



Inventário Compacto de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Piauí

Inventário Compacto de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Piauí

SETEMBRO
2025

Expediente

ASSOCIADO

Estado do Piauí - Brasil

PROJETO

Conformidade Climática do Piauí

ICLEI - GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE

RODRIGO PERPÉTUO

Secretário Executivo

RODRIGO CORRADI

Secretário Executivo Adjunto

ARMELLE CIBAKA

Gerente de Planejamento, Gestão e Conhecimento

LÉA GEJER STRUCHINER

Coordenadora de Projetos Técnicos

KEILA FERREIRA

Coordenadora de Adaptação e Resiliência

MARÍLIA ISRAEL

Coordenadora Técnica Regional

IRIS COLUNA

Assessora de Medição, Reporte e Verificação

LUIZ GUSTAVO

Assessor Técnico

JOICE OLIVEIRA

Analista de Medição, Reporte e Verificação

LEONARDO ANDRADE

Analista Técnico

ISADORA BUCHALA

Analista de Resiliência

FERNANDA GOUVEA

Analista de Comunicação

JÚLIA STEFANO FINOTTI

Analista Técnica

TIAGO MELLO

Analista Técnico Regional

EDUARDA TENENBAUM

Assistente de Baixo Carbono e Resiliência

GUSTAVO SANCHES DA SILVA

Assistente de Baixo Carbono e Resiliência

GUSTAVO BARBOZA

Assistente de Comunicação

GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ

Rafael Fonteles

Governador

Themístocles Filho

Vice-governador

Felipe Araújo

Secretário do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Vitória Alzenir

Superintendente de Meio Ambiente

Ruth Lima

Diretora de Mudanças Climáticas

Daniel Marçal

Gerente de Mudanças Climáticas

ICLEI América do Sul

Localizado no coração do Nordeste brasileiro, o Piauí se destaca pela riqueza de seus ecossistemas, que reúnem caatinga, cerrado, mata de cocais e áreas de transição que abrigam significativa biodiversidade. Com uma trajetória marcada pelo fortalecimento de políticas públicas que integram crescimento econômico, inclusão social e preservação ambiental, o estado tem assumido um papel de protagonismo no enfrentamento das mudanças climáticas, promovendo a expansão de energias renováveis, o incentivo à agricultura familiar e a adoção de soluções inovadoras que consolidam uma agenda mais equilibrada e resiliente.

Em 2025, Piauí dá mais um passo importante em sua trajetória rumo ao desenvolvimento sustentável ao consolidar o **Inventário Compacto de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Ao reunir e sistematizar informações sobre as emissões nos diferentes setores estaduais, o inventário oferece subsídios técnicos essenciais para a formulação de políticas públicas, amplia a transparência e posiciona o estado em sintonia com os compromissos climáticos nacionais e internacionais. Mais do que um diagnóstico, é uma ferramenta estratégica para orientar ações concretas de mitigação e adaptação, contribuindo para um futuro resiliente, inclusivo e de neutralidade na emissão de carbono.

O ICLEI América do Sul tem orgulho de apoiar o Estado do Piauí nesse processo e reafirma seu compromisso em contribuir para a consolidação de uma agenda climática sólida, capaz de unir preservação ambiental, justiça social e desenvolvimento sustentável. Este documento representa não apenas um instrumento técnico, mas um marco político e institucional na caminhada do Piauí rumo a um futuro sustentável.

Boa leitura!

Lista de Figuras

Figura 1. Cinco Caminhos do ICLEI	11
Figura 2. Anomalias da temperatura do ar da superfície em 2024	18
Figura 3. Localização do estado do Piauí	25
Figura 4. Comparação do crescimento do PIB (2011-2021)	26
Figura 5. Comparação do uso e ocupação da terra em 2024	28
Figura 6. Comparação da produção pecuária em 2023	29
Figura 7. Comparação da produção pecuária em 2023	30
Figura 8. Comparação da matriz energética em 2023	31
Figura 9. Comparação da frota de veículos em 2023	32
Figura 10. Comparação da quantidade de veículos por combustível em 2023	32
Figura 11. Comparação da disposição final de resíduos em 2023	34
Figura 12. Comparação do perfil de indústrias em 2023	35
Figura 13. Emissões brutas e líquidas no Piauí (2008-2023)	43
Figura 14. Panorama geral das emissões brutas no Piauí desagregadas por setor	44
Figura 15. Comparação de emissões brutas e líquidas (2018-2023)	45
Figura 16. Emissões brutas por setor no Piauí (2018-2023)	45
Figura 17. Emissões líquidas por setor no Piauí (2018-2023)	46
Figura 18. Média de emissões brutas por setor (2018-2023)	46
Figura 19. Média de emissões líquidas por setor (2018-2023)	47
Figura 20. Emissões e Remoções de Mudanças de Uso da Terra e Floresta por categoria (2018-2023)	48
Figura 21. Cobertura e uso da terra no Piauí, em Mha (2018-2023)	49
Figura 22. Emissões de MUT por categoria (2018-2023)	50
Figura 23. Remoções de MUT por categoria (2018-2023)	50
Figura 24. Emissões da Agropecuária por categoria (2018-2023)	52
Figura 25. Emissões de fermentação entérica por tipo de animal (2018-2023)	53
Figura 26. Emissões de solos manejados por tipo (2018-2023)	53
Figura 27. Média por categoria emissora da Agropecuária (2018-2023)	54
Figura 28. Emissões de Energia por categoria (2018-2023)	56
Figura 29. Média por categoria emissora em Energia (2018-2023)	56
Figura 30. Emissões de combustíveis fósseis e renováveis no setor de Energia (2018-2023)	57
Figura 31. Emissões na categoria de Transportes (2018-2023)	58

Figura 32. Emissões por tipo de combustível em Transportes (2018-2023)	58
Figura 33. Emissões de transporte rodoviário no Piauí (2018-2023)	59
Figura 34. Emissões por tipo de veículo terrestre no Piauí (2018-2023)	59
Figura 35. Emissões de Resíduos por categoria (2018-2023)	60
Figura 36. Média por categoria emissora em Resíduos (2018-2023)	61
Figura 37. Emissão pela disposição final no Piauí (2018-2023)	61
Figura 38. Evolução da quantidade de resíduos urbanos coletados no Piauí (2018-2023)	62
Figura 39. Emissões por sistema de efluente doméstico (2018-2023)	63
Figura 40. Emissões de GEE por setor e atividade econômica em 2023	64
Figura 41. Trajetória das emissões e cumprimento das metas da NDC	67

Lista de Tabelas

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos Gases de Efeito Estufa	40
Tabela 2. Emissões líquidas do setor de Mudanças de Uso da Terra e Floresta	48
Tabela 3. Emissões líquidas dos 33 municípios do Matopiba no setor MUT	51
Tabela 4. Emissões do setor de Agropecuária	52
Tabela 5. Comparação de emissões associadas às culturas de arroz, feijão, milho e soja	54
Tabela 6. Emissões do setor de Energia	55
Tabela 7. Emissões do setor de Resíduos	60

Lista de Quadros

Quadro 1. Panorama das emissões no Piauí de 2018 a 2023	14
Quadro 2. Principais setores emissores do Piauí	15
Quadro 3. Recomendação para os principais setores emissores	16
Quadro 4. Fontes de emissão dos diferentes GEE	20
Quadro 5. Fontes de emissão de GEE por setor econômico.	20
Quadro 6. Informações sobre o estado do Piauí	27
Quadro 7. Setores e descrições segundo a metodologia SEEG	39
Quadro 8. Principais recomendações e oportunidades para setores emissores no Piauí	69

Lista de Siglas

AR5	<i>Fifth Assessment Report</i> (em português, Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática)
CEPRO-PI	Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí
CH₄	Metano
CO₂	Dióxido de carbono
CO₂e	Dióxido de carbono equivalente
COP 29	<i>Conference of the Parties of the UNFCCC</i> (em português, 29ª Conferência das Partes)
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i> (em português, doença por coronavírus 2019)
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EFDB	<i>IPCC Emission Factor Database</i> (em português, Fatores de Emissão – Banco de Dados do IPCC)
EPA	United States Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
F-GASES	Gases fluorados
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (em português, Potencial de Aquecimento Global)
HFC	Hidrofluorcarbonos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEGEE	Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IMAFLORA	Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (em português, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IPPU	Processos Industriais e Uso de Produtos
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Ministério do Meio Ambiente

MtCO₂e	Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
MUT	Mudança do Uso da Terra e Floresta
N₂O	Óxido nitroso
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
ONU	Organização das Nações Unidas
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PFC	Perfluorcarbonos
PIB	Produto Interno Bruto
Plano ABC	Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SEGOV-PI	Secretaria de Governo do Piauí
SEMARH-PI	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí
SEPLAN-PI	Secretaria do Planejamento do Piauí
SF₆	Hexafluoreto de Enxofre
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
tCO₂e	Tonelada(s) de dióxido de carbono equivalente
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
VAB	Valor Adicionado Bruto

Sumário

SOBRE O ICLEI	11
SOBRE O PIAUÍ	13
SOBRE O IEGEE DE PIAUÍ	14
1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Mudança do Clima	18
1.1.1. O Fenômeno do Efeito Estufa	19
1.1.2. Gases de Efeito Estufa (GEE) e suas fontes	19
1.1.3. Impactos da Mudança do Clima	21
1.1.4. Diretrizes do IPCC	22
1.2. Estrutura do Relatório	23
2. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO PIAUÍ	24
2.1. Uso e Ocupação da Terra	27
2.2. Agropecuária	28
2.3. Energia	30
2.4. Resíduos	33
2.5. Setores Produtivos	34
3. METODOLOGIA	37
3.1. SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa	38
3.2. Potencial De Aquecimento Global	40
3.3. Período de Análise	40
3.4. Método de Cálculo Simplificado	41
4. RESULTADOS DO INVENTÁRIO	42
4.1. Setor de Mudanças de Uso da Terra e Floresta	47
4.2. Setor de Agropecuária	51
4.3. Setor de Energia	55
4.3.1. Transportes	57
4.4. Setor de Resíduos	60
4.4.1. Disposição final	61
4.4.2. Efluentes domésticos	62
4.5. Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)	63
4.6. Análise das emissões por tipo atividades socioeconômicas	64
5. PIAUÍ E O CUMPRIMENTO DA CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA (NDC)	65
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

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, influenciaremos as políticas de sustentabilidade e impulsionamos a ação local para o desenvolvimento de zero carbono, baseado na natureza, equitativo, resiliente e circular.

Nossa Rede e equipe de especialistas trabalham juntos oferecendo acesso a conhecimento, parcerias e capacitações para gerar mudanças sistêmicas. Foi fundado em 1990, na sede da ONU em Nova York, para dar voz aos governos locais em fóruns ambientais globais, e estabeleceu sua sede global em Bonn, na Alemanha. Nossa atuação ganhou força na Rio 92, a partir da consolidação do papel de articulação entre a implementação da cooperação internacional e os governos locais.

Reconhecido pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), o ICLEI tem o mandato de atuar como ponto focal da *Constituency* de Governos Locais e Autoridades Municipais (LGMA) nas COPs sobre Clima, Biodiversidade e Desertificação, integrando mais de 30 organizações e governos locais nos processos de negociações oficiais das Conferências das Partes.

A nível global, o ICLEI implementa seus projetos baseados em cinco caminhos para o desenvolvimento urbano sustentável: de zero carbono, baseado na natureza, equitativo, resiliente e circular; que estão desenhados para criar uma mudança sistêmica. Os caminhos são a base para projetar soluções integradas que equilibram os padrões da vida humana e os ambientes naturais e construídos (Figura 1). Todos os escritórios seguem a mesma metodologia que é debatida trienalmente entre os membros globais da rede reunidos no Congresso Mundial do ICLEI.

Figura 1. Cinco Caminhos do ICLEI



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade.

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. O escritório Brasil tem a maior base de associados na América do Sul, com 100 membros distribuídos entre 86 municípios, 11 estados e 3 organizações.

O ICLEI América do Sul atua buscando 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;
- 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.



Sobre o Piauí

O Piauí tem se destacado nacionalmente como referência em sustentabilidade e transição energética, com quase 100% de sua matriz elétrica baseada em fontes renováveis, sobretudo eólica e solar, ocupando a primeira posição no país nesse indicador, além de ser o terceiro maior produtor de energia limpa centralizada em âmbito nacional (SEPLAN, 2025).

Essa liderança traduz-se na redução de emissões pela baixa dependência de combustíveis fósseis, com destaque para o Parque Solar de São Gonçalo, o maior da América do Sul, e o Complexo Eólico Lagoa dos Ventos, que juntos evitam milhões de toneladas de CO₂ (SEPLAN, 2025).

Em paralelo à revolução energética, o Piauí tem obtido resultados expressivos em termos climáticos, ligada à implantação de políticas estratégicas, como o Programa ECO Piauí, lançado em 2023, que engloba metas como reflorestamento (com plantio de 1 milhão de árvores por ano), fiscalização ambiental com uso de drones, monitoramento de barragens e educação ambiental (SEGOV, 2023).

A agenda climática foi ainda reforçada com a instituição do Fórum Estadual de Mudanças Climáticas e Combate à Pobreza, em 2023, e com a elaboração do Plano Estadual de Ação Climática (Peac) (CCOM/PI, 2023). Para estruturar a governança climática, o estado também firmou, em 2024, um memorando de intenções para implantar o Sistema Jurisdicional REDD, visando gerar créditos de carbono por meio da redução do desmatamento e adequação ao uso da terra (SEPLAN, 2024).

Por fim, o Piauí conta com uma legislação robusta voltada ao clima e à participação social, a Lei Estadual nº 6.140/2011, institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima e Combate à Pobreza (PEMCP), destacando princípios como transparência, controle social e envolvimento de comunidades vulneráveis nas decisões climáticas, incluindo ações de mitigação no setor agropecuário e certificação socioambiental (PIAUI, 2024).

Sobre o IEGEE de Piauí

Um Inventário de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) é uma ferramenta essencial para compreender e gerenciar as emissões e remoções de GEE de uma determinada região ou entidade. Ele serve como uma 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.

Como parte da conformidade climática do Estado do Piauí, o IEGEE apresenta uma análise das emissões e remoções de GEE, com foco no período de 2018 a 2023 e uma visão histórica desde 2008. Os dados utilizados são provenientes da plataforma SEEG, que sistematiza e disponibiliza estimativas oficiais de emissões no Brasil. Este documento constitui uma ferramenta essencial para embasar as decisões e ações do estado no enfrentamento às mudanças climáticas, servindo como base técnica para as próximas fases do projeto.

