684

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

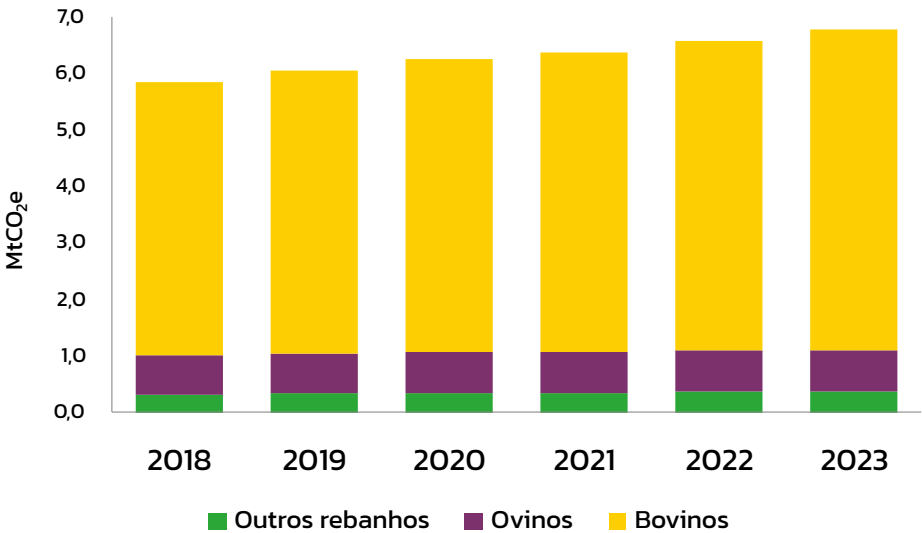
Os bovinos são, de forma destacada, os maiores contribuintes para as emissões do subsetor de rebanhos. Suas emissões cresceram 16% no período, passando de 4,86 MtCO₂e em 2018 para 5,66 MtCO₂e em 2023, o que reflete a relevância da pecuária bovina no perfil de emissões do Estado.

Na sequência, os Ovinos apresentaram uma variação positiva de 10% no intervalo analisado. Esse crescimento contínuo reforça o peso da atividade na matriz agropecuária regional.

Por fim, a categoria Outros Rebanhos – que inclui aves, caprinos, equinos, suínos e búfalos – apresentou aumento de 13% entre 2018 e 2023.

A Figura 23 ilustra a evolução das emissões por tipo de rebanho no setor AFOLU.

Figura 23. Emissões por tipo de rebanho (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

6.1.3. Emissões agregadas e outras de não-CO2

Este subsetor abrange diversas fontes de emissão menores no setor AFOLU, mas que, em conjunto, contribuem para o panorama geral. A Tabela 5 detalha as emissões por tipo de atividade.

Tabela 5. Emissões por tipo de atividade.

Emissões agregadas e outras de não-CO ₂	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Arroz	46.111	37.044	37.178	39.747	39.379	38.610
Resíduos agrícolas	75.958	76.522	89.208	77.632	80.150	74.375
Calcário dolomítico	-	-	143	191	542	429
Outros cultivos	8.589	8.963	9.241	8.895	11.541	12.363

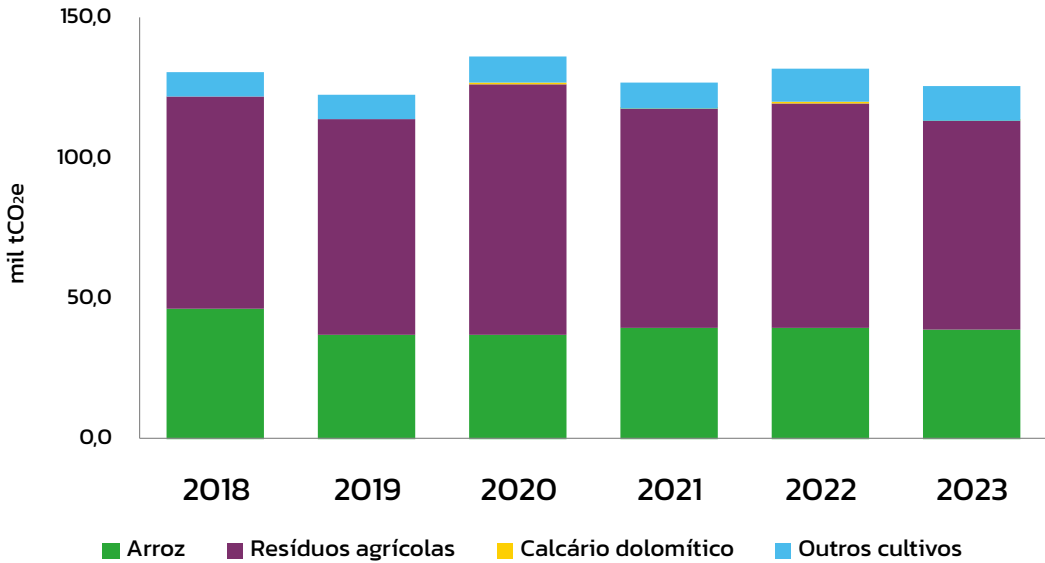
Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

No subsetor de Emissões agregadas e outras de não-CO₂, os Resíduos Agrícolas se destacam como a principal fonte, respondendo por 473.845 tCO₂e no acumulado entre 2018 e 2023, embora tenham apresentado uma leve redução de 2% no período. O cultivo de Arroz aparece como a segunda maior contribuição, totalizando 238.069 tCO₂e, mas com uma queda mais expressiva de 16%, indicando retração dessa atividade.

Os Outros Cultivos (grãos genéricos, mandioca, soja e sorgo) registraram crescimento de 44%, passando de 8.589 tCO₂e em 2018 para 12.363 tCO₂e em 2023, totalizando 59.592 tCO₂e no período, o que demonstra diversificação gradual das fontes de emissão agrícolas. Já o uso de Calcário Dolomítico, sem registro em 2018 e 2019, passou a ser reportado a partir de 2020, alcançando 1.305 tCO₂e no acumulado, o que reflete práticas agrícolas que contribuem para emissões adicionais.

De forma geral, o subsetor apresentou uma redução de 4% nas emissões totais entre 2018 e 2023, encerrando o período em 125.777 tCO₂e, o que evidencia certa estabilidade, apesar das variações entre as categorias. A Figura 24 ilustra as emissões por tipo de atividade.

Figura 24. Emissões por tipo de atividade (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

6.2. Setor IPPU

O setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) contabiliza as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes de transformações físico-químicas de materiais em processos industriais e do uso de gases fluorados em produtos. Este setor reflete a pegada de carbono associada à atividade manufatureira e a certas aplicações específicas de produtos. Para a elaboração do atual inventário, foram obtidas informações relacionadas com a produção de aço e produção de cimento.

No contexto global, a produção de ferro e aço é uma das maiores fontes industriais de emissões de GEE, responsável por cerca de 7% a 9% das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia. As emissões resultam principalmente do uso de carvão e coque nos altos-fornos (90% das emissões do setor provêm de processos integrados baseados em carvão), com fatores médios de 1,8 a 2,2 tCO₂ por tonelada de aço produzido. Processos mais eficientes, como os fornos elétricos a arco (EAF), apresentam intensidades bem menores, entre 0,3 e 0,7 tCO₂/t (Kim *et al.*, 2022).

De forma semelhante, o setor de cimento também contribui para as emissões industriais, sendo responsável por aproximadamente 7% a 8% das emissões globais de CO₂. Essas emissões derivam tanto da calcinação do clínquer, processo químico da produção do cimento, quanto da queima de combustíveis fósseis nos fornos. Estimativas apontam que 60% das emissões do setor resultam da decomposição do calcário e 40% do uso energético (Chen *et al.*, 2022).

De acordo com informações apresentadas no Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), as atividades relacionadas com as indústrias minerais e de metalurgia foram responsáveis por 84% das emissões no setor (SIRENE, 2025). De modo que se entende que apesar do presente inventário não apresentar informações para todos os setores produtivos, sua fração mais impactante em termos de emissões estão devidamente representadas.

Para o setor de IPPU no Ceará, o GPC prevê apenas a contabilização de emissões de escopo 1. A análise da trajetória desse setor mostra um aumento significativo de 13,3% nas emissões entre 2018 (8,2

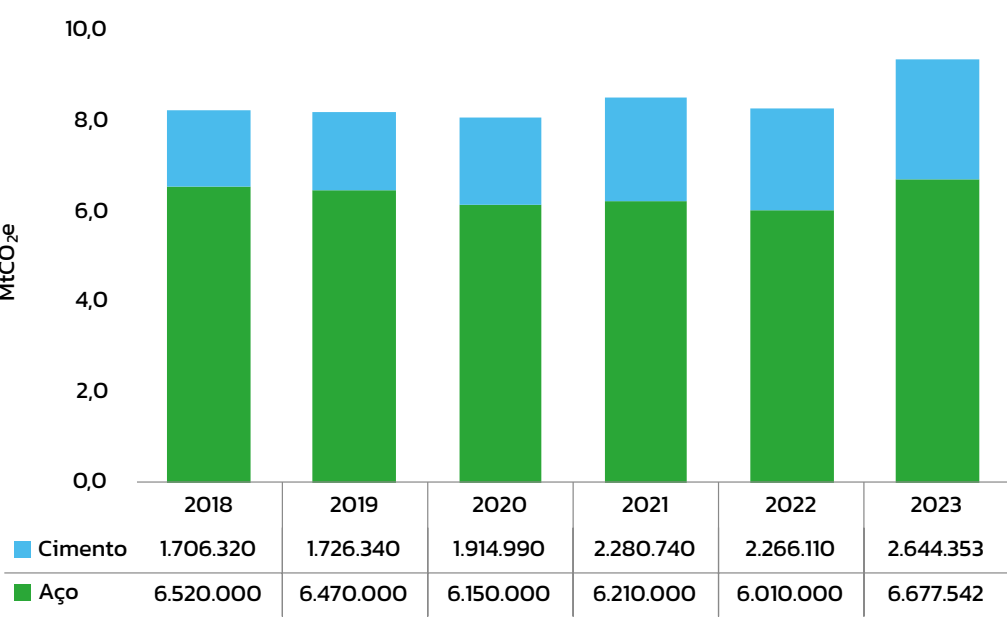
MtCO₂e) e 2023 (9,3 MtCO₂e), indicando um crescimento na produção industrial no estado.

No setor de IPPU, a produção de aço desponta como a principal fonte de emissões, representando 75% do total setorial no período analisado. Entre 2018 e 2023, suas emissões oscilaram de 6,5 MtCO₂e para 6,67 MtCO₂e, registrando um crescimento moderado de 2,4%. Embora tenha ocorrido um aumento na produção de aço, medidas locais vêm sendo implementadas para reduzir as emissões de GEE no processo produtivo. Como resultado, o indicador de intensidade de emissões (tCO₂e por tonelada de aço produzido) vem diminuindo gradativamente ao longo dos anos, o que representa um avanço positivo para o estado e sua trajetória de redução de emissões.

Por outro lado, a produção de cimento, responsável por 25% das emissões setoriais, apresentou um crescimento expressivo de 55% no mesmo período, passando de 1,7 MtCO₂e em 2018 para 2,6 MtCO₂e em 2023. Tal aumento reflete a expansão das atividades ligadas à construção civil e ao desenvolvimento de infraestrutura no estado.

A **Figura 25** detalha a evolução das emissões de GEE por tipo de produção, evidenciando as mudanças ocorridas no setor ao longo dos anos.