A seguir, os principais destaques e highlights deste inventário:

PANORAMA GERAL DAS EMISSÕES NO PIAUÍ

O inventário revela um panorama de crescimento nas emissões de GEE no Piauí.

Quadro 1. Panorama das emissões no Piauí de 2018 a 2023

Tendência Histórica (2008-2023)

As emissões brutas do estado aumentaram 78% nesse período, passando de 20,4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂e) em 2008 para 36,4 MtCO₂e em 2023. As emissões líquidas (considerando remoções de CO₂) também cresceram significativamente, em 84%, de 15,3 MtCO₂e para 28,3 MtCO₂e no mesmo período.

Período Recente (2018-2023)

Houve um acréscimo de 87% nas emissões brutas, com uma média de crescimento anual de 16%. Os anos de 2022 e 2023 registraram as maiores emissões, enquanto 2018 apresentou o menor valor.

PRINCIPAIS SETORES EMISSORES

A análise setorial revela que a economia do Piauí, embora predominantemente de serviços, tem suas emissões de GEE fortemente influenciadas por atividades agropecuárias e de uso da terra.

Quadro 2. Principais setores emissores do Piauí**Mudança de Uso da Terra e Floresta (MUT)**

Este setor é o maior contribuinte para as emissões do Piauí, sendo responsável por 70% das emissões brutas médias entre 2018 e 2023. O desmatamento é o principal motor dessas emissões, respondendo por cerca de 90% das emissões do setor. A variação nas emissões líquidas de MUT foi de 762,8% no período, indicando que as remoções de carbono não foram suficientes para compensar as emissões.

Agropecuária

Este setor é o segundo maior contribuinte, com 17,4% das emissões brutas médias (2018-2023) e 16,2% em 2023. A fermentação entérica (digestão de ruminantes, especialmente bovinos de corte e leite) é a principal fonte de emissão, seguida pelo manejo de solos e dejetos animais.

Energia

As emissões do setor de Energia aumentaram 12,7% entre 2018 e 2023. O transporte é a principal fonte de emissão dentro deste setor (79,1% em média), com o modal rodoviário respondendo por 98,1% das emissões de transporte. O diesel de petróleo é o combustível fóssil que mais contribui para as emissões.

Resíduos

Este setor apresentou um aumento de 14,5% nas emissões de GEE entre 2018 e 2023. A disposição final de resíduos sólidos (61,1%) e os efluentes líquidos domésticos (30,8%) são as principais fontes. A grande presença de lixões e aterros controlados (63% das emissões de disposição final) indica um desafio significativo na gestão de resíduos.

Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)

Não foram contabilizadas emissões diretas neste setor a partir de 2018, embora as atividades industriais possam impactar indiretamente outros setores.

IMPLICAÇÕES PARA AS METAS CLIMÁTICAS (NDC)

O Piauí desempenha um papel estratégico no cumprimento da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil. Para que o estado contribua efetivamente com as metas nacionais de redução de emissões, será fundamental implementar medidas de mitigação, especialmente na prevenção e controle do desmatamento e no aumento da eficiência da agropecuária, buscando uma perspectiva de carbono neutro.

RECOMENDAÇÕES

O inventário destaca que o perfil de emissões do Piauí é fortemente influenciado pela agricultura e pecuária, seja por emissões diretas ou indiretas (como o desmatamento para expansão de áreas agrícolas). Em 2023, cerca de 87% das emissões estaduais estavam associadas a essas atividades.

O Quadro 3 sugere diversas recomendações para cada setor.

Quadro 3. Recomendação para os principais setores emissores

Setor	Recomendação	Caminho ICLEI Relacionado
MUT	Fortalecer a fiscalização do desmatamento, promover a regularização fundiária e implementar práticas agrícolas sustentáveis e reflorestamento.	Baseado na Natureza; Zero Carbono; Resiliente.
Agropecuária	Incentivar a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e fortalecer a implementação do Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono).	Zero Carbono; Baseado na Natureza; Circular.
Energia	Investir em fontes renováveis (solar, eólica, hidrogênio verde), incentivar o uso de biocombustíveis e a eletrificação da frota de transportes, além de programas de eficiência energética.	Zero Carbono; Circular; Equitativo.
Resíduos	Expandir a implementação do Programa Lixão Zero, promover a compostagem e a reciclagem, e ampliar o tratamento adequado de efluentes domésticos e industriais.	Circular; Resiliente; Equitativo.

Este inventário fornece uma base para o desenvolvimento de um Plano de Ação Climática, que enderece as fragilidades do estado sob os vieses da mitigação e da adaptação, visando um futuro mais resiliente, sustentável e de carbono neutro.

1. INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

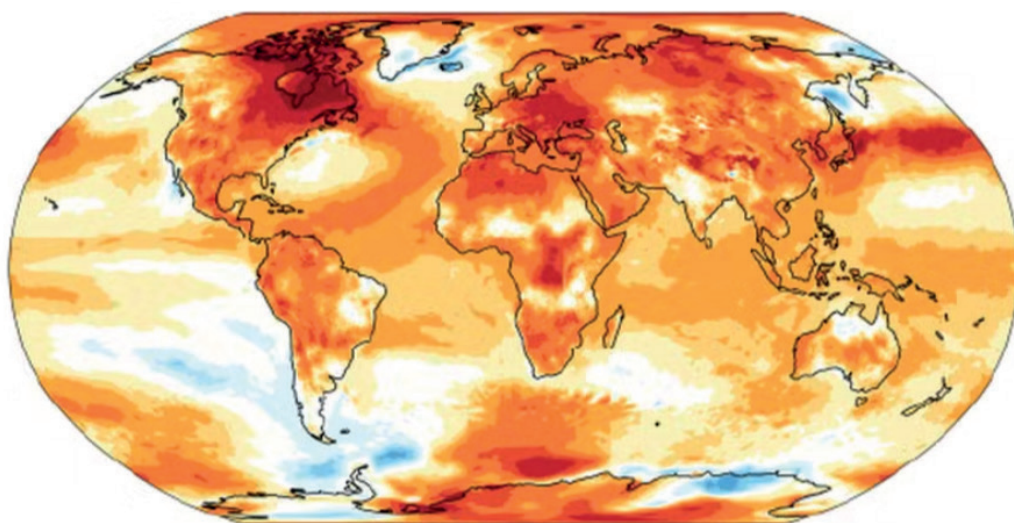
1.1. MUDANÇA DO CLIMA

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 anomalia de aproximadamente 1,55 °C acima da média pré-industrial, reforçando a urgência de mitigação e adaptação climática (WMO, 2025).

Figura 2. Anomalias da temperatura do ar da superfície em 2024



Fonte: C3S, 2024.

1.1.1. O Fenômeno do Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural e benéfico para o planeta, responsável por manter a temperatura média da Terra em cerca de 15°C, o que possibilita a vida conforme conhecemos. Sem o efeito estufa natural, a temperatura média na superfície da Terra estaria abaixo de 0°C (IPCC, 2007; DENCHAK, 2019).

De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (2023), a atmosfera terrestre também possui responsabilidade no controle do balanço energético do planeta, permitindo a passagem de aproximadamente 70% da radiação solar incidente e refletindo cerca de 30% de volta ao espaço. A radiação que atravessa a atmosfera é absorvida pela superfície terrestre, pelos oceanos e pela própria atmosfera, promovendo aquecimento, evaporação, formação de nuvens, precipitação, ventos e correntes oceânicas (IPCC, 2023).

Parte dessa energia é reemitida na forma de radiação infravermelha; contudo, ao contrário da luz solar, essa radiação é parcialmente absorvida por gases de efeito estufa, como CO₂, CH₄, H₂O e O₃, cujas moléculas vibram em frequências correspondentes à radiação infravermelha. Essa absorção intensifica o aquecimento atmosférico e aumenta a radiação de retorno à superfície, mantendo o equilíbrio térmico do planeta (IPCC, 2023).

Entretanto, a intensificação do efeito estufa causada pelas atividades humanas tem levado ao fenômeno do aquecimento global. 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.*).

1.1.2. Gases de Efeito Estufa (GEE) e suas fontes

Os GEE são compostos que absorvem e reemitem radiação em comprimentos de onda específicos da radiação terrestre, contribuindo para o aquecimento da atmosfera. Esses gases têm origens tanto naturais quanto antrópicas (IPCC, 2013b). Entre os GEE, o CO₂ é o principal responsável pelas emissões globais, representando cerca de 76% do total. Suas principais fontes incluem a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e as alterações no uso e cobertura do solo. O Quadro 1 a seguir apresenta as principais fontes de emissão de GEE, com destaque para os setores responsáveis pelas maiores contribuições.

Quadro 4. Fontes de emissão dos diferentes GEE

Gás	Emissão	Fontes de emissão
CO ₂	76%	Combustão de fósseis, desmatamento, agricultura; pode ser removido por reflorestamento.
CH ₄	16%	Agropecuária, manejo de resíduos, energia, queima de biomassa.
N ₂ O	6%	Uso de fertilizantes agrícolas, combustíveis fósseis.
Gases fluorados	2%	Processos industriais, refrigeração, produtos de consumo, incluindo HFCs e PFCs e SF ₆ .

Fonte: EPA, 2020; IPCC, 2013b.

As fontes de emissão de GEE também podem ser identificadas em atividades dos diferentes setores econômicos, como pode ser observado no Quadro 2. A produção de eletricidade e calor é o setor que mais contribui para essas emissões, com 25% do total emitido globalmente em 2010, seguido por Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (24%), Indústria (21%) e Transporte (14%).

Quadro 5. Fontes de emissão de GEE por setor econômico

Setor	Fontes de Emissão de GEE
Produção de eletricidade e calor	Combustão de carvão, gás natural e óleo para eletricidade e aquecimento.
Indústria	Combustíveis fósseis, processos não energéticos químicos e minerais. <i>Nota: Não contempla o uso de eletricidade (acessadas no Setor de Eletricidade e Calor).</i>
Agricultura, florestas e outros usos da terra (AFOLU)	Agricultura e desmatamento. <i>Nota: Não contempla a recuperação de carbono através da biomassa.</i>
Transporte	Queima de combustíveis fósseis para transporte rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo. <i>Nota: 95% da energia de transporte vem de combustíveis derivados do petróleo, principalmente gasolina e diesel.</i>
Edificações	Geração de energia no local e combustíveis para aquecimento em edifícios ou cocção. <i>Nota: Não contempla a eletricidade consumida em edifícios (acessada no Setor de Produção de Eletricidade e Calor).</i>
Energia (outros)	Emissões não diretamente associadas à produção elétrica ou térmica, como extração, refino, processamento ou transporte de combustíveis.

Fonte: EPA, 2020.

1.1.3. Impactos da Mudança do Clima

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). Segundo o sexto relatório do Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC, 2023), as atividades humanas envolvendo a emissão de gases do efeito estufa (GEE) já aumentaram a temperatura média da Terra em 1,1°C entre 2011 e 2020, causando 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 e mensuráveis 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 (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). Os últimos dez anos atingiram uma sequência extraordinária de temperaturas recordes, sendo 2024 o ano mais quente registrado (WMO, 2025). 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.

As cidades não apenas estão desproporcionalmente expostas aos impactos das mudanças climáticas, mas também são responsáveis por gerar uma grande

parte das emissões globais (ONU Habitat, 2024). Na medida em que essas alterações geram consequências caras para os serviços básicos das cidades, infraestrutura, habitação, meios de subsistência humanos e saúde, as cidades são uma das principais contribuintes para as mudanças climáticas, pois as atividades urbanas são fontes significativas de emissões de gases de efeito estufa. Estimativas sugerem que as áreas urbanas são responsáveis por 70% das emissões globais de CO₂, com o transporte e os edifícios sendo alguns dos maiores contribuintes (UNEP, 2025).

As informações acima demonstram a importância da participação ativa das cidades na redução de emissões de carbono e na promoção do desenvolvimento urbano sustentável. As cidades são altamente favoráveis à 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.

Dessa forma, governos locais são fundamentais na implementação de políticas como a preservação de áreas verdes, promoção de mobilidade sustentável e eficiência energética, além de ser 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.

1.1.4. Diretrizes do IPCC

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) é um órgão vinculado à Organização das Nações Unidas (ONU), criado em 1988 com o objetivo de fornecer avaliações científicas periódicas sobre as mudanças do clima, seus impactos, riscos e possíveis estratégias de mitigação e adaptação (IPCC, 2020). Suas publicações visam subsidiar a tomada de decisão por parte de formuladores de políticas públicas em todo o mundo, com base no consenso científico internacional.

Em 2006, a pedido da UNFCCC, o IPCC publicou as Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, atualizando os métodos e orientações de boas práticas previamente estabelecidos em 1996. O conjunto desta obra se estrutura em 5 volumes. O Volume 1 trata de direcionamentos gerais e relatoria, já os Volumes 2 a 5 apresentam informações sobre os setores a serem avaliados no Inventário: Energia (Volume 2), Processos Industriais e Uso de Produtos - IPPU (Volume 3), Agricultura, Floresta e Outros Usos do Solo - AFOLU (Volume 4) e Resíduos (Volume 5).

Com o avanço do conhecimento científico e tecnológico, o IPCC lançou, em 2019, o Refinamento das Diretrizes de 2006 (*2019 Refinement*), com o objetivo de atualizar e aprimorar metodologias em áreas onde foram identificadas lacunas de dados, surgiram novos processos produtivos ou tecnologias, ou onde os gases de efeito estufa estavam insuficientemente contemplados nas diretrizes anteriores. Este refinamento complementa, mas não substitui, as diretrizes de 2006, mantendo a base metodológica, mas expandindo sua aplicabilidade e precisão (IPCC, 2019).

1.2. ESTRUTURA DO RELATÓRIO

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 local. As informações sobre as emissões são obtidas por meio de Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE).

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.

Este relatório apresenta os resultados do 1º IEGEE do Piauí e sua estrutura é apresentada a seguir.

- **Capítulo 1 - Introdução:** contextualiza o que é um inventário e apresenta a estrutura deste relatório técnico;
- **Capítulo 2 - Caracterização do estado do Piauí:** apresenta a visão geral do município;
- **Capítulo 3 - Metodologia:** define a abrangência do IEGEE, descreve os princípios de contabilização de sua elaboração a partir do SEEG, e apresenta o método de cálculo simplificado, fontes secundárias utilizadas e obtenção de resultados;
- **Capítulo 4 - Resultados do Inventário:** dados e análise para cada setor de acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG);
- **Capítulo 5 - Piauí e o Cumprimento da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC):** Apresenta uma breve análise sobre o comportamento das emissões no estado e seu alinhamento com o cumprimento das metas brasileiras.
- **Capítulo 6 - Considerações Finais:** sintetização dos resultados e discussões de possíveis ações a serem desenvolvidas dentro da perspectiva da mitigação.