Figura 25. Emissões por tipo de produção industrial (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

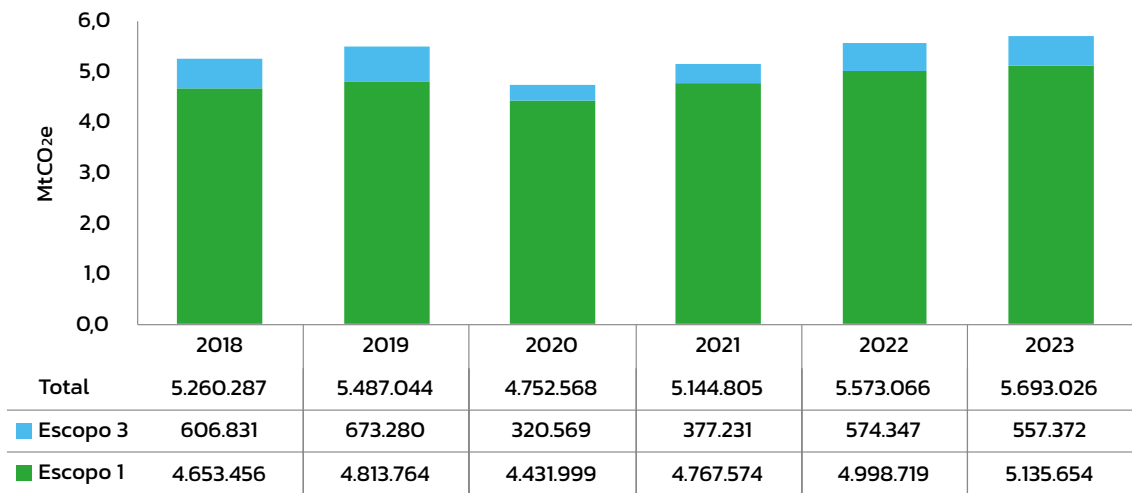
6.3. Setor de Transportes

As emissões desse setor são oriundas do consumo de gasolina, etanol, óleo diesel, gasolina de aviação e querosene de aviação para os diferentes modais de transporte presentes no estado. As emissões foram calculadas a partir de dados provenientes da comercialização de combustíveis.

Ao longo da série histórica, o setor demonstrou um crescimento de 8,23%, passando de 5.260.287 tCO₂e em 2018 para 5.693.026 tCO₂e em 2023. Essa trajetória reflete a intensificação das atividades de transporte no estado, com flutuações anuais decorrentes de diversos fatores, incluindo a restrições na circulação em 2020, os impactos econômicos do período pandêmico e a recuperação econômica pós-período de pandemia.

A **Figura 26** apresenta o total de emissões no setor, desagregando os resultados nos escopos do GPC. Nota-se que 90% das emissões são de escopo 1, ou seja, aquelas relacionadas com o consumo de combustíveis dentro das fronteiras estaduais. O restante das emissões são associadas ao transporte aéreo, onde metodologicamente se optou por considerar que as emissões associadas a esse tipo de atividade não ocorrem em sua totalidade dentro dos limites do inventário, portanto são consideradas de escopo 3. Destaca-se que apesar das atuais discussões sobre transição energética e eletrificação da frota, essa atividade não ocorre de forma significativa no Ceará, portanto não são observadas emissões de escopo 2 no setor de transportes.

Figura 26. Emissões do setor de Transportes por escopo (2018–2023).



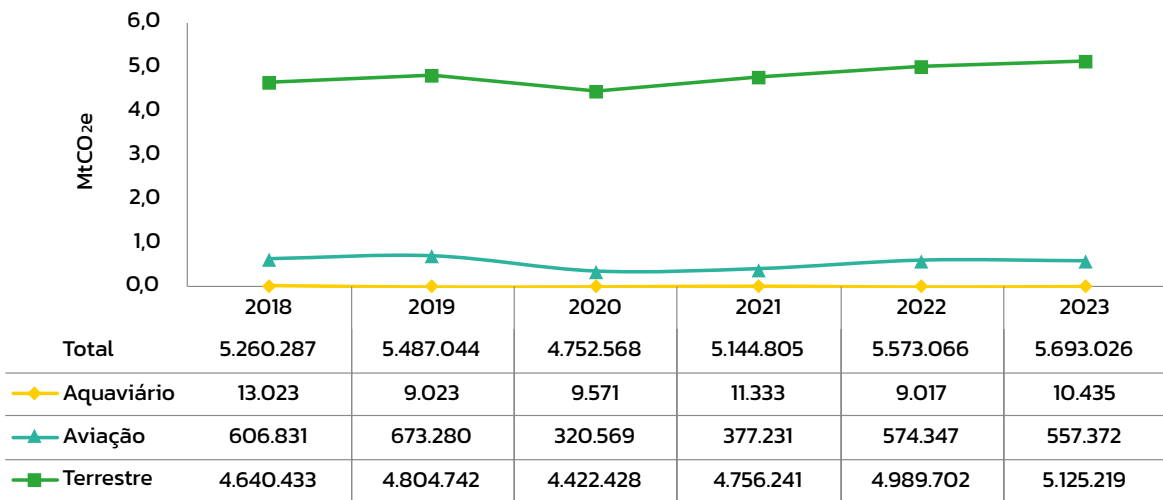
Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Os tópicos a seguir se destinam a analisar a distribuição das emissões por modal de transporte e por tipo de combustível, buscando revelar os principais impulsionadores dessa contribuição.

6.3.1. Emissões por modal de transporte

A distribuição das emissões no setor de Transportes por modal demonstra a predominância do transporte terrestre, responsável pela contribuição de 90% das emissões setoriais. As emissões por esse modal cresceram de 4.640.433 tCO₂e em 2018 para 5.125.219 tCO₂e em 2023, um aumento de 10,5% no período, conforme apresentado na **Figura 27**. Essa dinâmica é impulsionada pela expansão da frota veicular e pela crescente demanda por deslocamentos rodoviários de passageiros e cargas.

Figura 27. Emissões do setor de Transportes por subsetor (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O transporte aéreo, responsável pela contribuição de 9,7% das emissões no setor, apresentou flutuações notáveis, partindo de 606.831 tCO₂e em 2018 e chegando a 557.372 tCO₂e em 2023, o que representa uma redução de 8,15%. No entanto, a queda mais acentuada ocorreu em 2020, refletindo diretamente as restrições de voos e a diminuição da demanda durante a pandemia de COVID-19.

Por fim, o transporte hidroviário, que contribuiu com apenas 0,2% das emissões no setor, apresentou uma redução de 13.023 tCO₂e em 2018 para 10.435 tCO₂e em 2023, representando uma queda de 19,88%. Essa diminuição pode estar associada a flutuações na demanda por transporte aquaviário ou a melhorias na eficiência das operações.

6.3.2. Emissões por tipo de combustível

A queima de combustíveis fósseis representa a principal fonte de emissões no setor de Transportes. A análise por tipo de combustível consumido revela que a gasolina e o diesel são os maiores responsáveis pelas emissões, refletindo a predominância desses combustíveis na frota veicular do estado, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Emissões por tipo de combustível.

Combustível	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Gasolina	2.304.765	2.400.942	2.215.520	2.298.805	2.480.114	2.599.942
Diesel	2.238.869	2.238.418	2.083.468	2.332.888	2.418.301	2.452.184
Querosene de aviação	605.688	672.472	320.000	376.354	573.543	556.401
Outros	110.964	175.212	133.581	136.758	101.108	84.498

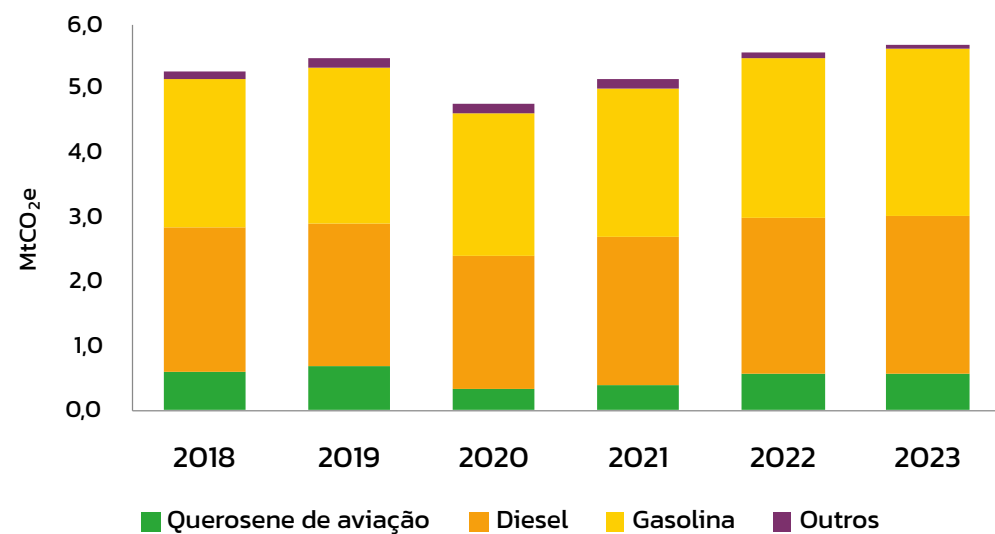
Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A gasolina e o diesel respondem pela vasta maioria das emissões do setor de Transportes, o primeiro responsável por 45% das emissões no transporte rodoviário e o segundo por 43%. Ambos os combustíveis apresentaram crescimento nas emissões ao longo do período, acompanhando a expansão da frota de veículos rodoviários e a intensificação do uso de transportes de carga e passageiros no estado.

O querosene de aviação é o terceiro maior contribuinte, mas suas emissões foram significativamente impactadas em 2020, refletindo a redução das atividades aéreas. Embora tenha sido observada uma recuperação neste tipo de atividade, os níveis de emissão ainda se mantiveram abaixo dos observados antes da pandemia. A categoria Outros, que agrupa o Gás Natural Veicular (GNV), o Etanol Hidratado e a Gasolina de Aviação, apresentou uma redução de 23,85% no período, conforme ilustrado na Figura 28.

É importante destacar que as emissões de CO₂ oriundas do consumo do Etanol Hidratado, do Etanol Anidro (presente na Gasolina Comum) e do Biodiesel presente no Diesel comercializado no Brasil são consideradas emissões biogênicas, ou seja, são emissões consideradas neutras que não contribuem para intensificação do efeito estufa. Nesse contexto, o consumo desses combustíveis é reconhecido como uma importante medida de mitigação no cenário brasileiro, alinhando-se aos esforços nacionais de redução de emissões.

Figura 28. Emissões no setor de Transportes por tipo de combustível (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

6.4. Setor de Energia Estacionária

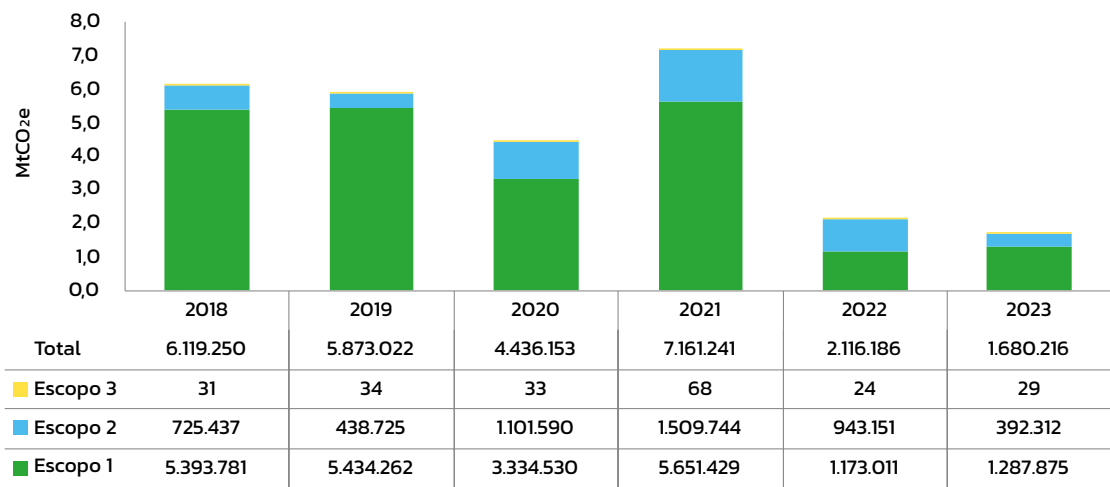
O Setor de Energia Estacionária é um dos principais contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) devido à queima de combustíveis fósseis para a produção de vapor ou energia elétrica, ao consumo de energia elétrica e às perdas técnicas nos sistemas de transmissão e distribuição. As emissões desse setor são organizadas em diversos subsetores, como edifícios residenciais, indústrias de manufatura e construção, edifícios comerciais e institucionais, entre outros.