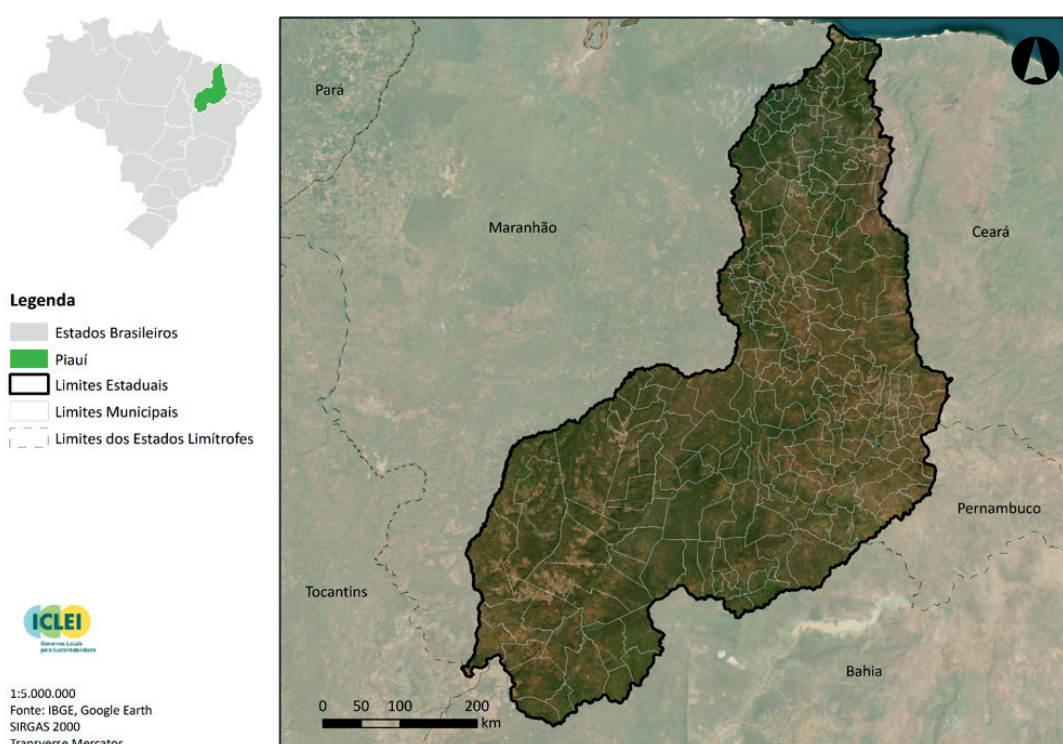
2. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO PIAUÍ



2. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO PIAUÍ

O estado do Piauí está localizado na região Nordeste do Brasil, fazendo divisa com os estados do Ceará, Pernambuco, Bahia, Tocantins e Maranhão. Ao norte, em uma pequena faixa de terra, é banhado pelo Oceano Atlântico. Com área territorial de 251.755,499 km² (IBGE, 2023), é formado por 224 municípios, sendo Teresina a capital. A população residente é de 3.271.199 pessoas e a densidade demográfica é de 12,99 hab/km², sendo significativamente inferior ao Ceará com densidade de 59,07 hab/km² (IBGE, 2023).

Figura 3. Localização do estado do Piauí



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O estado também forma o MATOPIBA, região oficializada por decreto presidencial em 2015, que é o encontro de 33 municípios do Piauí com municípios do Maranhão, Tocantins e Bahia, e que apresenta condições locais semelhantes quanto à natureza, questões socioeconômicas, fundiárias, de perfil agropecuário e de infraestrutura (Piauí apud Embrapa, *s.d.*; IBGE, 2021).

A expansão da fronteira agrícola na região de MATOPIBA se intensificou, desde os anos 1980, principalmente na porção do Cerrado, com a crescente demanda por soja, milho e algodão. A ampliação das áreas de cultivo, aliada ao avanço de infraestrutura, como estradas, ferrovias e portos, permitiu também uma maior integração da região ao comércio global. No entanto, esse processo tem gerado disputas territoriais e impactos ambientais, como desmatamento e degradação do solo, levantando debates

sobre a sustentabilidade dessa expansão e a necessidade de políticas públicas que equilibram o crescimento econômico com a conservação ambiental (Piauí *apud* Embrapa, s.d.).

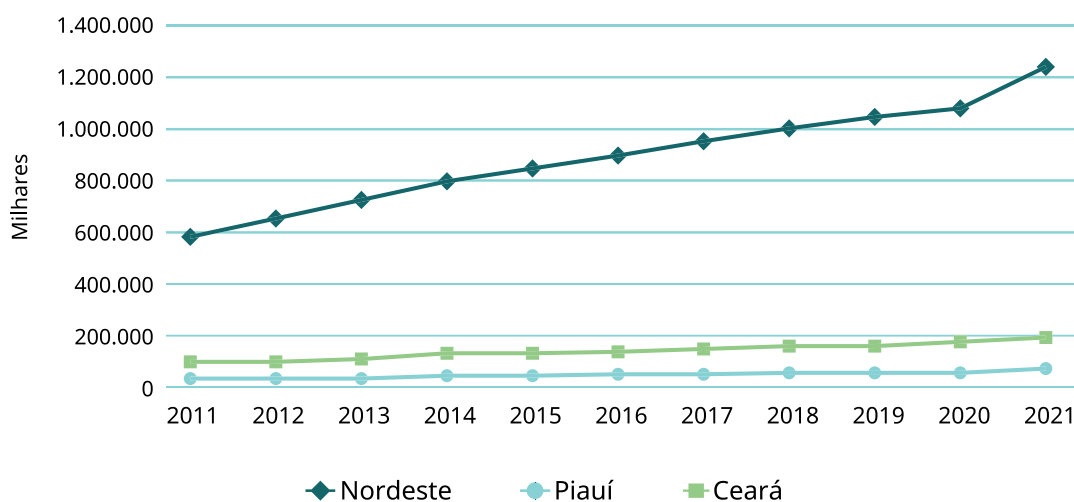
A escolha de comparar o Piauí com o Ceará e com o consolidado da Região Nordeste deve-se à complementaridade entre as realidades analisadas e ao valor estratégico deste exercício comparativo. O Ceará apresenta maior dinamismo econômico, industrial e agropecuário, e políticas públicas mais consolidadas em sustentabilidade e gestão climática, funcionando como um parâmetro de referência para o Piauí. Já o recorte do Nordeste fornece uma visão macro, permitindo identificar tendências regionais e posicionar o Piauí em relação a padrões mais amplos de uso da terra, agropecuária, energia, resíduos e setores produtivos.

Em relação ao contexto econômico, segundo dados apresentados no relatório da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais e Planejamento Participativo (CEPRO, 2024), a atividade com maior participação na economia piauiense é a de Serviços, seguida pela Indústria e pela Agropecuária. Em 2022, a participação dessas atividades no Valor Adicionado Bruto (VAB) do Piauí foi, respectivamente, de 70,4%, 15,6% e 14,0%.

Em 2021, o Produto Interno Bruto (PIB) per capita do Piauí foi de R\$ 64.028.303, indicando uma posição econômica intermediária na região. Entre 2011 e 2021, o PIB do estado passou de R\$ 25.941.362 para R\$ 64.028.303, registrando crescimento de 146,8% no período. No mesmo intervalo, o Ceará apresentou evolução de R\$ 89.695.828 para R\$ 194.884.802, com alta de 117,3%, mantendo-se como uma das principais economias da região e apresentando, em 2021, um PIB cerca de três vezes maior que o do Piauí. Já o Nordeste como um todo somou R\$ 1.243.103.280 mil em 2021, contra R\$ 583.412.756 em 2011, o que representa aumento de 113,1% (SIDRA, 2023c).

Nesse contexto, observa-se que, em 2021, o Piauí respondeu por aproximadamente 5,2% do PIB nordestino, enquanto o Ceará concentrou cerca de 15,7%, evidenciando a maior representatividade econômica cearense na região. A partir da série histórica de 2011 a 2021, ilustrada na Figura 4, observa-se o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) em todos esses anos.

Figura 4. Comparação do crescimento do PIB (2011-2021)



Fonte: SIDRA, 2023c.

Sobre as características ambientais, o bioma predominante é o Cerrado, que engloba 91% da área, seguido de 7,3% da Amazônia e 1,7% de Caatinga e abriga mais de 1 milhão de habitantes (Piauí *apud* Embrapa, s.d.). Características topográficas, hidrográficas e climáticas atraíram, desde os anos 1980, a atenção da agropecuária, que expandiu sua produção principalmente com grãos.

O clima do estado é caracterizado como Tropical, especificamente, na porção mais ao norte, Zona Equatorial e, na porção mais ao sul, Brasil Central, com temperatura média acima de 18°C em todos os meses do ano, predominantemente, semiárido, com 7 a 8 meses secos (IBGE, 2002). Com relação ao bioma, o estado está localizado em uma faixa de transição entre os biomas Caatinga e Cerrado (IBGE, 2019).

O território piauiense está localizado na bacia hidrográfica do rio Parnaíba e corresponde 75% da área da bacia. A extensão do curso d'água principal configura a divisa entre os estados do Maranhão e do Piauí. Pela margem direita, no estado do Piauí, os principais afluentes são os rios Longá, Poti, Canindé e Gurguéia (CPRM, 2017).

Quadro 6. Informações sobre o estado do Piauí

Caracterização e Limites do Inventário	
Nome do estado	Piauí
Região	Nordeste
País	Brasil
Área	251.755,481 km ²
Limites geográficos	Ceará, Pernambuco, Bahia, Tocantins, Maranhão e Oceano Atlântico
População	3.271.199 habitantes
PIB 2021 (R\$)	64.028.303,00
Clima	Tropical
Bioma	Caatinga e Cerrado

Fonte: ICLEI a partir de IBGE (2002, 2019, 2023, 2024) e CEPRO (2024).

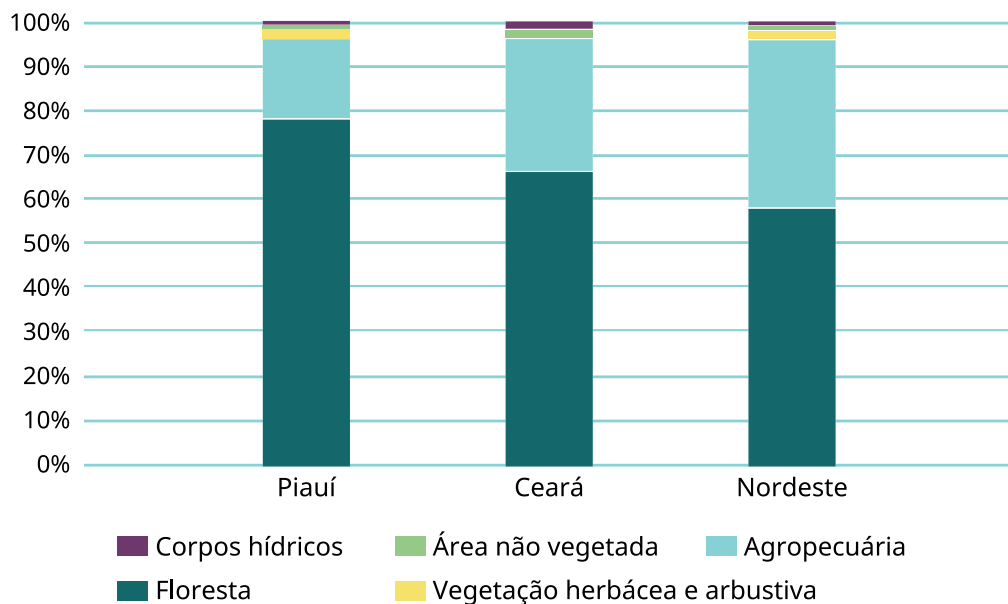
2.1. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

De acordo com o Plano Plurianual do Piauí 2024-2027 (PPA), no âmbito do uso e cobertura da terra, destacaram-se como compromissos prioritários a elaboração e execução de planos de conservação de nascentes e rios, o fortalecimento da proteção das Unidades de Conservação já existentes e a ampliação das áreas protegidas sob responsabilidade do Estado. Também ganharam relevância as ações de combate ao desmatamento ilegal e aos incêndios florestais, bem como a recuperação de áreas degradadas, com a definição de metas anuais de plantio de árvores (SEPLAN, 2024).

O uso da terra no Piauí, em 2024, apresentou uma predominância de áreas naturais, com 78,71% de floresta e 18,74% destinadas à agropecuária, além de pequenas parcelas de vegetação herbácea e arbustiva (1,40%), área não vegetada (0,79%, das quais 45,92% são urbanizadas), corpos hídricos (0,36%) e 0,37% não definidos. Quando consolidado, o estado manteve 80,51% de cobertura natural e 19,12% de áreas antrópicas (MapBiomas, 2024).

Entretanto, no Ceará, em 2024, a composição territorial foi mais pressionada por atividades humanas, 66,26% do território foi ocupado por florestas, enquanto 30,01% já está voltado para agropecuária, percentual superior ao do Piauí. Na escala do Nordeste, a configuração média indica 58,05% de florestas e 37,54% de agropecuária, o que demonstra uma tendência regional de maior conversão de áreas naturais em produtivas, em contraste com o Piauí (MapBiomas, 2024). A comparação analisada é apresentada na Figura 5.

Figura 5. Comparação do uso e ocupação da terra em 2024



Fonte: ICLEI - Adaptado de MapBiomas, 2024.

Assim, observa-se que a configuração do uso da terra tem implicações diretas sobre as emissões de gases de efeito estufa, uma vez que a manutenção de extensas áreas naturais, como no caso do Piauí, contribui para o estoque e sequestro de carbono, enquanto a expansão da agropecuária e de áreas urbanizadas tende a intensificar a liberação de emissões associadas ao desmatamento, à degradação florestal e às práticas produtivas.