Entre 2018 e 2023, as emissões do setor apresentaram uma redução marcante de 72,5%, passando de 6,1 MtCO₂e em 2018 para 1,7 MtCO₂e em 2023. Essa queda expressiva está diretamente relacionada à redução no consumo de carvão mineral em termelétricas, refletindo mudanças significativas na matriz energética do estado e país durante o período.

No início da série histórica, as emissões eram majoritariamente de escopo 1 – ou seja, emissões diretas que ocorrem dentro dos limites geográficos do estado. Entretanto, a partir de 2020, as emissões de escopo 2, que se referem a emissões indiretas derivadas do consumo de energia elétrica, tornaram-se mais relevantes, representando em média 28% das emissões entre 2020 e 2023.

Já em 2023, foi registrada uma redução significativa nas emissões de escopo 1, o que manteve as emissões de escopo 2 como uma contribuição importante para o total de emissões, ainda que estas também apresentassem um decréscimo no período analisado. As emissões de escopo 3, também caracterizadas como emissões indiretas, por sua vez, correspondem exclusivamente às perdas na transmissão e distribuição de energia elétrica, permanecendo estáveis em sua participação relativa. A evolução das emissões por escopo ao longo do período pode ser visualizada na **Figura 29**.

Figura 29. Emissões do setor de Energia Estacionária por escopo (2018–2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

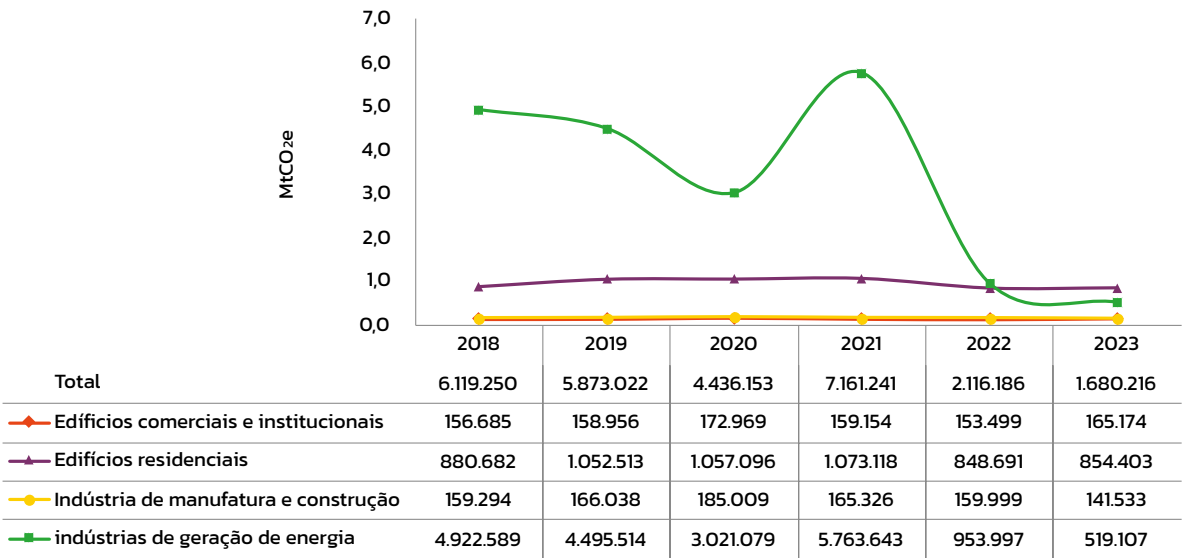
Outra análise importante é a compreensão das emissões considerando os subsetores do GPC, uma vez que permite identificar os segmentos que mais contribuíram para as emissões deste setor e as respectivas trajetórias de redução. O subsetor de Indústrias de Geração de Energia é o que mais se destaca, tanto pela magnitude de suas emissões quanto pela drasticidade da redução observada.

Em 2018, este subsetor respondia por 4,9 MtCO₂e, apresentando um pico em 2021 (5,8 MtCO₂e). Contudo, nos anos de 2022 e 2023, foi observada uma redução significativa nas emissões (para 0,95 MtCO₂e e 0,52 MtCO₂e, respectivamente), resultando em uma redução de 90% em relação ao ano de maior emissão no período. Essa mudança indica uma alteração significativa na matriz de geração de energia elétrica no estado, marcada pela redução do consumo de carvão em termelétricas e ampliação da geração de energia elétrica por meio de fontes eólicas, apresentando o mesmo comportamento observado a nível nacional, onde foi observado um importante abatimento das emissões globais relacionadas com a geração de elétrica no Brasil (IEMA, 2023).

Os Edifícios residenciais representam a segunda maior fonte de emissões no setor, com uma média anual acima de 961.084 tCO₂e, apresentando uma leve redução de 3,06% no período. A Indústria de manufatura e construção também teve uma contribuição, com uma queda de 11,1% em suas emissões. Por outro lado, os Edifícios comerciais e institucionais registraram um aumento de 5,4%, refletindo possivelmente a expansão das atividades nesses segmentos.

A análise das emissões por subsetor permite identificar os segmentos de consumo e produção de energia que mais contribuem para as emissões no estado, a **Figura 30** ilustra a evolução dessas emissões.

Figura 30. Emissões do setor de Energia Estacionária por subsetor (2018–2023).

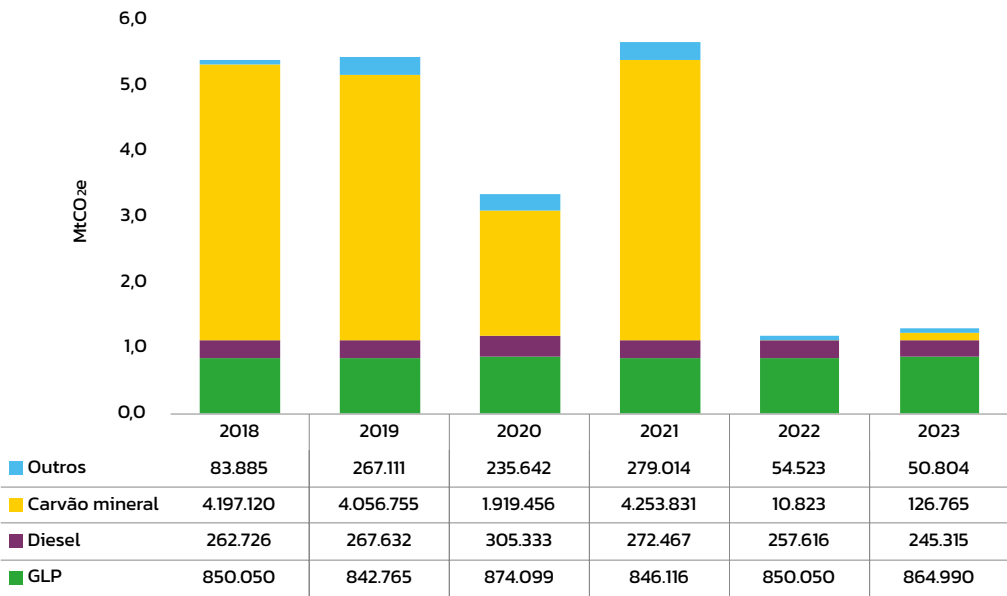


Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

6.4.1. Emissões por Tipo de Combustível

A desagregação das emissões por tipo de combustível consumido no setor de Energia Estacionária oferece uma visão mais granular das fontes de GEE, conforme pode ser observado na **Figura 31**.

Figura 31. Emissões do setor de Energia Estacionária dos principais tipos de combustível (2018–2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Conforme mencionado, o carvão mineral foi o principal combustível responsável pelas emissões do setor de energia estacionária ao longo do período analisado. No entanto, também foi o combustível que apresentou a maior e mais significativa redução nas emissões, registrando uma queda de 96,9% entre 2018 e 2023.

Até então, o carvão mineral era utilizado em duas usinas termelétricas no Ceará, sendo um dos principais componentes da matriz energética estadual nos anos de maior geração de energia elétrica. Um exemplo marcante foi o ano de 2021, quando o estado apresentou um aumento expressivo na produção de energia elétrica. É importante destacar que em 2024, o estado assinou um Memorando de Entendimento com o objetivo de converter a termelétrica Pecém I (UTE Pecém I), localizada no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), de combustível fóssil carvão para gás natural.

O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) é a segunda maior fonte, com emissões estáveis e um leve aumento de 1,76% no período, utilizado principalmente em edifícios residenciais para processos de cocção. O diesel, terceiro maior contribuinte, é utilizado principalmente em indústrias de manufatura e construção e em edifícios comerciais ou institucionais. Ainda é importante destacar o consumo de gás natural, que apresentou contribuições importantes de 2019 a 2021, com maior consumo em edifícios residenciais.

6.4.2. Emissões pelo consumo de energia elétrica

As emissões pelo consumo de energia elétrica, caracterizadas como emissões indiretas, são uma importante fonte de emissão dentro do setor de energia estacionária. Destaca-se que para estimar essas emissões são consideradas duas variáveis principais: o consumo de energia elétrica no estado e fator de emissão do Sistema Interligado Nacional.

Em relação ao consumo, foi observado um aumento expressivo no território, de 19%, considerando o período de 2018 a 2023. Em relação às classes de uso, destaca-se que edifícios residenciais são os principais consumidores (representam 40% do consumo no estado), seguido de indústrias (20%), comércio (18%) e áreas rurais (10%).

Em relação aos fatores de emissão, são amplamente utilizados em análises que demandam a média de emissões associadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) no Brasil. Esses fatores, que são disponibilizados mensalmente pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2025), fornecem uma estimativa da quantidade média de CO₂ emitida na geração de eletricidade no país.

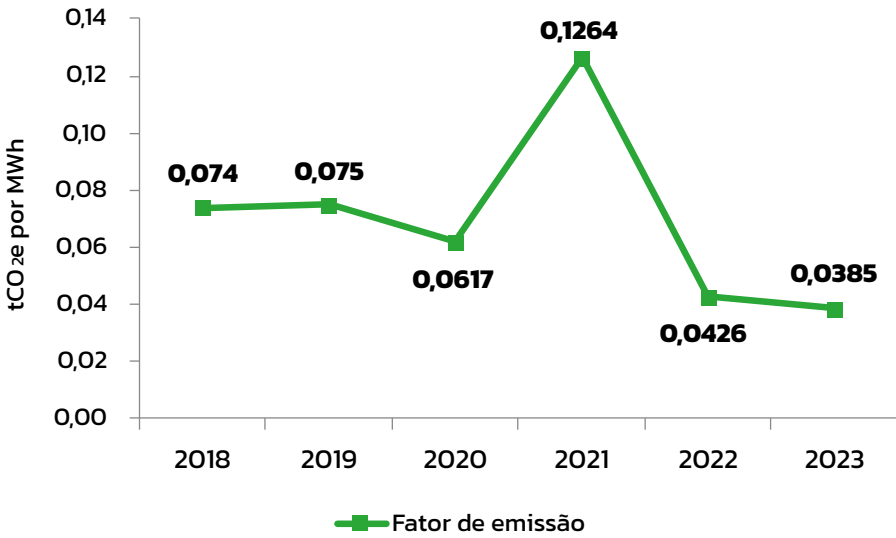
É importante destacar que esses coeficientes consideram as emissões de todas as usinas em operação no sistema elétrico, e não apenas as unidades que operam na margem do sistema (aquelas acionadas em momentos de maior demanda). Esse método garante uma visão mais abrangente e representativa da pegada de carbono da matriz elétrica brasileira, servindo como uma ferramenta

essencial para estudos, inventários e políticas voltadas à gestão de emissões no setor energético.

O chamado fator médio representa uma média das emissões de GEE por unidade de energia consumida ou combustível utilizado em determinado setor ou atividade (MCTI, 2021a). É importante observar que esse fator médio é influenciado por variações climáticas, como a ausência de chuvas ou eventos extremos de precipitação. Essas variações climáticas podem afetar diretamente a geração de energia, principalmente porque a matriz energética brasileira depende significativamente de fontes hídricas, como a energia hidrelétrica.

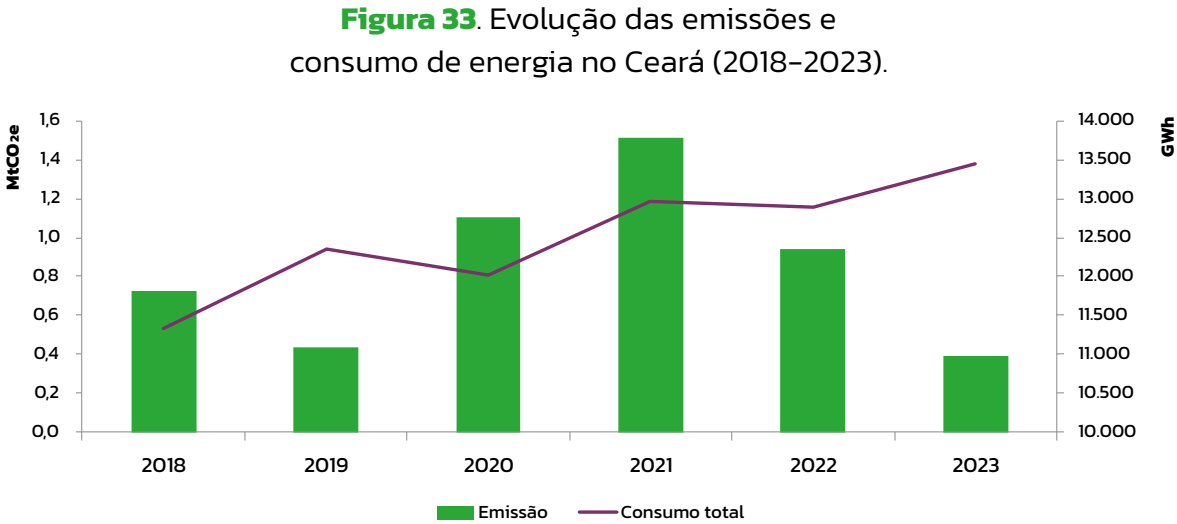
Em períodos de seca prolongada, as hidrelétricas podem operar com capacidade reduzida, resultando em menor geração de energia. Nesse cenário, é comum uma maior demanda por outras fontes, como o acionamento de termelétricas. Como essas usinas utilizam combustíveis fósseis, o fator de emissão tende a aumentar, refletindo uma matriz mais intensiva em carbono. Entre os anos de 2020 e 2021, quando o uso de fontes fósseis para geração elétrica aumentou de 15% para 20% (IEMA, 2022), foi observada uma elevação temporária dos fatores médios de emissão, conforme pode ser observado na **Figura 32**. Já em 2022, o cenário se inverteu, com maior participação de fontes renováveis e, como consequência, redução no fator de emissão.

Figura 32. Fator de emissões de CO₂ para o setor de Energia Estacionária (2018 – 2023)



Fonte: ICLEI a partir de MCTI, 2025.

Esses dois fatores conjugados, influenciam o comportamento das emissões no período analisado, marcado por variações expressivas. Em 2018, as emissões associadas ao consumo elétrico no estado do Ceará totalizaram 0,725 MtCO₂e. Em 2021, as emissões atingiram seu pico, com 1,5 MtCO₂e, impulsionadas tanto pela retomada da demanda quanto por um aumento significativo no fator de emissão. Esse contexto resultou em um crescimento de 108% nas emissões. Já a partir de 2022, a queda expressiva do fator de emissão contribuiu para a redução das emissões, que recuaram para 0,39 MtCO₂e. A evolução dessas emissões está representada na **Figura 33**.



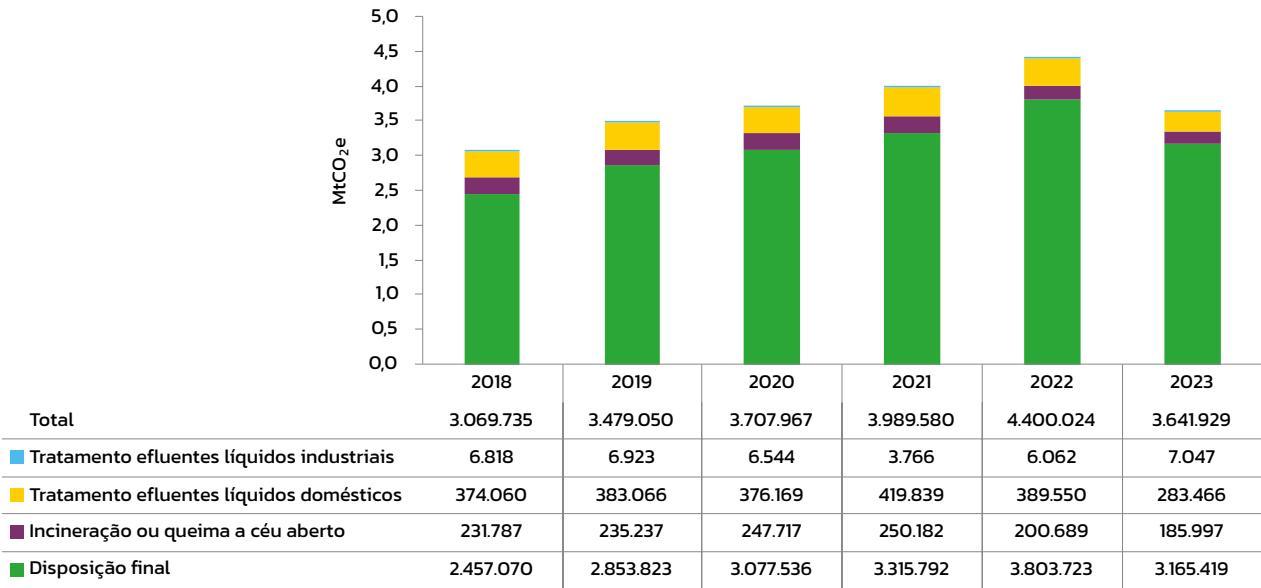
Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

6.5. Setor de Resíduos

O setor de Resíduos, que abrange as emissões geradas pelo tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, inclui atividades como a disposição final de resíduos em unidades de disposição adequadas, como aterros sanitários, e inadequadas, como aterros controlados e lixões, a incineração de resíduos de serviços de saúde (RSS) ou queima a céu aberto, além do tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais. A análise deste setor é crucial para identificar oportunidades de mitigação, especialmente considerando o potencial de geração de metano.

Para o setor de resíduos foram contempladas apenas atividades que ocorrem dentro da fronteira do inventário, ou seja, aquelas que resultam em emissões diretas, caracterizadas como de escopo 1. A trajetória desse setor revelou um aumento de 19% nas emissões, passando de 3,06 MtCO₂e em 2018 para 3,64 MtCO₂e em 2023. A **Figura 34** apresenta a contribuição anual de cada subsetor, detalhando suas respectivas evoluções.

Figura 34. Emissões do setor de Resíduos por subsetor (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O subsetor de disposição final dos resíduos sólidos é a principal fonte de emissões no setor, responsável por 18,67 MtCO₂e no período e apresentando uma dinâmica de crescimento. O tratamento de efluentes líquidos domésticos contribuiu com 2,26 MtCO₂e, mostrando uma redução de 24% no período. A incineração ou queima a céu aberto apresenta uma contribuição de 1,3 MtCO₂e, enquanto o tratamento de efluentes líquidos industriais se caracteriza como o de menor contribuição. Os aspectos subsetoriais serão abordados nos tópicos abaixo.

É importante destacar que o tratamento biológico, seja por compostagem ou digestão anaeróbia, também são atividades fontes de emissão no setor e rotas de tratamento relevantes no que

se refere à uma gestão sustentável de resíduos sólidos. No entanto, essas práticas ainda não muito incipientes no estado, de modo que não são consideradas no atual processo de elaboração do inventário.

6.5.1. Disposição final de resíduos sólidos

A Disposição Final de resíduos domésticos e públicos coletados no estado do Ceará é a categoria mais impactante no setor de Resíduos, responsável por 84% das emissões no setor. Estas emissões são geradas principalmente pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica em unidades de disposição adequadas, como aterros sanitários, e inadequadas, como aterros controlados e lixões, resultando na liberação de metano (CH₄).

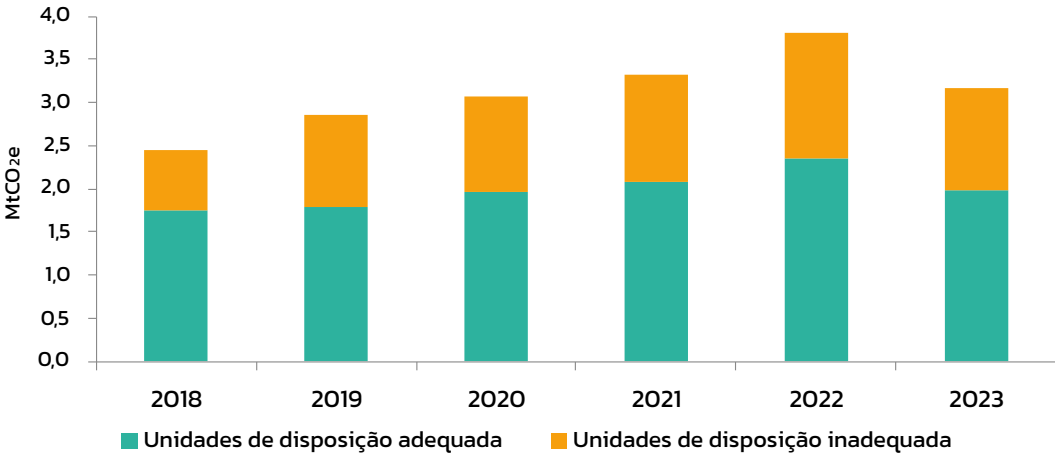
As emissões da disposição final, estimadas com base nas diretrizes metodológicas do IPCC, que se baseiam principalmente na quantidade de material coletado, composição gravimétrica e tipo de disposição final, que por sua vez determinam a quantidade de carbono orgânico degradável disposto no solo, apresentaram um aumento de 29% entre 2018 e 2023, com um crescimento gradativo até 2022, atingindo o pico de 3,99 MtCO₂e, seguido por uma leve redução em 2023. Esse padrão reflete oscilações relacionadas com a quantidade de resíduos encaminhadas para a disposição final, onde os anos de maior emissão, são também os anos em que foram coletadas uma maior quantidade de resíduos sólidos.