2.2. AGROPECUÁRIA

No setor agropecuário, segundo o PPA 2024-2027, o Programa Piauí Produtivo estabelece como diretrizes o fortalecimento do agronegócio e da agricultura familiar, com foco no adensamento das cadeias produtivas e na geração de emprego e renda em consonância com o ODS 8. As ações priorizadas incluem a ampliação

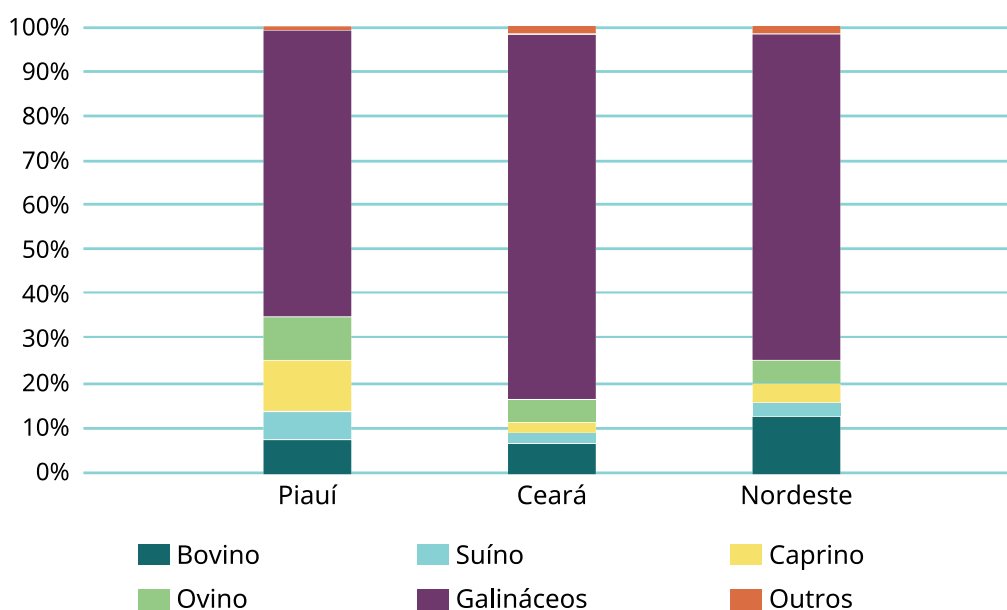
da assistência técnica e da extensão rural, a melhoria da infraestrutura no campo, a garantia da sanidade vegetal e animal e a expansão sustentável da produção agropecuária, considerando as especificidades regionais (SEPLAN, 2024).

PECUÁRIA

Em 2023, a pecuária no Piauí foi caracterizada por uma produção diversificada, somando cerca de 17,9 milhões de cabeças de animais e aves. O rebanho foi composto majoritariamente por galináceos (65%), mas com participações relevantes de caprinos (11%), ovinos (10%), bovinos (8%) e suínos (6%) (SIDRA, 2023a).

Em comparação, no Ceará, o efetivo total foi maior, com 45 milhões de cabeças, e a produção foi ainda mais concentrada em galináceos (81%), enquanto os demais segmentos (bovinos – 6%, suínos – 3%, caprinos – 3% e ovinos – 6%) teve menor participação proporcional em relação ao Piauí. Na escala do Nordeste, o rebanho totaliza 276,5 milhões de cabeças, com predominância também de galináceos (74%). Contudo, a participação de bovinos (13%) foi mais expressiva do que nos dois estados analisados. Caprinos e ovinos teve peso médio de 4% e 6%, respectivamente (SIDRA, 2023a). A produção pecuária descrita está apresentada na Figura 6.

Figura 6. Comparação da produção pecuária em 2023¹



Fonte: ICLEI - Adaptado de SIDRA, 2023a.

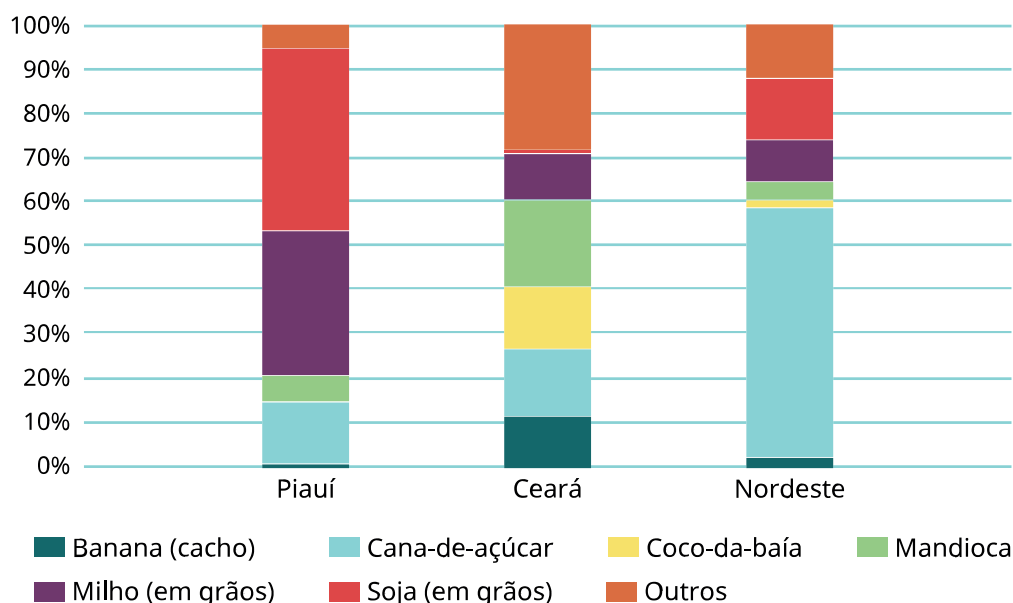
AGRICULTURA

A agricultura do Piauí, em 2023, apresentou-se como um dos setores de crescimento econômico do estado, totalizando cerca de 8,3 milhões de toneladas produzidas, com forte destaque para a produção de soja (41%) e milho em grão (33%). A cana-de-açúcar também ocupou um espaço relevante (14%), enquanto culturas tradicionais como a mandioca (6%) apareceram em menor escala (SIDRA, 2023b).

¹ A categoria “Outros” compreende rebanhos cuja participação na produção pecuária é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

No Ceará, a produção agrícola total foi menor (3,6 milhões de toneladas) e apresentou um perfil distinto, com maior peso de cana-de-açúcar (15%), mandioca (20%) e banana (12%), além de coco-da-baía (14%). O estado também concentrou uma parcela significativa em Outros² (29%). Na escala do Nordeste, com uma produção total de 104,4 milhões de toneladas, a cana-de-açúcar dominou (57%), seguida pela soja (14%) e pelo milho (9%). A mandioca (4%), a banana (2%) e o coco-da-baía (1%) manteve presença, mas em menor escala no consolidado regional (SIDRA, 2023b). Os dados são apresentados na Figura 7.

Figura 7. Comparação da produção pecuária em 2023



Fonte: ICLEI - Adaptado de SIDRA, 2023b.

A agropecuária no estado apresenta forte influência nas emissões de GEE, a pecuária contribui com metano entérico e manejo de dejetos, enquanto a agricultura está associada a emissões de óxido nitroso pelo uso de fertilizantes e manejo do solo. O Piauí se destaca pela diversificação da produção, configurando padrões produtivos que moldam o perfil de emissões locais.

2.3. ENERGIA

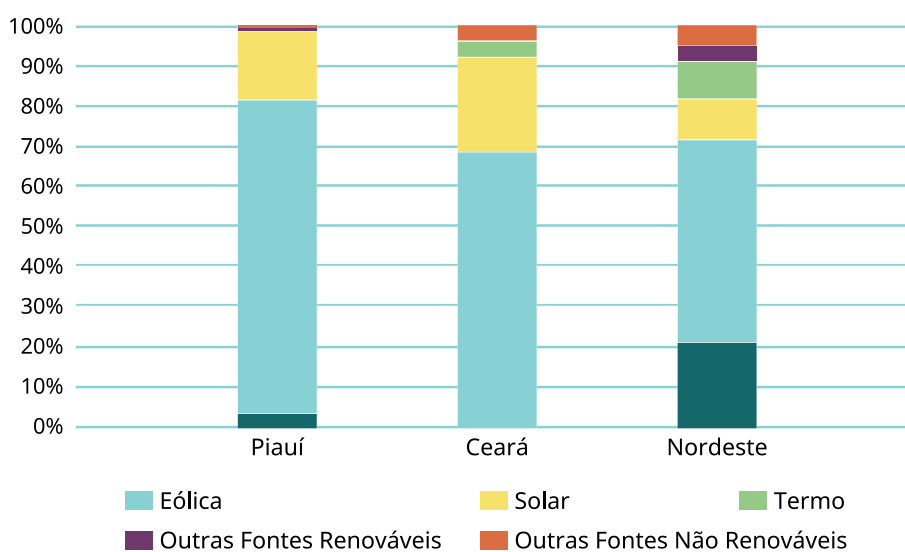
Consoante ao PPA 2024-2027, no setor de energia, o Piauí definiu como prioridade estratégica a ampliação da geração e distribuição de eletricidade limpa, integrada à infraestrutura estadual de mobilidade e saneamento. A ênfase recai sobre a transição energética, reforçando o papel do Estado na competitividade econômica e na melhoria da qualidade de vida, ao alinhar investimentos em energia renovável com o desenvolvimento regional (SEPLAN, 2024).

² A categoria “Outros” compreende lavouras de grãos, frutas, legumes e verduras cuja participação na produção agrícola é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

A matriz de geração de energia do Piauí é fortemente baseada em fontes renováveis. Em 2023, o estado gerou cerca de 17,2 mil GWh, sendo 78% provenientes da energia eólica, seguida da solar (18%) e da hidrelétrica (3%). Não houve participação significativa de termelétricas ou outras fontes (EPE, 2024).

No Ceará, em 2023, a geração total foi menor (10,9 mil GWh) e também majoritariamente renovável, com predominância da eólica (68%) e da solar (24%), mas com participação de termelétricas (4%) e outras fontes não renováveis (4%). No Nordeste, com geração consolidada de 161 mil GWh, a matriz também foi renovável, com 51% por eólica, 21% por hidro e 10% por solar, complementadas por 9% térmica e 4% de outras fontes (renováveis e não renováveis) (EPE, 2024). Os dados foram apresentados na Figura 8.

Figura 8. Comparação da matriz energética em 2023³



Fonte: ICLEI - Adaptado de EPE, 2024.

Quanto ao consumo energético residencial, observa-se que o Piauí apresentou demanda relativamente reduzida frente à sua capacidade de geração. Em 2023, foram contabilizados 2.357 GWh de eletricidade e 177 mil litros de GLP. O Ceará, mais populoso e urbanizado, apresentou consumo superior, com 5.574 GWh de eletricidade e 473 mil litros de GLP. No consolidado regional, o consumo residencial totalizou 35.278 GWh de eletricidade e 2,98 milhões de litros de GLP (EPE, 2024).

TRANSPORTES

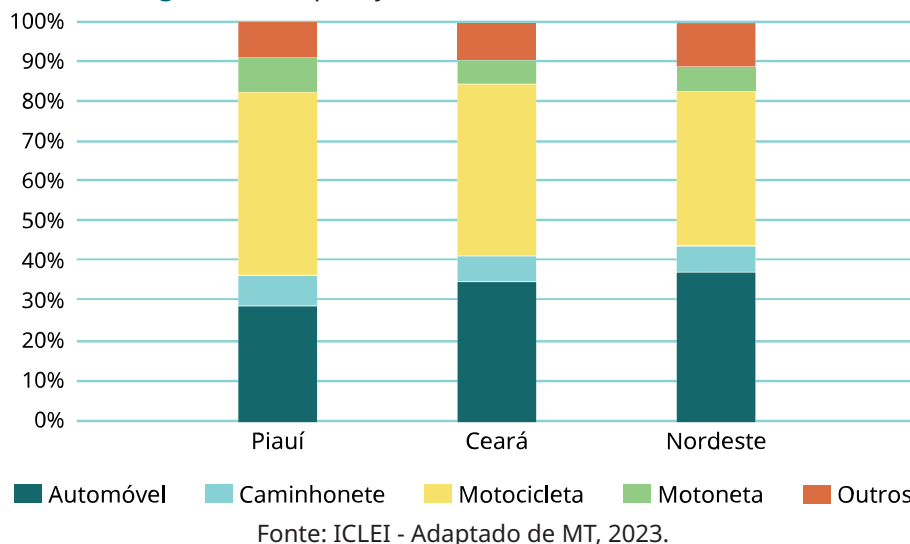
Em 2023, a frota veicular do Piauí contabilizava aproximadamente 1,53 milhão de veículos, composta majoritariamente por motocicletas (46%), seguidas por automóveis (29%), motonetas (9%), caminhonetes (7%) e outros tipos (9%) (MT, 2023).

No Ceará, a frota total atingiu cerca de 3,9 milhões de veículos, com maior participação relativa de automóveis (35%) e menor de motocicletas (43%), quando

³ A categoria "Out Fontes não renováveis" e "Out Fontes renováveis" compreende fontes de energia cuja participação na matriz energética é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

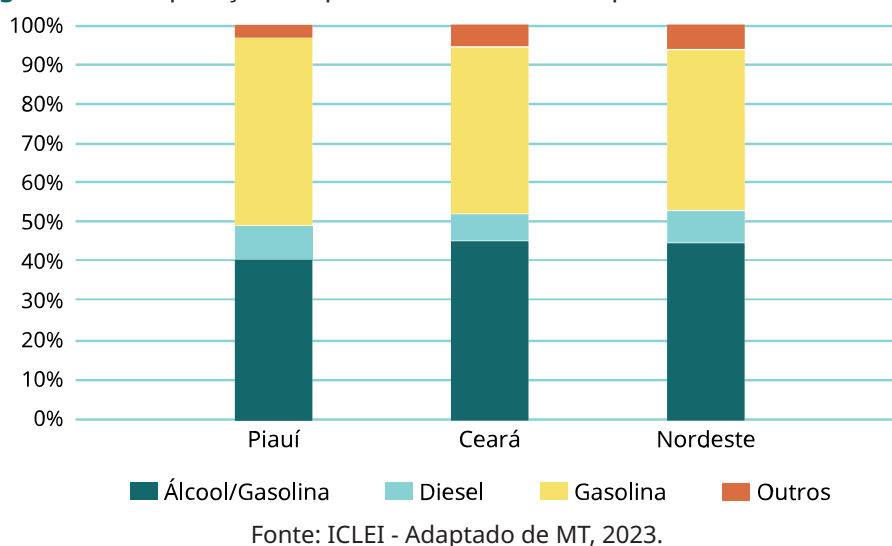
comparado ao Piauí. No Nordeste, com frota total de 22,3 milhões de veículos, observou-se maior participação de automóveis (37%) e menor de motocicletas (38%) em comparação aos dois estados (MT, 2023). A comparação da frota pode ser analisada na Figura 9.