Outro aspecto importante na análise é o tipo de disposição final adotada, no Ceará, em torno de 52% dos resíduos coletados foram encaminhados para locais de disposição final ambientalmente inadequada. Esse aspecto é relevante não apenas na questão da contabilização das emissões, mas também em uma perspectiva de adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos e sua resolução de encerramento de lixões, destacando-se também os negativos impactos socioambientais deste tipo de disposição, como riscos a saúde, poluição do solo e águas superficiais e subterrâneas e uma série de outros.

Além disso, também é importante destacar uma importante medida de mitigação adotada no estado, o aproveitamento energético do biogás gerado em unidades de disposição adequada, em especial no Aterro Sanitário Metropolitano, sede da GNR Fortaleza – uma parceria da Marquise Ambiental com a MDC Energia, que faz a captura e aproveitamento do metano da unidade localizada em Caucaia, gerando biometano e suprimindo parte da demanda energética do estado (ABREMA,2025).

As emissões por tipo de disposição final são apresentadas na **Figura 35**. Observa-se que a disposição final ambientalmente adequada foi responsável por, em média, 64% das emissões, enquanto a emissão pela disposição inadequada foi responsável por 36%. Isso evidencia que o estado precisa avançar no que diz respeito à implementação de uma gestão de resíduos sólidos sustentável, incorporando cada vez mais medidas de abatimento de emissões.

Figura 35. Emissões por tipo de disposição final.



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

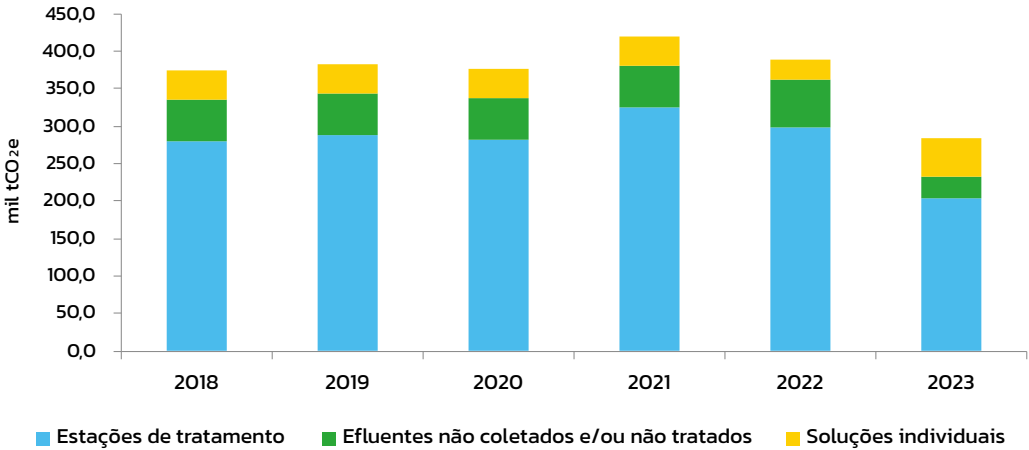
6.5.2. Tratamento de efluentes líquidos domésticos

No que diz respeito aos efluentes líquidos, as emissões estão fortemente associadas ao tipo de tratamento empregado nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), bem como à proporção

da população atendida pela rede de coleta e à parcela da população que não recebe cobertura dos serviços de saneamento.

As emissões do tratamento de efluentes líquidos apresentaram uma redução de 23,73% entre 2018 e 2023. Após um período de relativa estabilidade e um pico em 2021, foi observada uma queda considerável em 2023, de 27% em relação ao ano anterior, como ilustrado na **Figura 36**.

Figura 36. Emissões oriundas do tratamento de efluentes líquidos (2018 – 2023)



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Ao longo da série analisada, as emissões oriundas dos efluentes coletadas e tratados em ETEs se mostram as mais relevantes, com contribuição média de 75% das emissões no subsetor. Essas emissões estão relacionadas à 276 sistemas de esgotamento sanitário observados no estado, distribuídos em 79 municípios.

Destaca-se que, nos anos analisados, entre 40% e 50% da população permaneceu sem acesso aos serviços de coleta de efluentes líquidos domésticos, evidenciando que essa é uma fonte significativa de emissões no estado. Esse cenário demonstra a necessidade de avanços substanciais na universalização dos serviços de saneamento, como previsto no Marco Legal do Saneamento e em outras políticas setoriais relevantes. Além disso, é fundamental incorporar medidas de mitigação que promovam a redução das emissões associadas ao tratamento de efluentes.

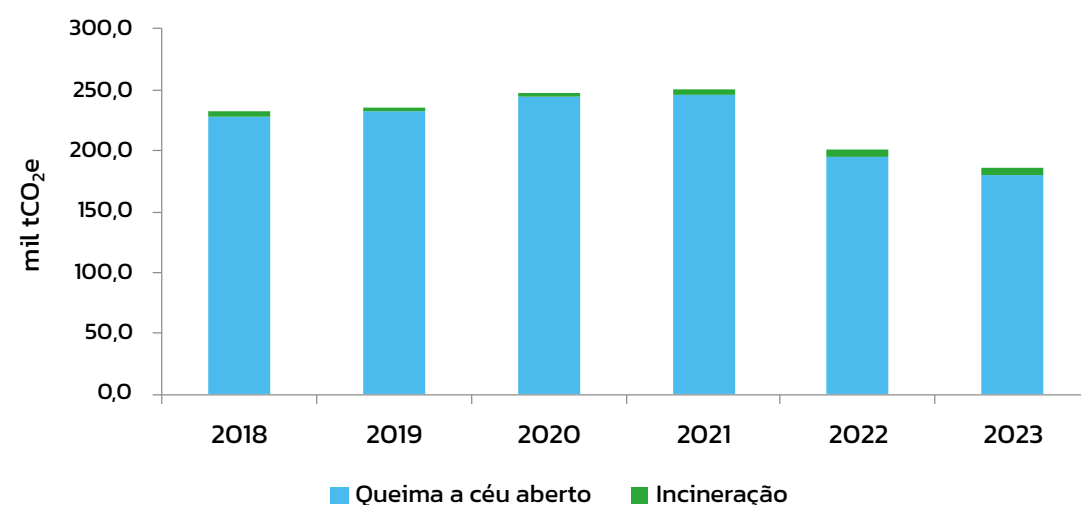
6.5.3. Incineração de RSS ou queima a céu aberto

O subsetor de Incineração ou Queima a Céu Aberto de Resíduos contribui para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio do processo de queima controlada ou não controlada de resíduos sólidos. Esse subsetor contempla especificamente a queima de resíduos de serviços de saúde (RSS), dado que a incineração não é comumente adotada como rota tecnológica para o tratamento de resíduos domésticos e públicos no Brasil. Além disso, inclui a queima não controlada de resíduos sólidos urbanos, uma prática frequentemente associada à deficiência nos serviços de coleta de resíduos sólidos. Nessas circunstâncias, parte da população recorre à queima de resíduos em suas próprias propriedades como destino final inadequado, contribuindo com emissões expressivas e impactos ambientais negativos.

As emissões no subsetor apresentaram uma redução de 20% entre 2018 e 2023, sendo a queima a céu aberto responsável por 97% das emissões, como apresentado na **Figura 37**.

A queima a céu aberto é uma prática ambientalmente inadequada e que contribui diretamente para a emissão de diferentes GEE, bem como para o aumento da poluição do ar. De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual, no estado do Ceará 16,4% da sua população adotava a queima na propriedade para o tratamento dos resíduos gerados em 2018. Em 2023, foi observada uma redução na adoção desta prática, com 12,4% da população queimando resíduos em suas propriedades. Isto é um indicativo que a cobertura dos sistemas de saneamento estão sendo ampliadas, com um maior número de habitantes com acesso aos serviços de coleta de resíduos sólidos.

Figura 37. Emissões oriundas da incineração ou queima a céu aberto (2018 – 2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

6.5.4. Tratamento de efluentes líquidos industriais

O tratamento de efluentes líquidos industriais se configura como o subsetor de menor contribuição nas emissões em Resíduos. Nele, são quantificadas emissões relacionadas com atividades industriais com alto potencial de geração de matéria orgânica em seus efluentes líquidos. Para o estado do Ceará foram contabilizadas emissões relacionadas com o processamento de carnes (bovina, suína e de aves) e produção de laticínios (cru e pasteurizado). O subsetor apresentou um acréscimo de 3% nas suas emissões, partindo de 6,8 mil tCO₂e em 2018 para 7,0 mil tCO₂e em 2023.

COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES COM BRASIL E ESTADOS

A compreensão das emissões de GEE do Ceará adquire maior relevância quando analisada em um contexto comparativo com outras unidades federativas, permitindo situar o desempenho climático do estado frente a realidades econômicas, territoriais e produtivas distintas e evidenciando tanto avanços quanto desafios regionais no enfrentamento da mudança do clima.

Entre 2018 e 2023, o Ceará registrou 190,7 MtCO₂e, com média anual de 31,8 MtCO₂e e aumento de 24,11% das emissões líquidas no período. Esse crescimento reflete, sobretudo, o avanço do setor AFOLU, que ampliou suas emissões em 166%, impulsionado pela intensificação das atividades agropecuárias e pela conversão de áreas de vegetação. A comparação com estados do Nordeste e com os polos industriais do Sudeste possibilita avaliar o peso relativo das emissões cearenses em diferentes escalas e contextos produtivos.

No contexto regional, o Ceará apresenta volume de emissões superior ao Piauí (140,6 MtCO₂e) e a Pernambuco (126,0 MtCO₂e),

mas inferior à Bahia (483,1 MtCO₂e), estado que concentra a maior base produtiva e territorial do Nordeste. Em todos os casos, observa-se a predominância das emissões oriundas do setor de uso da terra e da agropecuária, mas o Ceará se diferencia por apresentar também participação expressiva dos setores energético e industrial, refletindo sua crescente diversificação econômica.

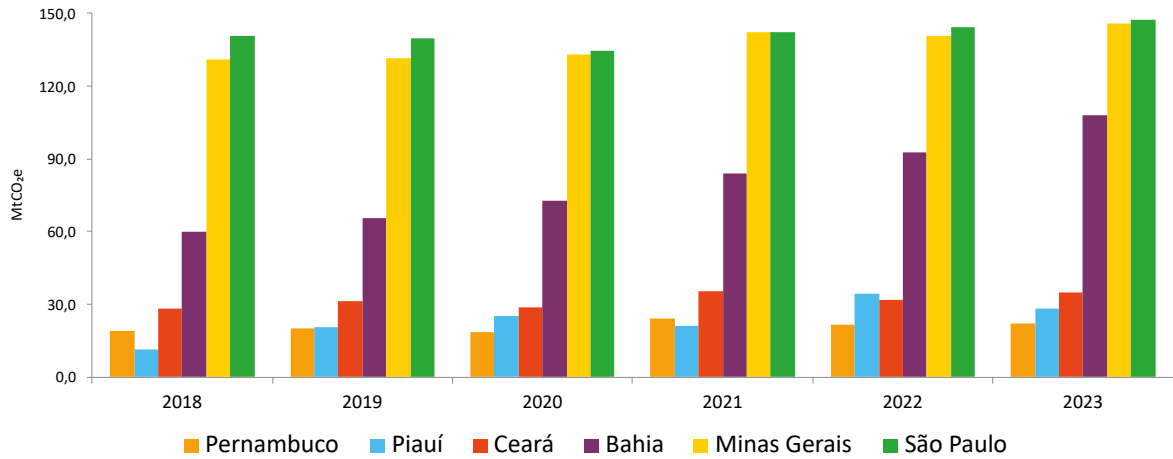
Enquanto Bahia e Piauí apresentaram forte dependência das emissões associadas à mudança de uso da terra, o Ceará demonstra um perfil mais equilibrado, com maior peso relativo da energia (27%) e dos resíduos (17%), setores diretamente vinculados ao processo de urbanização e à expansão da infraestrutura. Essa característica confere ao estado um padrão intermediário entre economias predominantemente agropecuárias e as mais industrializadas.

Entre os grandes estados do Sudeste, as emissões do Ceará situam-se em patamar significativamente inferior ao de São Paulo (849,5 MtCO₂e) e Minas Gerais (824,4 MtCO₂e). Em termos de trajetória, ambos apresentaram comportamento relativamente estável, com leve redução em 2020 em razão dos impactos econômicos da pandemia, mas crescimento acumulado de cerca de 8% entre 2018 e 2023.

Em São Paulo, o aumento foi impulsionado sobretudo pelos setores de energia e agropecuária, enquanto em Minas Gerais, reconhecido como o principal estado produtor de aço do país, observou-se expansão moderada das emissões associadas aos processos industriais e uso da terra.

No caso do Ceará, 38,0 MtCO₂e das emissões totais registradas entre 2018 e 2023 tiveram origem na produção de aço, o que demonstra a relevância desse setor para o perfil industrial e climático estadual. Assim, embora o perfil setorial de Minas Gerais e São Paulo seja mais industrializado e intensivo em energia, o Ceará compartilha desafios semelhantes quanto à redução da intensidade de carbono de suas atividades produtivas, especialmente nas cadeias siderúrgicas e industriais. A **Figura 38** traz o comparativo de emissões entre os estados.

Figura 38. Comparação das emissões entre estados brasileiros (2018–2023).



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

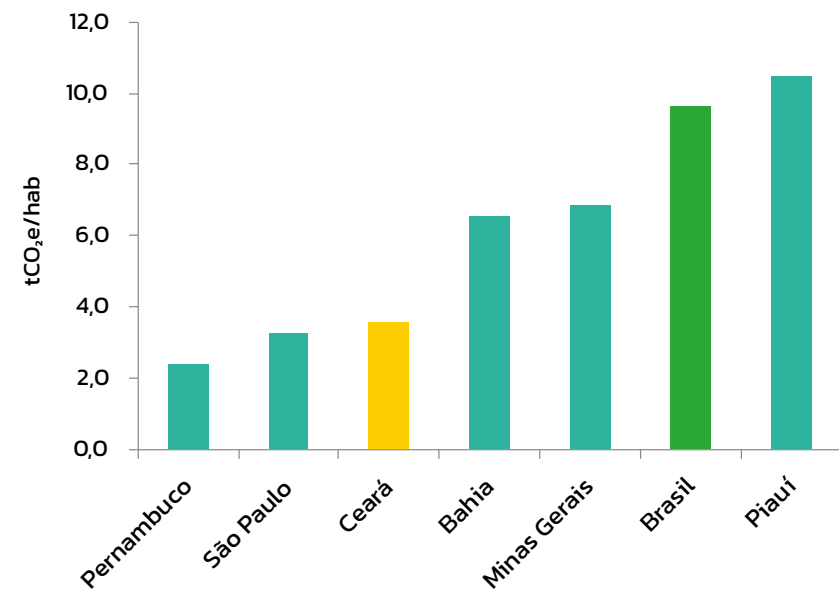
Com base em dados do SEEG (2024), deste inventário e do Censo Demográfico (IBGE, 2023a), foi possível relacionar a intensidade de emissões por habitante no ano de 2022.

Observa-se que o Ceará apresentou uma emissão média de 3,58 tCO₂e por habitante, valor inferior à média nacional (9,63 tCO₂e/hab) e semelhante ao de São Paulo (3,26 tCO₂e/hab), refletindo um perfil econômico menos intensivo em carbono e com predominância do setor de serviços.

Em contrapartida, estados como Bahia (6,55 tCO₂e/hab) e Minas Gerais (6,84 tCO₂e/hab) registraram índices mais elevados, associados à maior presença de atividades industriais e agropecuárias. Já o Piauí (10,49 tCO₂e/hab) destacou-se com o maior valor entre os estados analisados, fortemente influenciado por emissões provenientes de mudanças no uso da terra. Pernambuco (2,38 tCO₂e/hab) apresentou o menor indicador, possivelmente em razão da alta densidade populacional e da estrutura produtiva menos dependente de atividades emissoras diretas (**Figura 39**).

Em síntese, o Ceará posiciona-se entre os estados com menor intensidade de emissões per capita, resultado de uma economia mais urbana e terceirizada, além de avanços na diversificação da matriz energética e na gestão de resíduos.

Figura 39. Emissão por habitante no Brasil, no Ceará e em outros estados brasileiros no ano de 2022.



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; SEEG, 2024; IBGE, 2023a.

Em termos de intensidade de emissões de CO₂e por milhão de reais de PIB (IBGE, 2025), a comparação entre o Ceará e outros estados brasileiros evidencia diferenças marcantes no grau de carbono associado à atividade econômica. Em 2021, o Ceará apresentou intensidade média de 0,18 tCO₂e por milhão de reais de PIB, situando-se abaixo da média nacional estimada em 0,22 tCO₂e/mi R\$ (SEEG, 2024), o que reflete um perfil produtivo menos intensivo em emissões e com predominância de atividades de serviços.

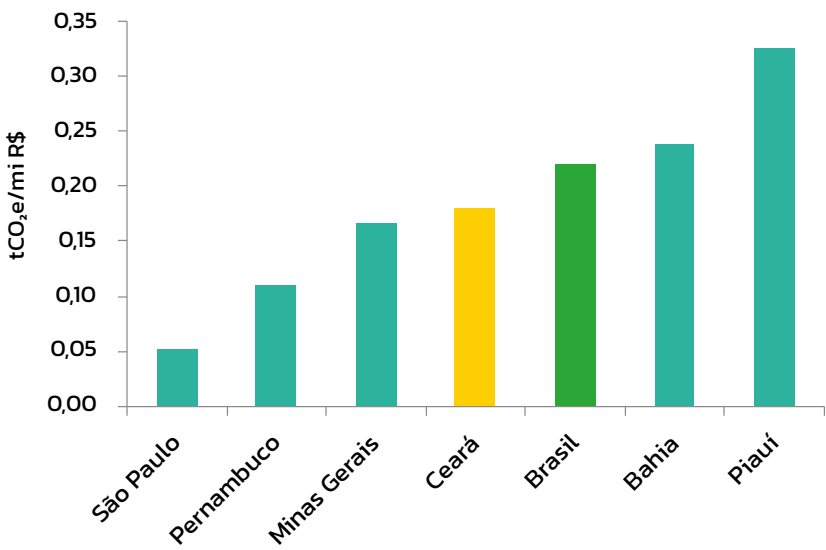
Em contrapartida, estados do Nordeste como Bahia (0,24 tCO₂e/mi R\$) e Piauí (0,33 tCO₂e/mi R\$) exibem índices mais elevados, influenciados pela maior contribuição relativa da agropecuária e das mudanças de uso da terra em suas economias. Já Pernambuco (0,11 tCO₂e/mi R\$) destaca-se positivamente, com o menor indicador entre os estados analisados, possivelmente devido à estrutura produtiva mais concentrada em serviços e menor presença de setores industriais intensivos em energia.

Entre os estados do Sudeste, São Paulo (0,05 tCO₂e/mi R\$) confirma sua posição como a economia mais eficiente em termos de emissões, reflexo de sua alta densidade econômica e diversificação setorial,

enquanto Minas Gerais (0,17 tCO₂e/mi R\$) apresenta comportamento intermediário, associado à forte presença das indústrias de transformação e de base, especialmente a produção de aço (**Figura 40**).

Em síntese, o Ceará apresenta desempenho favorável na relação entre emissões e PIB, sinalizando ganhos de eficiência produtiva e oportunidades para consolidar uma economia de baixo carbono em comparação com outros estados do Nordeste e Sudeste.

Figura 40. Emissão por PIB no Brasil, no Ceará e em outros estados brasileiros no ano de 2021.



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; SEEG, 2024; IBGE, 2023a.

Analisando especificamente para o Ceará, a intensidade de emissões por PIB apresentou variações ao longo do período de 2018 a 2021, refletindo oscilações no ritmo de crescimento econômico e nas emissões totais de gases de efeito estufa do estado. Em 2018, o indicador foi de 0,1807 tCO₂e/mi R\$, aumentando para 0,1930 tCO₂e/mi R\$ em 2019 (+6,8%), o que indica uma elevação relativa das emissões em comparação ao produto interno bruto estadual. Em 2020, observou-se uma queda para 0,1734 tCO₂e/mi R\$ (-10,2%), possivelmente associada à desaceleração econômica decorrente da pandemia de COVID-19. Já em 2021, a intensidade voltou a crescer, atingindo 0,1809 tCO₂e/mi R\$ (+4,3%), acompanhando a retomada das atividades produtivas.



EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES E O CUMPRIMENTO DA NDC

A NDC brasileira apresenta que o diálogo e a cooperação entre o governo federal e os estados será determinante para orientar a trajetória de redução de emissões no Brasil. Neste sentido, entende-se que a redução proposta, de 57% a 67% em relação ao ano de 2005, só será executada a partir da ação incisiva e conjunta dos diversos setores da sociedade.

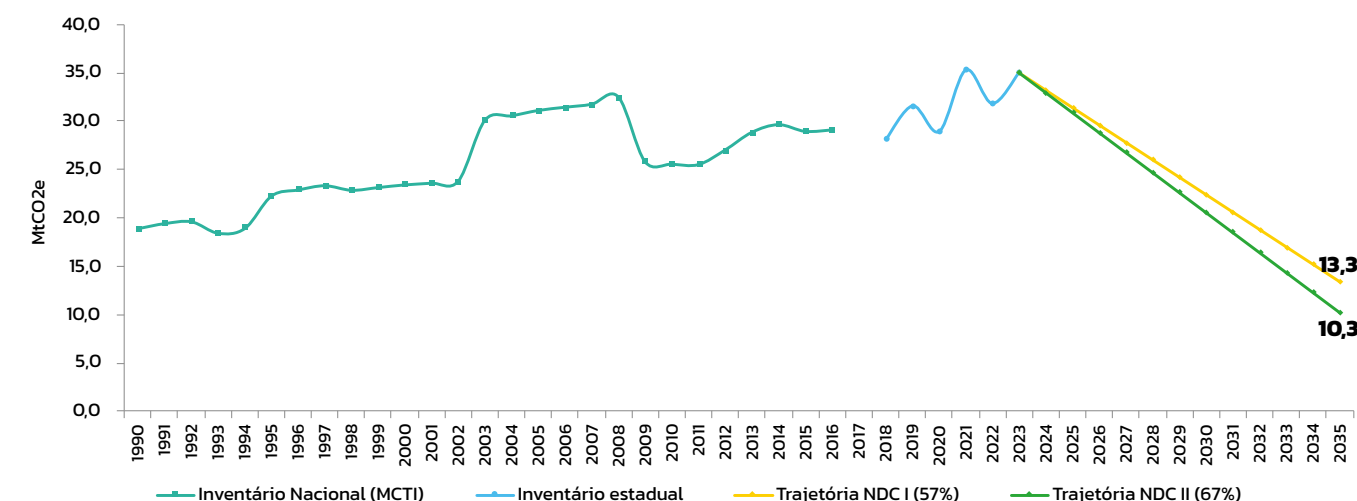
O presente documento apresenta a trajetória das emissões no estado na lógica de cumprimento da NDC brasileira, conforme pode ser observada na Figura 41. A base de dados para análise são os resultados observados no Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Ceará, no período de 2018 a 2023, e dados do inventário nacional para o estado do Ceará, elaborado pelo MCTI e contemplando o período de 1990 a 2016.