Figura 9: Comparação da frota de veículos em 2023⁴



Quanto ao tipo de combustível utilizado, no Piauí destacavam-se os veículos a gasolina (48%), seguidos dos flex (álcool/gasolina, 41%) e a diesel (8%), enquanto os demais combustíveis somavam 3%. No Ceará, houve maior participação de veículos flex (45%), seguido da gasolina (42%) e do diesel (7%), com 5% em outros combustíveis. Já no consolidado do Nordeste, a configuração foi semelhante à do Ceará: 45% flex, 41% gasolina e 8% diesel, com 6% de outras fontes (Figura 10) (MT, 2023).

Figura 10. Comparação da quantidade de veículos por combustível em 2023⁵



⁴ A categoria "Outros" compreende tipos de veículos cuja participação na frota é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

⁵ A categoria "Outros" compreende veículos cuja participação por tipo de combustível é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

A matriz energética do Piauí apresenta forte predominância de fontes renováveis, especialmente a eólica e a solar, o que contribui para reduzir a intensidade de emissões do setor elétrico em comparação à média nacional. No entanto, o consumo de GLP nos domicílios e, sobretudo, o setor de transportes — marcado por uma frota crescente de automóveis e motocicletas movidos majoritariamente por gasolina e etanol — permanecem como os principais vetores de emissões energéticas.

2.4. RESÍDUOS

De acordo com o PPA 2024-2027, no setor de resíduos, o Programa Piauí Integrado estabelece como compromissos a elaboração de estudos e projetos para obras hídricas, o desenvolvimento e a implementação de políticas voltadas ao aproveitamento de resíduos sólidos e a expansão dos sistemas de saneamento. Entre as ações, destacam-se a implantação e ampliação da coleta de resíduos, o fortalecimento da infraestrutura de abastecimento de água e esgotamento sanitário nas zonas urbanas e rurais, e a instalação de módulos sanitários (SEPLAN, 2024).

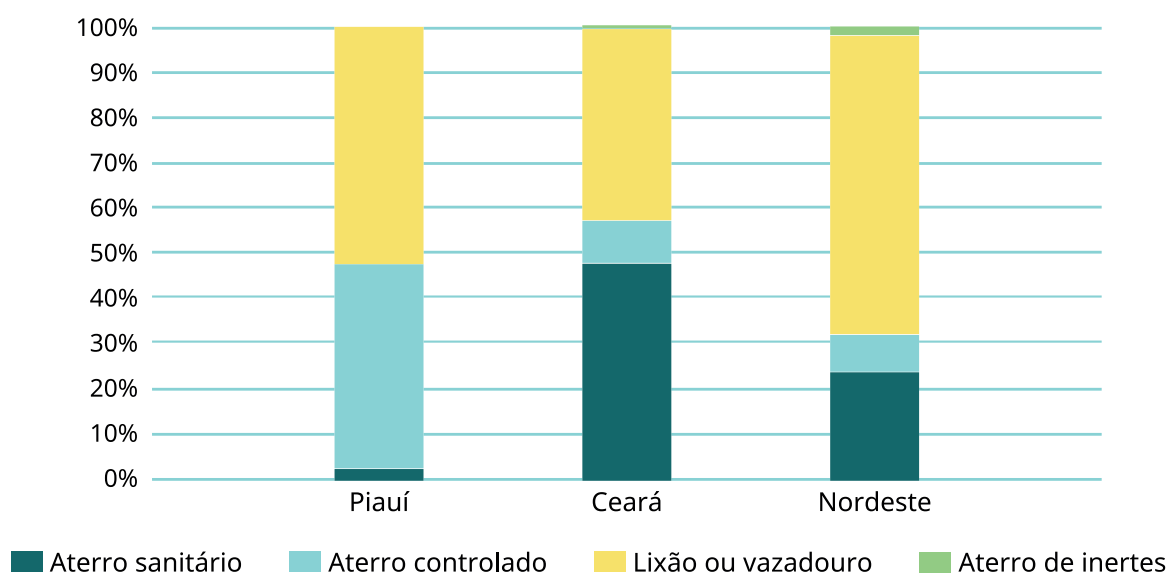
DISPOSIÇÃO FINAL

No Piauí, a cobertura dos serviços de manejo de resíduos sólidos ainda é limitada. Em 2023, aproximadamente 1,97 milhão de habitantes (60% da população estadual) teve acesso à coleta indiferenciada direta ou indireta, realizada com frequência mínima semanal. Já a coleta seletiva alcançou apenas 25,7 mil pessoas (1%), evidenciando baixa estruturação de programas voltados à segregação e reaproveitamento de materiais recicláveis (SINISA, 2025a).

No Ceará, o cenário é mais abrangente, cerca de 84% da população contou com a coleta indiferenciada, enquanto a coleta seletiva atingiu 6%. Na escala do Nordeste, a cobertura de coleta indiferenciada atingiu em média 75% da população, enquanto a coleta seletiva beneficiou 5% (SINISA, 2025a).

Em relação à disposição final dos resíduos sólidos, em 2023, o Piauí totalizou cerca de 1,04 milhão de toneladas em 2023, com predominância de destinação inadequada. Aproximadamente 53% dos resíduos foram encaminhados para lixões ou vazadouros a céu aberto, 45% para aterros controlados e apenas 2% para aterros sanitários (SINISA, 2025a).

Em comparação, no Ceará, o volume total disposto foi de 3,75 milhões de toneladas, com desempenho mais avançado no tratamento, 48% em aterros sanitários, 9% em aterros controlados e 43% ainda destinados a lixões. No consolidado do Nordeste, foram destinados aproximadamente 46,8 milhões de toneladas de resíduos. A maior parte (66%) foi descartada em lixões ou vazadouros, enquanto 23% vão para aterros sanitários, 8% para aterros controlados e 2% para aterros de inertes (SINISA, 2025a). A comparação da disposição final dos resíduos pode ser analisada na Figura 11.

Figura 11. Comparação da disposição final de resíduos em 2023

Fonte: ICLEI - Adaptado de SINISA, 2025a.

ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Em 2023, no Piauí, o atendimento da população com rede coletora de esgoto alcançou 36%, valor ligeiramente acima da média regional (34%). Do esgoto coletado, 99% receberam tratamento. A extensão de rede de esgoto por ligação foi de 13,36 km, superior aos valores observados no Ceará e no Nordeste (SINISA, 2025b).

No Ceará, o atendimento por rede coletora foi de 33% da população. Do volume coletado, 93% foi tratado. A extensão de rede por ligação foi de 6,27 km, menor que a do Piauí. No conjunto do Nordeste, a rede coletora cobriu 34% da população, com 93% do esgoto coletado sendo tratado. A extensão média por ligação foi de 8,39 km, valor intermediário entre os dois estados comparados (SINISA, 2025b).

O setor de resíduos no estado apresenta grande potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa, sobretudo em razão da elevada parcela de destinação em lixões e aterros controlados, que favorecem a geração de metano. No esgotamento sanitário, os índices de atendimento e tratamento são relativamente mais favoráveis, o que contribui para mitigar emissões difusas, mas a cobertura limitada reforça a necessidade de investimentos em infraestrutura e em estratégias de aproveitamento energético e redução do metano gerado nos sistemas de resíduos.

2.5. SETORES PRODUTIVOS

Nos setores produtivos, conforme o PPA 2024-2027, as diretrizes do Piauí apontam para o fortalecimento das cadeias produtivas estratégicas e para a valorização da agricultura familiar e do pequeno produtor, integrados ao potencial da grande indústria. Entre os compromissos, destacam-se os investimentos em tecnologia e infraestrutura para aumentar a produtividade, o incentivo

ao cooperativismo e à economia solidária, bem como o apoio à regularização fundiária de comunidades tradicionais. De forma complementar, busca-se ampliar a assistência técnica e tecnológica aos pequenos negócios e indústrias, promovendo um desenvolvimento econômico mais inclusivo e sustentável (SEPLAN, 2024).

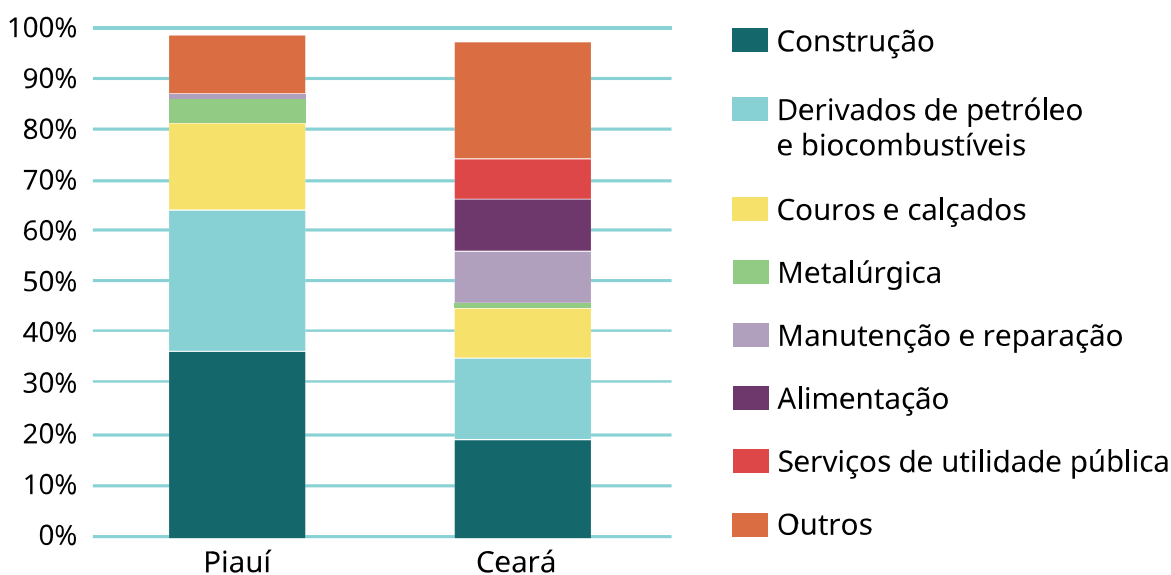
O perfil industrial do Piauí foi de pequena escala no contexto nacional, com um PIB industrial de R\$ 10,2 bilhões em 2022, equivalente a apenas 0,4% da indústria brasileira e representando 15,6% da economia estadual. A atividade empregou cerca de 68 mil trabalhadores, com predominância de micro e pequenas empresas, que concentram a maior parte dos postos de trabalho (CNI, 2025).

Em 2023, a estrutura produtiva foi pouco diversificada, com forte peso da construção (36,6%), dos serviços industriais de utilidade pública (27,5%) e da indústria de alimentos (17%), setores que, somados, responderam por mais de 80% do parque industrial estadual. Em 2023, o estado possuía 5.784 empresas industriais (CNI, 2025).

O estado teve baixa inserção no comércio internacional, com exportações industriais da ordem de US\$ 40 milhões em 2024, das quais mais de 80% vinculadas ao setor de alimentos. Em termos tributários, a arrecadação foi limitada, com apenas R\$ 1 bilhão de ICMS industrial em 2022 e contribuição marginal ao IPI nacional (CNI, 2025).

No Ceará, o parque industrial teve maior peso e diversidade. O PIB industrial alcançou R\$ 35,2 bilhões em 2022, equivalente a 1,5% da indústria nacional e a 19% do PIB estadual. O setor gerou 356 mil empregos, com destaque para a presença de grandes empresas, responsáveis por quase metade da força de trabalho. A estrutura produtiva foi mais diversificada e orientada a setores de maior intensidade produtiva e exportadora, com participação relevante da construção (19,1%), serviços industriais de utilidade pública (16%), couros e calçados (10,3%), metalurgia (10,1%) e alimentos (10%) (CNI, 2025). Os dados podem ser verificados na Figura 12.

Figura 12. Comparação do perfil de indústrias em 2023⁶



Fonte: ICLEI - Adaptado de CNI, 2025.

⁶ A categoria "Outros" compreende indústrias cuja participação no perfil industrial é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

O perfil industrial do PiauÍ, ainda de pequena escala e pouco diversificado, concentra-se em setores de menor intensidade energética e tecnológica, como a construção e os serviços industriais de utilidade pública, que podem gerar emissões associadas principalmente ao consumo de energia elétrica, ao uso de combustíveis em processos e geração de resíduos e efluentes. Nesse sentido, o padrão industrial do estado evidencia diferentes desafios para a mitigação de GEE, mas principalmente por demandas estratégias voltadas à modernização e eficiência energética.

3. METODOLOGIA



3. METODOLOGIA

A elaboração do inventário de emissões de GEE faz uso de metodologias reconhecidas internacionalmente que tem como objetivo dar robustez e clareza ao processo, permitindo a maior agregação e confiabilidade de dados, pré-estabelecendo requisitos e provendo orientações para os cálculos e reportes de resultados.

A proposta do ICLEI no processo de elaboração de inventários compactos é utilizar fontes de dados abertos para apoiar cidades e estados nos diagnósticos locais e obter linhas de base consistentes no planejamento climático e na identificação de ações que apresentam maior potencial de abatimento para determinado território. Nesse contexto, para o estado do Piauí, optou-se por refinar os dados apresentados pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), com foco no período entre 2018 e 2023.

3.1. SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O SEEG é uma iniciativa do Observatório do Clima, em parceria com o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), o Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLORA), o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) e o ICLEI-Governos Locais para Sustentabilidade. O Sistema compreende a produção de estimativas anuais das emissões e remoções de gases de GEE com base nas metodologias adotadas nos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE, que atualmente está na sua quarta versão feita pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que por sua vez se baseia nas diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

Além disso, também apresenta documentos analíticos sobre a evolução das emissões e uma plataforma online para disponibilização dos conteúdos produzidos, de forma interativa e gratuita. Atualmente, está em sua 12ª coleção, que engloba dados de 1970 a 2023 - com exceção de Mudanças do Uso da Terra, cuja série começa em 1990.

Em 2021, a partir da compreensão do impacto da ação local no enfrentamento à mudança do clima, o SEEG Municípios foi lançado, com objetivo de preencher a lacuna de dados nas estimativas de emissões de GEE de governos subnacionais (com dados a partir de 2000), disponibilizando informações para os 5.570 municípios brasileiros. No SEEG, os resultados são desagregados em cinco setores que são fontes de emissões ou remoções, conforme indicado no Quadro 4.