Observa-se que as emissões do estado apresentaram um crescimento de 53% entre o período de 1990 a 2016, com picos de emissão entre os anos de 2003 a 2008, onde pela primeira vez o estado passou a emitir mais de 30 MtCO₂e. A partir da análise realizada neste inventário, nota-se que as emissões seguiram crescendo no período de 2018 a 2023, com picos em 2021 e 2023, com emissão de 35,2 MtCO₂e e 34,96 MtCO₂e, respectivamente.

Para que o Ceará contribua de forma efetiva para o cumprimento da NDC brasileira, considerando as emissões de 2023 estimadas em 34,9 MtCO₂e, será necessário reduzir entre 62% e 71% desses valores, o que corresponde a alcançar um patamar entre 13,3 MtCO₂e e 10,3 MtCO₂e até 2035.

A **Figura 41** compara as emissões do Inventário Nacional e do IEGEE do Ceará com as metas da NDC brasileira.

Figura 41. Comparação dos Inventários com as metas da NDC brasileira.



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Neste contexto, entende-se que ao longo dos anos analisados não foram implementadas medidas de mitigação de maior impacto no território, com um crescimento acentuado das emissões de GEE entre os anos de 1990 a 2023. Destaca-se ainda que para cumprimento da NDC brasileira, o estado precisa atuar de maneira mais ambiciosa, incorporando a transição energética, implementar uma agricultura de baixo carbono, controlar o desmatamento e uma série de outras medidas que serão brevemente discutidas nos tópicos a seguir.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Relatório do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Ceará representa um diagnóstico fundamental para a compreensão do panorama climático do estado. Mais do que um compilado de dados, este documento serve como uma ferramenta estratégica para informar e balizar a formulação de políticas públicas e a implementação de ações concretas na jornada do Ceará rumo a um futuro mais resiliente, equitativo e de carbono zero.

A análise detalhada dos setores emissores permite identificar os principais desafios e as oportunidades mais promissoras para a mitigação das emissões de GEE, alinhando-as aos compromissos nacionais e internacionais e, em especial, aos cinco caminhos do ICLEI.

9.1. Panorama Geral das Emissões

As emissões líquidas totais do Ceará, considerando os setores inventariados, apresentaram um crescimento de 24,11% entre 2018 e 2023. Partindo de 28,17 MtCO₂e em 2018, as emissões líquidas atingiram 34,96 MtCO₂e em 2023. Observou-se uma leve retração em 2020, possivelmente associada aos impactos da pandemia de COVID-19 na atividade econômica, seguida por uma retomada no crescimento. Mas no geral, a tendência histórica observada é de crescimento, com os anos de 2021 e 2023 apresentando picos de emissão.

Os setores que mais contribuíram para o perfil de emissões do estado foram:

- **AFOLU (Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra):** Este setor destacou-se como o maior contribuinte, representando, em 2023, 14,63 MtCO₂e. A maior parte dessas emissões está associada às mudanças de uso da terra, refletindo a conversão de áreas naturais para fins agropecuários, o desmatamento, e também às emissões da pecuária. O crescimento de 166,04% neste setor no período analisado aponta para a necessidade urgente de políticas de uso e ocupação do solo e práticas agrícolas mais sustentáveis.
- **IPPU (Processos Industriais e Uso de Produtos):** As emissões deste setor alcançaram 9,32 MtCO₂e em 2023, com um crescimento de 13,32% desde 2018, sendo o segundo setor mais emissor. A produção de aço emerge como a principal fonte de emissões, seguido da produção de cimento, evidenciando a atividade robusta na construção civil do estado.
- **Transportes:** Totalizou com 5,69 MtCO₂e em 2023. A predominância do modal rodoviário e o uso intensivo de combustíveis fósseis são os principais responsáveis, apesar de um pequeno aumento de 8,23% nas emissões do setor no período.
- **Energia Estacionária:** Contribuiu com 1,68 MtCO₂e em 2023. Apesar de uma redução de 72,54% em suas emissões totais no período, este setor é relevante e sensível a variações na matriz energética e no consumo, com combustíveis fósseis ainda desempenhando um papel importante no estado, como por exemplo o consumo de carvão em termoeletricas.

- **Resíduos:** As emissões do setor totalizaram 3,64 MtCO₂e em 2023, com um aumento de 18,64% no período. A disposição final de resíduos sólidos em unidades de disposição adequadas e inadequadas é a principal fonte de emissões, liberando metano da decomposição orgânica. O tratamento de efluentes líquidos, incineração e queima a céu aberto também contribui significativamente.

9.2. Recomendações e Oportunidades de Mitigação

Para que o Ceará contribua com o cumprimento da NDC brasileira, será necessário abater suas emissões estaduais entre 21,06 MtCO₂e e 24,71 MtCO₂e até 2035. Portanto, é necessário que sejam implementadas medidas cada vez mais ambiciosas, com foco no desenvolvimento sustentável e de baixo carbono. As seguintes recomendações e oportunidades de melhoria são propostas para cada setor, alinhadas aos Cinco Caminhos do ICLEI: Zero Carbono, Baseado na Natureza, Resiliente, Equitativo e Circular.

Setor AFOLU

- **Fortalecer a fiscalização e o combate ao desmatamento:** Implementar sistemas robustos de monitoramento georreferenciado e fiscalização para reduzir a conversão ilegal de áreas naturais, especialmente para a expansão agropecuária.
- **Incentivar o reflorestamento e a recuperação de áreas degradadas:** Promover programas de restauração ecológica, incluindo plantio de espécies nativas e fomento à regeneração natural. Isso pode aumentar o sequestro de carbono e contribuir para a manutenção da biodiversidade.
- **Adotar práticas agrícolas de baixo carbono:** Incentivar a implementação de sistemas como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), o manejo integrado de pragas e a gestão adequada de resíduos agrícolas.

- **Reduzir emissões da pecuária:** Promover o melhoramento genético, o manejo nutricional e a captura de metano de dejetos animais para mitigar as emissões da fermentação entérica e do manejo de resíduos.

- **Apoiar a agricultura familiar sustentável:** Oferecer assistência técnica e acesso a recursos para que pequenos produtores adotem práticas de baixo carbono e se adaptem às mudanças climáticas, aumentando sua resiliência.

- **Regularização fundiária:** Fortalecer a regularização fundiária para promover a segurança jurídica e ambiental, incentivando a conservação e o uso sustentável do solo.

Setor de Energia Estacionária

- **Promover uma matriz energética mais sustentável e diversificada, investindo em fontes renováveis:** energia eólica; energia solar; biomassa; hidrogênio; biogás/ biometano.

- **Promover a eficiência energética em edificações:** Implementar programas de incentivo à modernização de sistemas de iluminação, climatização e equipamentos em edifícios públicos e privados, reduzindo a demanda por energia.

- **Reduzir a dependência de combustíveis fósseis:** Fomentar a substituição de fontes como GLP e diesel em aplicações estacionárias por alternativas mais limpas. Essa transição pode ser potencializada por meio da revisão da regulamentação e da legislação estadual, com vistas a evitar ou reduzir incentivos fiscais a fontes não renováveis, e ampliar o incentivo às energias renováveis. O Ceará possui elevado potencial técnico e territorial para fontes como solar e eólica, o que reforça a necessidade de acelerar a transição energética e alinhar a política fiscal e energética do estado às metas de descarbonização e neutralidade climática.

Setor de Transporte

- **Incentivar o uso de biocombustíveis:** Promover políticas para aumentar a participação de etanol e biodiesel na matriz de combustíveis dos transportes.
- **Transição para modais de transporte mais eficientes e limpos:** Investir em infraestrutura para transporte público de massa (como VLTs, BRTs) e incentivar o uso de veículos elétricos e híbridos, tanto para frotas públicas quanto privadas.
- **Eficiência logística:** Implementar soluções de logística urbana e de carga que otimizem rotas, reduzam viagens vazias e promovam o transporte intermodal para diminuir o consumo de combustível.
- **Acessibilidade e mobilidade sustentável:** Garantir que as soluções de transporte limpo sejam acessíveis a todas as camadas da população, melhorando a qualidade do ar e a saúde pública, e reduzindo a vulnerabilidade a choques nos preços dos combustíveis fósseis.

Setor IPPU (Processos Industriais e Uso de Produtos)

- **Fomentar a eficiência energética industrial:** Implementar programas de auditoria energética e oferecer incentivos para a modernização de equipamentos e processos industriais, reduzindo o consumo de energia e as emissões associadas.
- **Incentivar a substituição de insumos e processos:** Promover a pesquisa e desenvolvimento de materiais de baixo carbono (ex: cimento de baixo carbono) e a adoção de tecnologias mais limpas na indústria.

• **Dialogar com diferentes atores locais e companhias locais** com foco na promoção do desenvolvimento sustentável e de baixo carbono;

• **Apoio à inovação:** Criar um ambiente favorável à inovação e à atração de investimentos em indústrias sustentáveis, gerando empregos verdes e fortalecendo a economia local.

Setor de Resíduos

• **Ampliar a coleta seletiva e a reciclagem:** Investir em infraestrutura e programas de conscientização para aumentar significativamente os índices de coleta seletiva e reciclagem, desviando materiais das unidades de disposição adequada e inadequada.

• **Implementar a compostagem e biodigestão:** Promover o tratamento de resíduos orgânicos através da compostagem e da biodigestão, transformando-os em fertilizantes e biogás (com potencial de aproveitamento energético), reduzindo as emissões de metano.

• **Aproveitamento energético de biogás em unidades de disposição adequada:** Ampliar os sistemas de aproveitamento do biogás das unidades que apresentarem viabilidade técnica e econômica.

• **Universalização do saneamento:** Investir na ampliação e melhoria da infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto, garantindo o acesso a serviços adequados para toda a população e reduzindo as emissões de metano de efluentes.

• **Erradicação de unidades de disposição inadequada:** Continuar os esforços para eliminar a disposição inadequada, substituindo-os por sistemas ambientalmente adequados.

• **Engajamento da comunidade:** Envolver a população e os catadores de materiais recicláveis nas soluções de gestão de resíduos, garantindo inclusão social e econômica.

9.3. Próximos Passos e Caminho à Frente

A conclusão deste Inventário é um marco, mas é também o ponto de partida para as próximas etapas da conformidade climática do Ceará. Para avançar de forma eficaz, é fundamental:

- **Subsidiar Políticas Públicas Climáticas:** O inventário será uma ferramenta essencial para embasar a formulação e o aprimoramento de políticas públicas estaduais voltadas à mitigação das emissões, à transição para um desenvolvimento de carbono zero e ao aumento da resiliência do território.
- **Construção da Conformidade Climática Estadual:** A elaboração do inventário é o primeiro passo na jornada do Ceará rumo à conformidade climática. A partir dos dados e insights gerados, os próximos passos para o estado incluem a construção da Análise de Risco e Vulnerabilidade Climática e o desenvolvimento do Plano Estadual de Ação Climática, que definirão as estratégias de adaptação e mitigação de longo, médio e curto prazo.
- **Definição e Monitoramento de Metas:** Servirá como base para o estabelecimento de metas realistas de redução das emissões e para o monitoramento do progresso do estado em relação aos seus compromissos climáticos, alinhados às Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do Brasil.
- **Reporte e Transparência:** Promover a divulgação dos resultados do inventário de forma acessível e transparente para a sociedade civil, setor privado e academia, fomentando o engajamento de todos os atores na implementação de ações climáticas eficazes. Isso incluirá, de forma estratégica, o reporte à plataforma CDP-ICLEI Track, garantindo a visibilidade e o reconhecimento internacional dos esforços e progressos climáticos do Ceará.
- **Fortalecimento Institucional e Capacitação:** O processo contínuo de elaboração do inventário fortalecerá a capacidade técnica das equipes estaduais e aprimorará os fluxos de coleta de dados, consolidando o Ceará como referência na gestão de informações climáticas.

Por fim, ao adotar uma abordagem integrada e ambiciosa, o Ceará pode cumprir seus compromissos climáticos alinhados com os acordos nacionais e internacionais, ao mesmo tempo em que pode transformar os desafios em oportunidades para um desenvolvimento econômico e social mais verde, justo e próspero. A transição para uma economia de carbono zero é um oportuno vetor de inovação, competitividade e melhoria da qualidade de vida para todos os cearenses. Este documento é um passo fundamental para subsidiar o desenvolvimento do Ceará, detalhando o perfil de emissões do estado e delineando possíveis caminhos para um futuro mais sustentável e resiliente.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREMA. (2025, 15 de janeiro). **Marquise Ambiental: Ceará leva gás de aterro à rede de distribuição.** Disponível em: <https://www.abrema.org.br/2025/01/15/marquise-ambiental-ceara-leva-gas-de-aterro-a-rede-de-distribuicao/>

BERKELEY EARTH. **Global Temperature Report for 2024.** Berkeley Earth, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2024/>

C3S. **Global Climate Highlights 2024.** Reading: ECMWF, 2024. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da Indústria – Ceará.** Brasília, 2022. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/ce#-this>

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Projeto de reflorestamento da caatinga vai beneficiar reservas hídricas da RMF.** Fortaleza, 2025 Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2025/01/10/projeto-de-reflorestamento-da-caatinga-vai-beneficiar-reservas-hidricas-da-rmf/>

CHEN, CHUAN; HABERT, GUILLAUME; BOUZIDI, YOUSSEF; CHEVALIER, JEAN; CHEN, ZHE; BOUCHER, MICHAËL. **Global assessment of CO₂ emissions and mitigation potential from the cement industry.** Environmental Research Letters, v. 17, n. 4, p. 044007, 2022. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac48b5>

DENCHAK, Melissa. **Greenhouse Effect 101.** NRDC, 16 jul. 2019. Disponível em: <https://www.nrdc.org/stories/greenhouse-effect-101#whatis>

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DO CEARÁ (DETRAN-CE). **Frota por tipo – até setembro/2023.** Fortaleza: Diretoria de Desenvolvimento Institucional e Planejamento; Núcleo de Desenvolvimento Institucional e Estatística, 2023. Disponível em: https://www.detran.ce.gov.br/wp-content/uploads/2023/11/01_Frota_Tipo_SET2023.pdf

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DA BAHIA (DETRAN-BA). **Frota por tipo de veículo.** Salvador: DETRAN-BA, 2025. Disponível em: <https://www.detran.ba.gov.br/frotaBi.php>

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2022.** Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023.** Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-~pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Levantamento de Solos do Estado do Ceará.** Fortaleza, 2024. Disponível em: <http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2024/11/LIVRO-LEVANTAMENTO-DE-SOLOS-FUNCEME.pdf>

IBGE. **Produto Interno Bruto (PIB).** Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>

IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente. **Áreas urbanizadas do Brasil: 2019.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE. **Censo 2022: População e Domicílios – Primeiros Resultados.** Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE. **Área territorial brasileira: 2023.** Rio de Janeiro: IBGE, 2024a.

IBGE. **Cidades e Estados.** 2024b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce.html>

IEMA. **3º Inventário de emissões atmosféricas em Usinas Termelétricas.** Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/10/3-inventario-ute-iema-2023.pdf>

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Database on Greenhouse Gas Emission Factors (IPCC-EFDB).** Geneva, s.d. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Switzerland, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
Volume 1 – General Guidance and Reporting
Volume 2 – Energy
Volume 3 – IPPU
Volume 4 – AFOLU
Volume 5 – Waste

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme,** Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K. (eds). Japão, IGES, 2008.

IPCC. Annex III: Glossary [PLANTON, S. (ed.)]. In: **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. et al. (eds.)]. Cambridge (Reino Unido) e Nova Iorque (EUA): Cambridge University Press, 2013b. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp, 2014. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf

IPCC. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. CALVO BUENDIA, E. et. al. (ed.). Switzerland: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Volume 1 – General Guidance and Reporting

Volume 2 – Energy

Volume 3 – IPPU

Volume 4 – AFOLU

Volume 5 – Waste

IPCC. **About the IPCC: Overview**. Switzerland: IPCC, 2020. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/>

IPCC. **Climate Change in Data: Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/resources/climate-change-in-data/>

IPCC. **Mudança do Clima 2021 – A Base Científica: Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**. 6º Relatório de Avaliação do IPCC – Grupo de Trabalho II. Brasília: MCTI, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf

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 [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35–115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. 2023.

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Evolução da participação dos setores econômicos no PIB do Ceará: 1985–2010**. Fortaleza, 2014. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD_90.pdf

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ceará em Números 2023**. Fortaleza: IPECE, 2023. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2023/completa/Ceara_em_Numeros_2023.pdf

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Produto Interno Bruto do Ceará – 4º trimestre de 2024**. Fortaleza, 2025. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2025/03/APRESENTACAO_PIB4o_TRIM_2024.pdf

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Estudo do Ipece ressalta importância do Ceará na transição energética**. Fortaleza, 2025. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/2025/01/14/estudo-do-ipece-ressalta-importancia-do-ceara-na-transicao-energetica/>

JINSOO KIM, BENJAMIN K. SOVACOO, MORGAN BAZILIAN, STEVE GRIFFITHS, JUNGHWAN LEE, MINYOUNG YANG, JORDY L. **Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options**. Energy Research & Social Science, Volume 89, July, 2022, 102565. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629622000706>

MCTI. **Relatórios de Referência Setorial**. Brasília: MCTI, [2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

MCTI. **Fatores de emissão MDL/SIN**. Brasília, [2025]. Disponível em: www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao

MT – Ministério dos Transportes. **Frota de veículos – 2024**. Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran). Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Plano Clima**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/ acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/mudanca-do-clima/plano-clima>

MMA. **Plano Clima – Mitigação**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/com-posicao/smc/plano-clima/plano-clima-mitigacao/plano-clima-mitigacao>

MMA. **BRAZIL'S NDC. National determination to contribute and transform**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entre-ga-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris/brazils-ndc.pdf/>

NOAA. **Global Climate Report – Annual 2023**. Washington, D.C.: NOAA National Centers for Environmental Information, 2023. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/2023>

NOAA. **Global Climate Report: Time Series – Land & Ocean Surface Temperature Anomalies (1850–2025)**. Disponível em: https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series/globe/land_ocean/tavg/12/O/1850-2025

PROJETO MAPBIOMAS. **Plataforma MapBiomass – Análise Ambiental da Vegetação: Ceará**. São Paulo: MapBiomass, 2023. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura>

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970–2022): Agropecuária**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2023a.

SEEG. **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970–2022): MUT**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2023b.

SIDRA – SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>

SIDRA. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>

SIRENE – Sistema de Registro Nacional de Emissões. **Emissões de GEE por Setor**. MCTI. Brasília, 2025. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMmUOM-jk1YWEtZjQ3ZS00M2JlThlZmYtMTY1ZTViZmRlNmFmliwidCI6ImJlYTY1MTZiLTZjAt-NGl0OC04ZDAxLWJkNzY5YTEzZjA2NSJ9>

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica – informações e indicadores municipais consolidados**. Brasília: 2023. Disponível em: <https://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>

SNIS. **Tabelas**. In: Diagnóstico Temático – Serviços de Água e Esgoto. Brasília: 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>

SNIS. **Tabelas**. In: Diagnóstico Temático – Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília: 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>

SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO BÁSICO. **Módulo de Esgotamento Sanitário 2023: Indicadores de Atendimento**. Brasília, 2025a.

SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO BÁSICO. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2023: Planilhas de Informações e Indicadores**. Brasília, 2025b.

SEBRAE – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Data MPE Brasil**. Brasília, 2022a. Disponível em: <https://datampe.sebrae.com.br>

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; GRID-Arendal. **Wastewater – Turning Problem to Solution**. A UNEP Rapid Response Assessment, 2023. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43142>

UNFCCC. **Fact sheet: Climate change science – the status of climate change science today**. Fev. 2011. Disponível em: unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf

UNFCCC. **United Nations Climate Change Annual Report 2022**. Bonn: UNFCCC Secretariat, 2022. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNClimateChange_AnnualReport_2022.pdf

UNFCCC. **CDM Projects Search**. Bonn: UNFCCC Secretariat, 2025. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>

WMO. **State of the Global Climate 2023**. Genebra: WMO, 2023. Disponível em: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2023>

WMO. **WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55 °C above pre-industrial level**. Press release, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>

WRI; C40; ICLEI. **Global Protocol for Community-scale GHG Emissions**. São Paulo: 2014. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/ghg-protocol-cities>

WWF BRASIL. **Efeito estufa e mudanças climáticas**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/conceitos_/efeitoestufa_e_mudancasclimaticas/

YOUNIS, A. & DODOO, A. **Cross-laminated timber for building construction: A life-cycle-assessment overview**. Journal of Building Engineering, Volume 52, 2022.

ANEXO A. Método de Cálculo e Fatores de Emissão

Neste Anexo são apresentados considerações sobre os métodos de cálculo e os fatores de emissão (FE) utilizados na elaboração do IEGEE. Em relação ao processo de elaboração do atual inventário foi empregada a ferramenta *WayCarbon Ecosystem*.

O processo de elaboração do inventário consistiu na etapa de parametrização, na qual a equipe técnica do ICLEI, com apoio do estado do Ceará e da própria ferramenta, cria parâmetros para todas as atividades fontes de emissão no território.

Neste processo de criação de parâmetros são definidos os escopos, tecnologias e selecionados os fatores de emissão mais apropriados para estimar as emissões relacionadas com cada uma das atividades dentro dos setores do GPC.

Após a definição dos parâmetros, os respectivos dados de atividades são inseridos na ferramenta. Com a inserção de dados, as estimativas de emissões de GEE são atualizadas automaticamente e é possível visualizar as estimativas por setor, escopo, categorias e outros.

Além disso, a ferramenta também apresenta uma componente de auditoria que permite avaliar todos os métodos de cálculo adotados, quais fatores de emissão foram adotados e suas referências, que no geral são valores padrões definidos pelo IPCC ou obtidos no inventário nacional de emissões e remoções antrópicas, elaborado pelo MCTI.

Para acessar todos os métodos de cálculo e os respectivos fatores de emissão adotados no estado do Ceará basta acessar o seguinte arquivo: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1x0aEhLKV8vfFh44vJmPrq1yXWQE-28IJ/edit?gid=780603508#gid=780603508>.

Já os métodos de cálculo relacionados com a mudança do uso da terra podem ser obtidos nas notas metodológicas setoriais do SEEG (2023a; 2023b).