Quadro 7. Setores e descrições segundo a metodologia SEEG

Sector	Descrição
Energia	Emissões fugitivas, ou seja, aquelas que ocorrem a partir da emissão não intencional ou acidental de GEE durante os processos de extração, processamento, transformação e distribuição de combustíveis fósseis.
Resíduos	Emissões relacionadas exclusivamente com o tratamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos. São estimadas as emissões de GEE oriundas de degradação da matéria orgânica e outros compostos nas diferentes rotas de tratamento aplicadas na gestão de resíduos. Vale destacar que emissões relacionadas ao manejo de dejetos animais e a queima a céu aberto de resíduos da agricultura são contabilizados no setor de Agropecuária.
Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)	Emissões relacionadas com a transformação física ou química da matéria em processo industriais e uso de produtos. As principais fontes de emissão estão relacionadas à produção industrial de ferro e aço, cimento e de produtos químicos. Ademais, estima-se também as emissões de GEE pelo uso de hidrofluorcarbonos (HFCs) em refrigeradores, espumas, geladeiras e outros tipos de produtos.
Agropecuária	Emissões oriundas de atividades de agropecuária como a criação de rebanhos, pela fermentação entérica e o manejo de dejetos. Emissões de variedade de processos como nitrificação/ desnitrificação, aplicação de fertilizantes, cultivo de arroz, queima de resíduos agrícolas, etc.
Mudança do uso da terra (MUT)	Emissões relacionadas ao uso e à cobertura da terra e relacionadas à transição de usos (e.g., floresta que passa a ser pasto) e remoções relacionadas à manutenção de tipologias naturais (i.e., remoções por áreas protegidas) ou relativas a processos de regeneração de vegetação secundária.

Fonte: ICLEI com base no SEEG, 2024a.

Dentre os setores, o SEEG calcula as emissões brutas, em que são contempladas apenas as atividades fontes de emissão de GEE. Além disso, o sistema incorpora as emissões líquidas, ou seja, aquela que contemplam as atividades fontes de emissão e remoção de CO₂, essa última caracterizada pelo sequestro de CO₂ da atmosfera que ocorre durante o processo de fotossíntese pela fixação de carbono (C) e liberação de oxigênio (O₂) (IPCC, 2003). Essas remoções podem ser oriundas da manutenção de áreas protegidas, pelo crescimento de vegetação secundária em regeneração, seja natural ou ativa, e pelas conversões do tipo do solo que apresentam um maior estoque de carbono, como por exemplo uma antiga área de pastagem que passou a ser uma floresta plantada, conforme a abordagem também apresentada no inventário nacional de GEE.

Neste trabalho, foi realizada uma análise das informações obtidas dos dados do SEEG, com o objetivo de caracterizar o perfil do estado. É importante notar que, por se basear em dados secundários, esta abordagem possui incertezas inerentes

e limitações na granularidade para o contexto local. Contudo, ela representa uma referência robusta e inicial para a implementação da agenda climática.

3.2. POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL

De acordo com as diretrizes do IPCC, o inventário deve contemplar os referidos GEE: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), os gases fluorados (*F-gases*): hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorocarbonos (PFCs).

Cada GEE possui um Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential -GWP*) associado, o qual mede o impacto de cada gás no aquecimento global. O GWP é um valor relativo que compara o potencial de aquecimento de uma determinada quantidade de gás em relação à mesma quantidade de CO₂ que, por padronização, tem um GWP com valor igual a 1. Este potencial é expresso em termos de equivalência de CO₂ (CO₂e).

Para o Inventário Compacto de GEE do estado do Piauí, foram considerados os potenciais de aquecimento global do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (*Fifth Assessment Report* ou AR5). Os valores de GWP são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos Gases de Efeito Estufa

Gases de Efeito Estufa	GWP
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido Nitroso (N ₂ O)	265
Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆)	23.500

Fonte: IPCC, 2013.

3.3. PERÍODO DE ANÁLISE

O presente Inventário teve como finalidade identificar e sistematizar informações sobre as emissões e remoções de GEE no Piauí entre os anos de 2018 e 2023. Para isso, foram utilizados dados do SEEG, a fim de proporcionar tanto uma análise específica atualizada das emissões mais recentes, quanto um panorama geral das emissões no estado ao longo dos anos.

Por exemplo, a análise específica pode identificar setores que apresentaram um aumento significativo nas emissões em determinado ano, enquanto o panorama geral pode revelar se esse aumento é parte de uma tendência de longo prazo ou um evento isolado. Com essas informações, o governo estadual pode tomar decisões mais informadas sobre como alocar recursos e implementar medidas para reduzir as emissões nesses setores específicos.

3.4. MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO

No geral, as estimativas podem ser obtidas, de forma simplificada, a partir da multiplicação do dado de cada atividade pelo seu respectivo fator de emissão.⁷ De modo que são calculadas as emissões ou remoções, segundo a equação:

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

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 Inventário;
E_{i,g,y}	Emissões ou remoções de GEE <i>g</i> atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em tCO ₂ e;
DA_{i,y}	Dado de atividade consolidado referente à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> ;
FE_{i,g,y}	Fator de emissão ou remoção de GEE <i>g</i> atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em t GEE g/u;
GWP_g	Potencial de aquecimento global de GEE <i>g</i> , em tCO ₂ e/ t GEEg.

⁷ As metodologias adotadas para cada um dos setores e os respectivos fatores de emissão adotados estão apresentadas nas notas metodológicas setoriais apresentadas no site do SEEG. Disponível em: <<https://seeg.eco.br>>

4.

RESULTADOS DO INVENTÁRIO

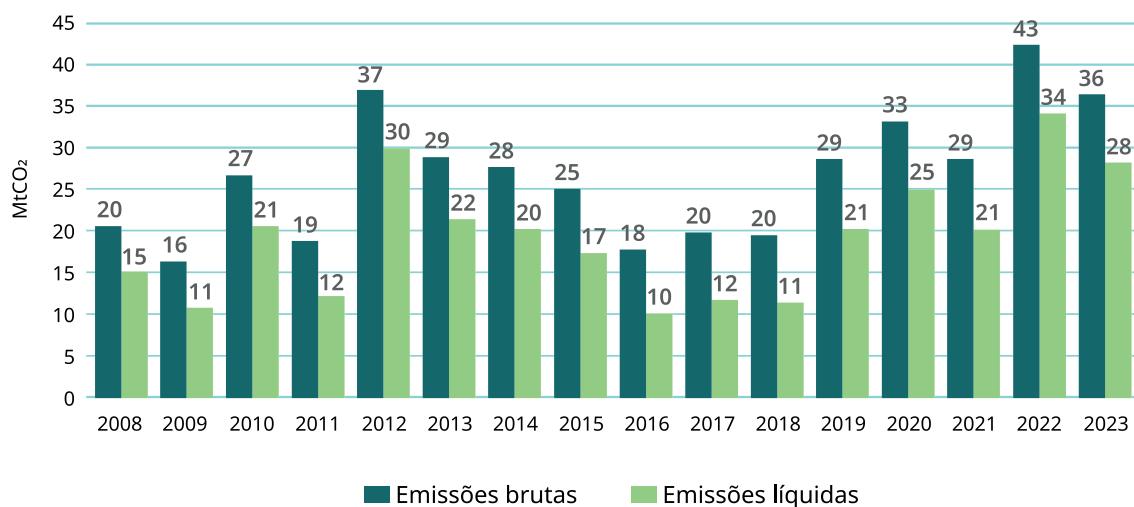


4. RESULTADOS DO INVENTÁRIO

De acordo com dados apresentados na plataforma SEEG, que oferece um histórico das emissões de GEE nos últimos 15 anos (2008-2023), o estado do Piauí apresentou um panorama crescente nas suas emissões. Em 2008, o estado registrou uma emissão bruta de 20,4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂e). Contudo, em 2023, as emissões alcançaram 36,4 MtCO₂e, representando aumento de 78% das emissões totais ao longo deste período.

Já em relação às emissões líquidas, aquelas que consideram o balanço do carbono ao considerar a remoções de CO₂ da atmosfera por meio de atividades como a manutenção de áreas protegidas e a regeneração de vegetação secundária (áreas em processo de recuperação após desmatamento ou uso agrícola), o panorama também se mostra crescente. As emissões passaram de 15,3 MtCO₂e em 2008 para 28,3 MtCO₂e em 2023, o que representa aumento de 84% no período analisado. Esse aumento nas emissões líquidas, mesmo considerando as remoções de CO₂, demonstra que as atividades emissoras no estado estão superando a capacidade de absorção de carbono pelos ecossistemas locais. A Figura 13 mostra o comportamento das emissões líquidas e brutas entre o período de 2008 a 2023.

Figura 13. Emissões brutas e líquidas no Piauí (2008-2023)⁸



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A análise da série histórica demonstra uma oscilação nas emissões no decorrer dos anos. O ano de 2022 se destacou como o ano de maior contribuição, atingindo 42,5 MtCO₂ em emissões brutas e 34,3 MtCO₂ em emissões líquidas. Em contraste, 2009 apresentou a menor contribuição, com 16,3 MtCO₂ de emissões brutas e de 11 MtCO₂ de emissões líquidas.

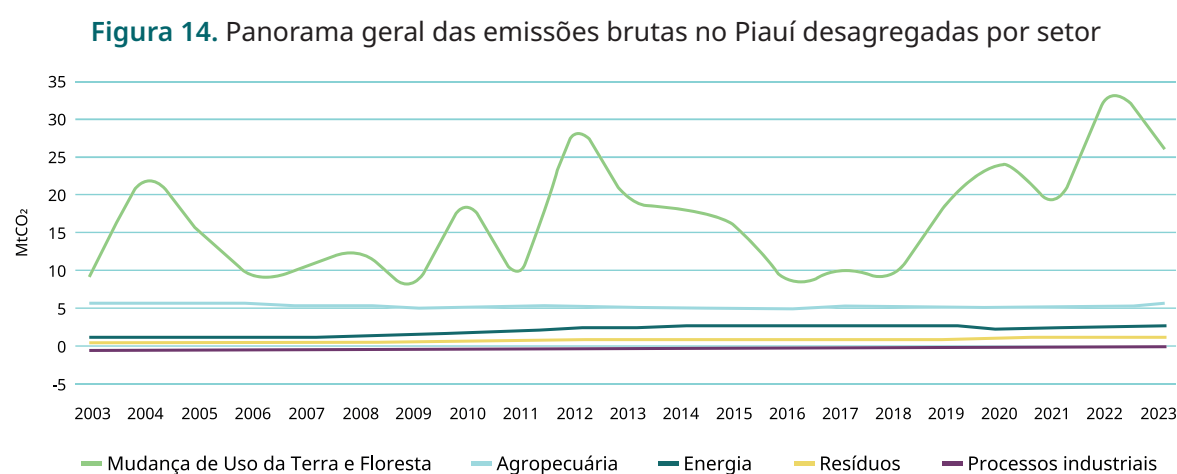
Ao avaliar os principais setores emissores em 2023, destacam-se Mudança de Uso da Terra e Floresta (MUT) e Agropecuária, responsáveis por 71,8% e 16,2% das emissões brutas do estado, respectivamente. O setor de MTU está relacionado

⁸ Valores arredondados para mais.

principalmente com atividades emissoras de alteração de uso da terra, principalmente pelo desmatamento, e a Agropecuária se relaciona à presença de rebanhos bovinos e suas atividades correlatas.

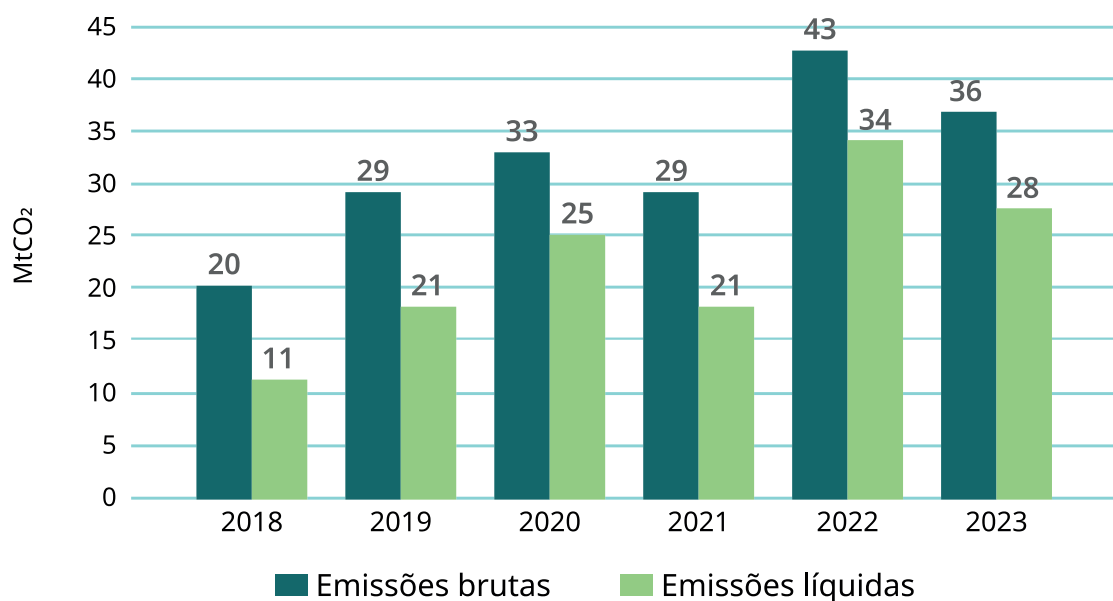
Em todo o período analisado, os setores de Agropecuária, Energia e Resíduo mantiveram um padrão semelhante ao registrado no último ano de análise. A maior variação ocorreu no setor de MUT, com cerca de 187% de aumento de emissões entre 2003 e 2023. O setor de Processos Industriais, que até o ano de 2014 representava 0,9% das emissões no estado do Piauí, reduziu suas emissões significativamente a partir de 2015, até zerar a contribuição setorial em 2018. Desde então, não são apresentadas estimativas para o setor.

A Figura 14 apresenta um panorama geral das emissões brutas por setor de acordo com os resultados obtidos a partir do SEEG (2024).



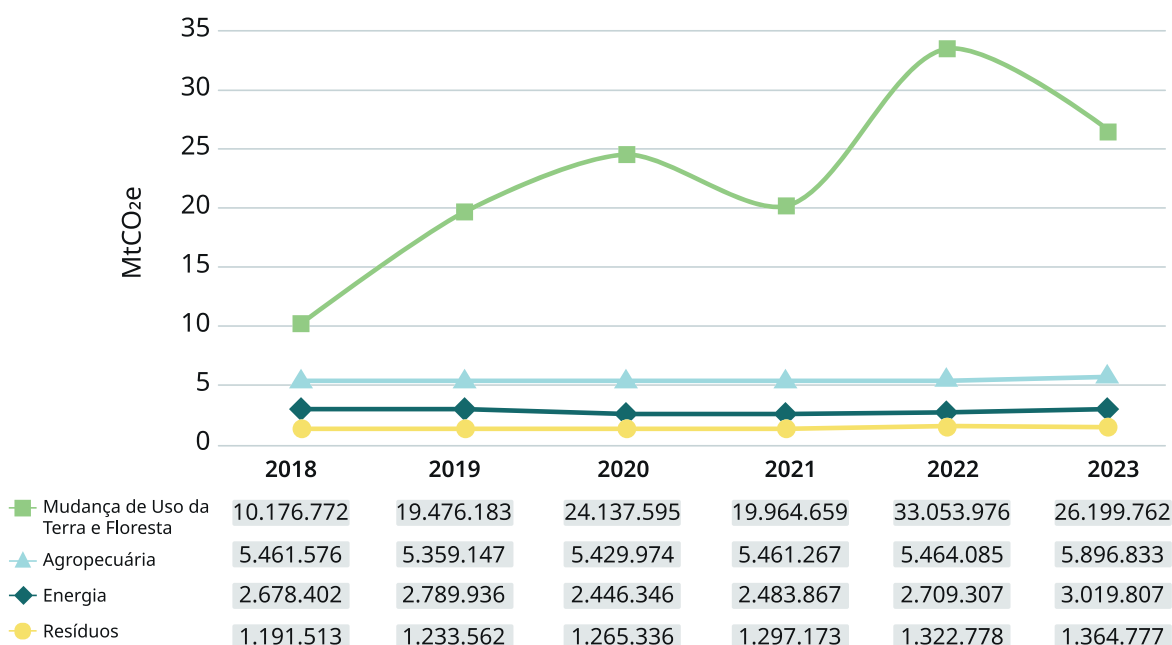
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Focando a análise para os limites do atual inventário, considerando o período de 2018 a 2023, observa-se que 2022 e 2023 foram os anos de maior emissão e 2018 foi ano de menor contribuição na série analisada, com 19,5 MtCO₂e emitidos. Neste período, observou-se um acréscimo de 87% nas emissões, com média de crescimento anual de 16%. O único período com comportamento diferente da série foi 2021 (29,2 MtCO₂e), cuja emissões foram 12% menores que em 2020 (33,3 MtCO₂e). Aspectos que podem estar relacionados com a Pandemia Covid-19 e a recessão econômica, conforme será posteriormente detalhado. A Figura 15 traz o comparativo de emissões brutas e emissões líquidas entre 2018 e 2023.

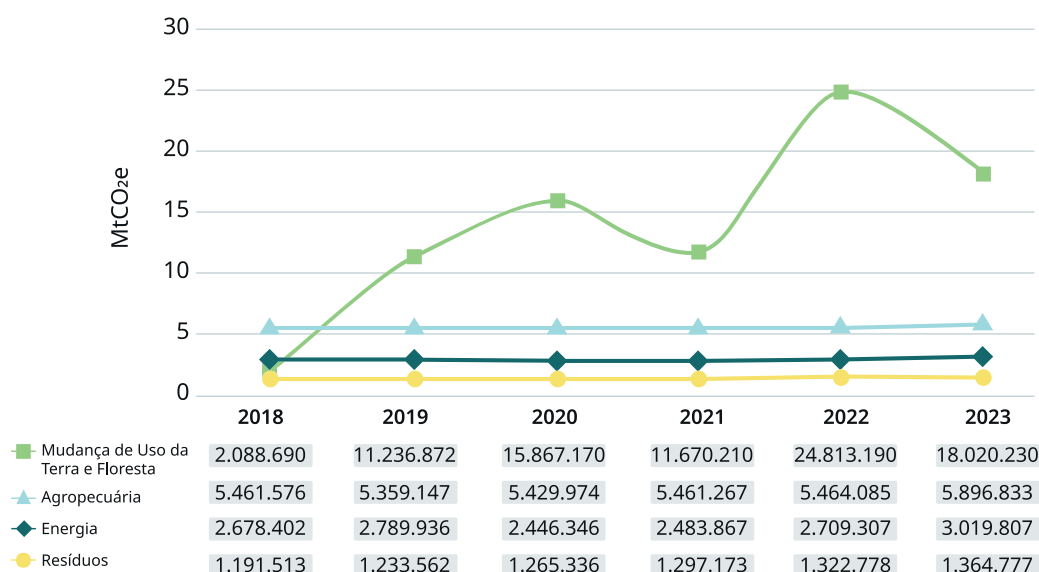
Figura 15. Comparação de emissões brutas e líquidas (2018-2023)

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Por meio das Figura 16 e Figura 17, temos o quantitativo de emissões brutas e líquidas por setor no mesmo período. Como apontado anteriormente, o setor de Processos Industriais, a partir de 2018, não apresentou emissões diretas e, por isso, não aparece nos gráficos a seguir.

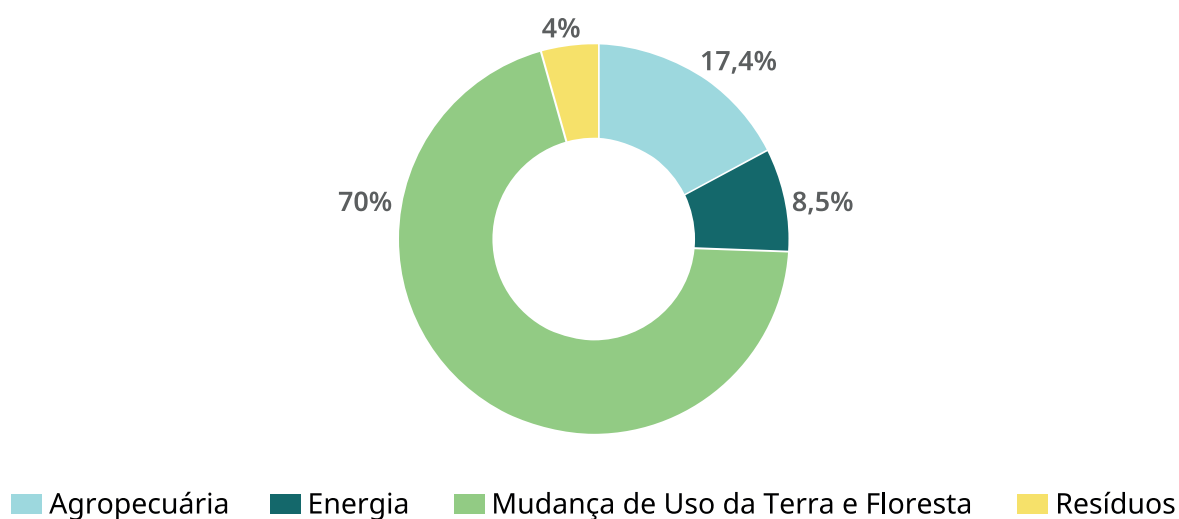
Figura 16. Emissões brutas por setor no Piauí (2018-2023)

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

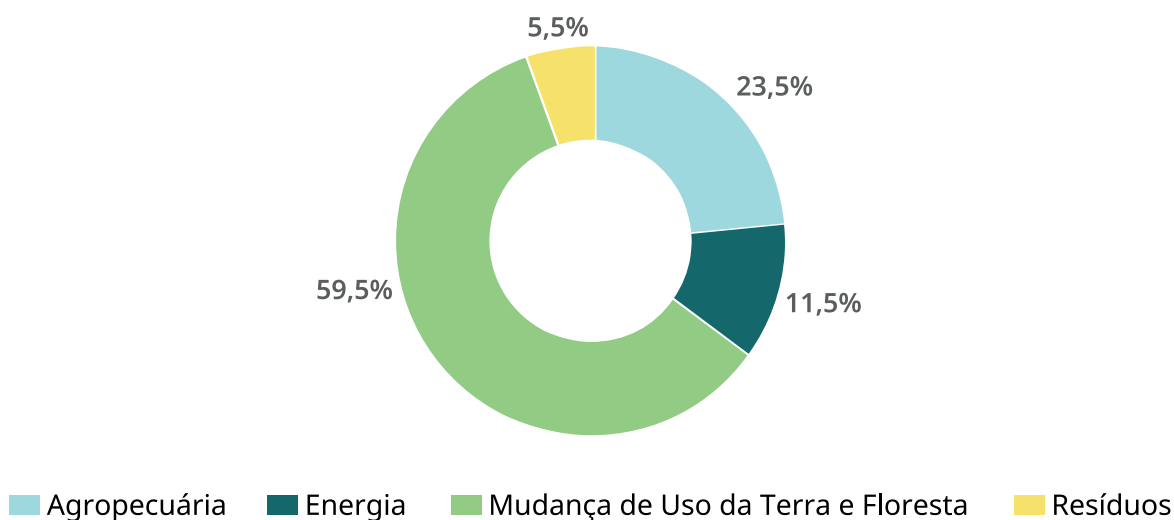
Figura 17. Emissões líquidas por setor no Piauí (2018-2023)

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Considerando a média das contribuições setoriais no período de 2018 a 2023, 70% das emissões do estado são advindas do setor de Mudança do Uso da Terra e Floresta, seguido por Agropecuária (17,4%). Já quando são consideradas as emissões líquidas, ocorre alteração de quanto cada setor representa de emissões ao estado, uma vez que o setor de MUT conta com remoções nos seis anos analisados. Dessa forma, a média entre 2018 e 2023 passa a ser: MUT representa 59,5% com emissões líquidas, devido às remoções de vegetação secundária (que serão detalhadas no tópico 4.1.); a Agropecuária passa de uma contribuição de 17,4% para 23,5% no total de emissões; o setor de Energia, na média, passa de 8,5% brutos para 11,5% líquidos; Resíduos, o setor com menor contribuição no estado, de 4% brutos passa a contribuir com 5,5% de emissões líquidas. As Figura 18 e Figura 19 apresentam as contribuições médias dos setores.

Figura 18. Média de emissões brutas por setor (2018-2023)

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 19. Média de emissões líquidas por setor (2018-2023)

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Nas seções a seguir serão detalhadas as emissões setoriais e analisados o comportamento das emissões ao longo dos anos. As análises serão focadas nas emissões das atividades dentro de cada setor, com exceção do setor de MUT, onde também serão detalhadas as remoções estaduais.

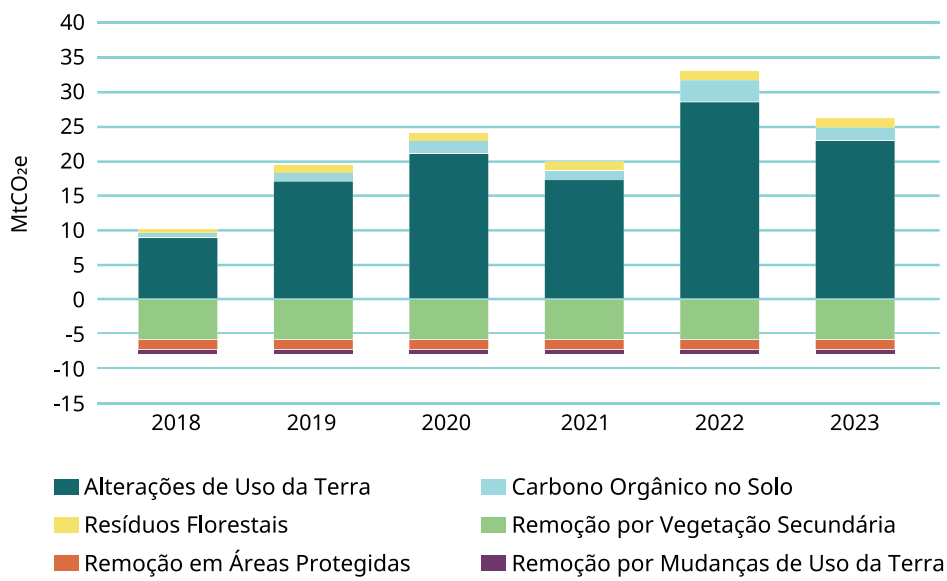
4.1. SETOR DE MUDANÇAS DE USO DA TERRA E FLORESTA

O setor de Mudanças de Uso da Terra e Floresta se refere às emissões de GEE provenientes de alterações no uso do solo, como desmatamento, queima de vegetação e conversão de florestas em áreas agrícolas ou urbanas, além das remoções de CO₂ por áreas protegidas oficiais, por mudanças de uso da terra e por vegetação secundária, conforme o inventário nacional de GEE (MCTI, 2020). O setor é essencial para o cumprimento das metas nacionais de redução de emissões, uma vez que representa uma das maiores contribuições nas emissões brasileiras.

Entre 2018 e 2023, no estado do Piauí, foi o setor que mais contribuiu com emissões, sendo responsável pela emissão líquida média de aproximadamente 14 MtCO₂e. Em 2018, observou-se a menor emissão, com 2,08 MtCO₂e, e em 2022 a maior, com 24,8 MtCO₂e.

A variação significativa de 762,8% nas emissões líquidas de CO₂e no período reflete mudanças substanciais no uso do solo, que envolvem tanto a liberação de carbono, como no caso do desmatamento e da conversão de áreas florestais para usos agrícolas e urbanos, quanto o sequestro de carbono devido à regeneração de vegetação e à manutenção de áreas protegidas. As emissões anuais podem ser observadas na Figura 20 e Tabela 2.

Figura 20. Emissões e Remoções de Mudanças de Uso da Terra e Floresta por categoria (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Tabela 2. Emissões líquidas do setor de Mudanças de Uso da Terra e Floresta

Setor		Toneladas de CO ₂ e					
		2018	2019	2020	2021	2022	2023
MUT	Emissões	10.162.222	19.462.473	24.120.276	19.943.387	33.025.074	26.198.892
	Remoções	-8.073.532	-8.225.601	-8.253.106	-8.273.177	-8.211.884	-8.178.662
	Total	2.088.690	11.236.872	15.867.170	11.670.210	24.813.190	18.020.230

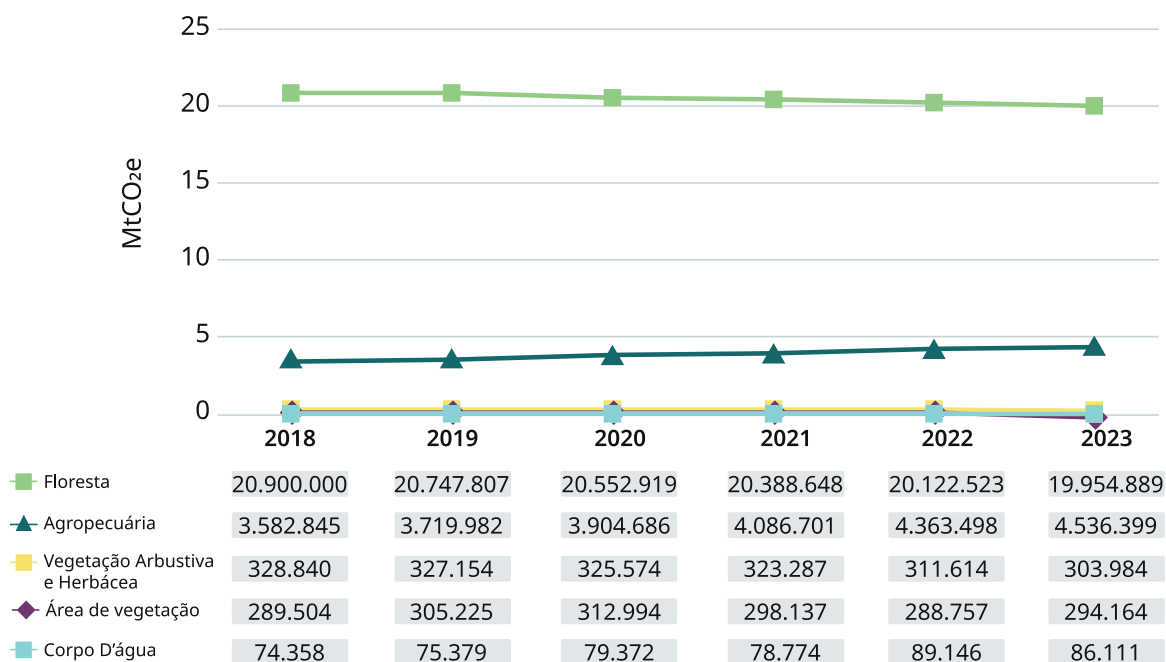
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

De acordo com dados apresentados no MapBiomass (2024)⁹, que é uma das bases de referência para as estimativas de emissões da plataforma SEEG, o comportamento de uso da terra, entre 2018 e 2023, foi marcado por:

- Acréscimo de 26,6% de expansão agropecuária;
- Acréscimo de 15,8% de corpos d'água;
- Acréscimo de 1,6% de área não vegetada, associada à área urbana e praia;
- Redução de 7,6% de vegetação arbustiva e herbácea, como formação campestre e de campos alagados;
- Redução de 4,5% em floresta.

A Figura 21 apresenta essas variações, em milhares de hectares, ao longo dos anos analisados.

⁹ O MapBiomass é uma iniciativa que envolve universidades, organizações não governamentais e empresas de tecnologia com o objetivo de compreender as transformações do território brasileiro por meio do mapeamento anual da cobertura e uso da terra.

Figura 21. Cobertura e uso da terra no Piauí, em Mha (2018-2023)

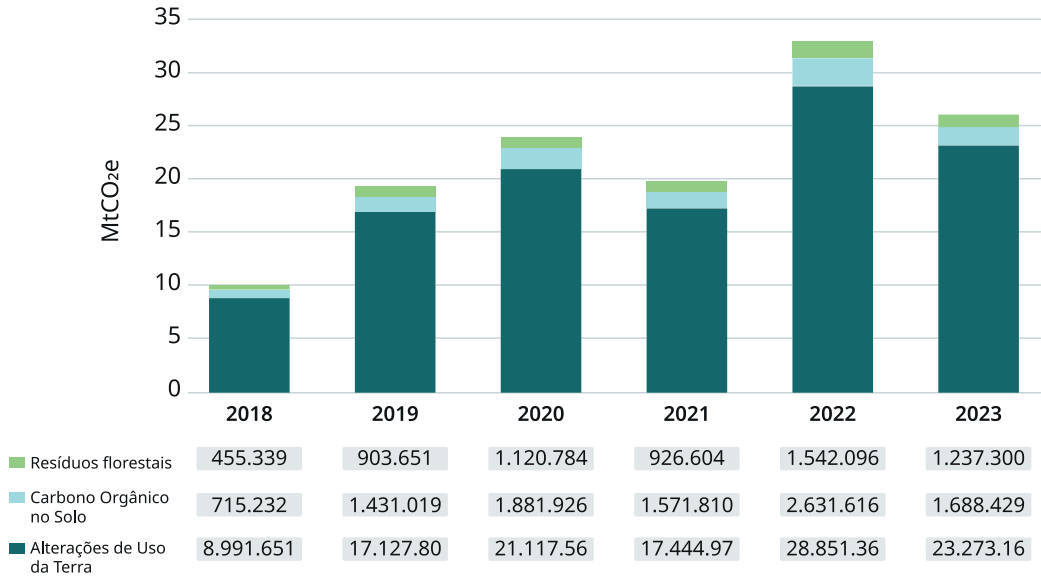
Fonte: ICLEI adaptado de MapBiomass, 2024.

Em média, o estado foi majoritariamente ocupado por áreas dedicadas à floresta (no caso dos biomas presentes, seriam a formação florestal, formação savânica e mangue), representando 81,2% da área. Já em relação à vegetação arbustiva e herbácea (como a formação campestre), observou-se 1,3% de presença no território; a área não vegetada ocupou, em média, 1,2% do estado; corpos d'água, 0,3%; e, por fim, a agropecuária, tanto pastagem quanto agricultura, compôs 16% da cobertura do solo no Piauí.

Destaca-se que no período analisado foi observado um aumento de 26% de uso antrópico (expansão urbana, pastagem ou outras formas de cultivo), com uma redução de 5% na área de florestas nativas e paisagens naturais.

Ao se analisar as emissões do setor, a alteração de uso da terra (caracterizada pelo desmatamento para agropecuária ou expansão de área urbana), carbono orgânico no solo e resíduos florestais, observa-se que todas estas atividades apresentaram consideráveis aumentos no período deste inventário. As três categorias emissoras juntas sofreram variação de 155,5%. O ano de 2018, de menor valor da série, totalizou 10,1 MtCO₂e e 2022 foi o período de maior emissão, com 33 MtCO₂e. A Figura 22 demonstra a evolução das emissões em MUT, com destaque para o desmatamento, sendo responsável por cerca de 90% das emissões no setor.

Figura 22. Emissões de MUT por categoria (2018-2023)

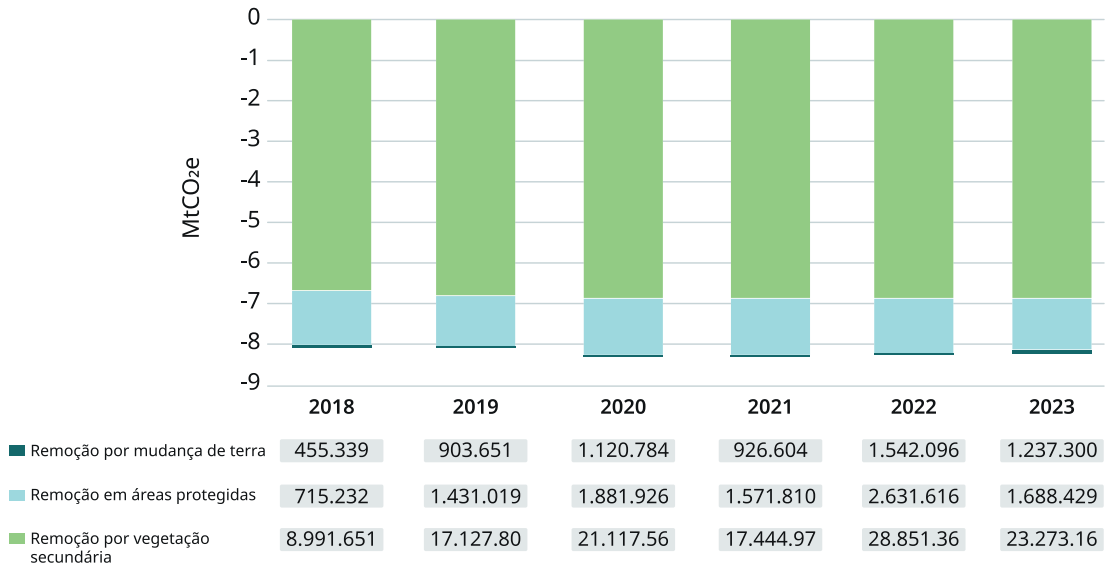


Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Já em relação às remoções, tem-se regeneração de vegetação secundária e vegetação nativa estáveis, bem como remoções pela mudança do uso da terra (como alterações que aumentam o estoque de carbono no território analisado), como, por exemplo, uma área anteriormente destinada à atividades de agropecuária que passaram por um processo de reflorestamento.

No estado, há uma tendência de redução no sequestro de carbono, especialmente nas áreas protegidas e nas remoções por mudanças no uso da terra, que apresentaram uma queda de 1,2% e 14,6%, respectivamente. Por outro lado, a remoção por vegetação secundária teve um pequeno aumento de 2%. A Figura 23 mostra o perfil das remoções em MUT no estado.

Figura 23. Remoções de MUT por categoria (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Os 33 municípios piauienses que fazem parte do Matopiba apresentam notável representatividade nas emissões líquidas de Mudanças de Uso da Terra no período deste inventário, sendo que as categorias emissoras somam 64,1% do total do estado e as remoções são 18,4% do todo, conforme é possível verificar de cada categoria na Tabela 3.

Tabela 3. Emissões líquidas dos 33 municípios do Matopiba no setor MUT

Categoria	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Alterações de uso da terra	3.382.655	10.786.635	13.910.607	10.518.171	20.043.005	16.069.453
Carbono orgânico no solo	271.205	952.775	1.246.618	944.501	1.825.063	1.325.172
Remoção em áreas protegidas	-452.985	-452.551	-452.296	-452.229	-452.195	-452.144
Remoção por mudança de uso da terra	-22.550	-27.133	-11.787	-13.815	-14.700	-24.900
Remoção por vegetação secundária	-1.000.087	-1.042.938	-1.062.812	-1.067.007	-1.041.566	-1.015.511
Resíduos florestais	174.518	573.468	741.105	560.455	1.070.428	857.062
Total	2.352.756	10.790.256	14.371.435	10.490.076	21.430.035	16.759.132

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.2. SETOR DE AGROPECUÁRIA

No setor são contabilizadas as emissões provenientes da fermentação entérica, processo de digestão de celulose no estômago de animais ruminantes, que emite metano; do tratamento e da disposição que os dejetos de animais; do cultivo de arroz irrigado; da queima dos resíduos agrícolas do cultivo de cana-de-açúcar e algodão; e do manejo dos solos agrícolas, considerando o incremento de nitrogênio via utilização de insumos, operações agrícolas e uso de calcário.

A Agropecuária contribuiu com 17,4% das emissões brutas do Piauí no período de 2018 a 2023. As emissões anuais deste setor podem ser observadas na Tabela 4, em que é possível notar um comportamento estável, com média anual de 5,5 MtCO₂e. Em 2023, observou-se a maior emissão, com 5,8 MtCO₂e, e em 2019 a menor, com 5,3 MtCO₂e. De modo geral, observa-se certa estabilização das emissões ao longo dos anos, com pequeno aumento de 8% no período analisado.

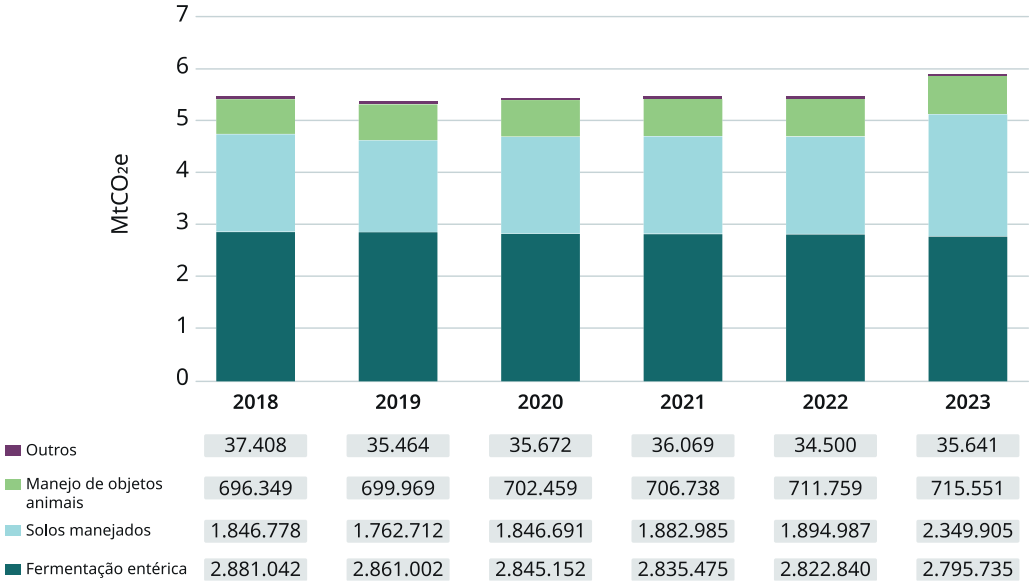
Tabela 4. Emissões do setor de Agropecuária

Setor	Toneladas de CO ₂ e					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agropecuária	5.461.577	5.359.147	5.429.974	5.461.267	5.464.086	5.896.832

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Em relação às categorias emissoras, a fermentação entérica dos rebanhos se qualifica como a principal fonte de emissão setorial, com contribuição de 52%, seguida por solos manejados, com contribuição de 35% e manejo de dejetos animais, que por sua vez apresentou a contribuição de 13%. A Figura 24 apresenta as emissões setoriais para cada um dos anos analisados.

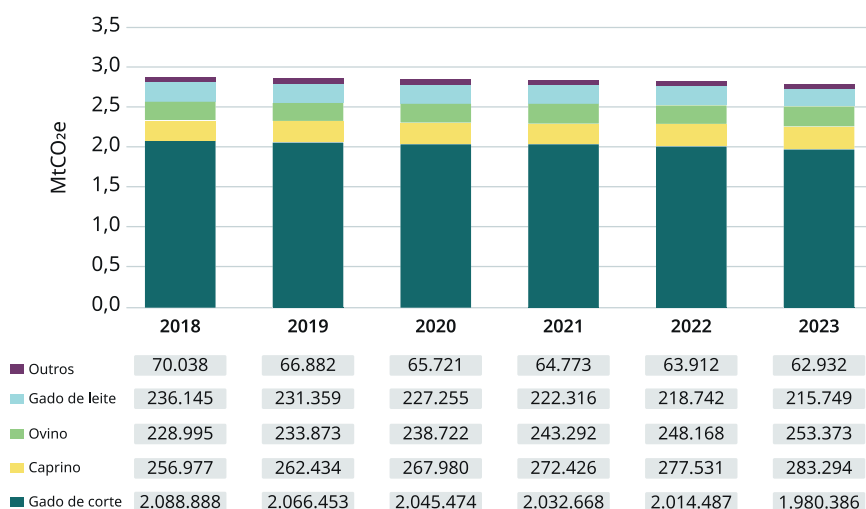
Figura 24. Emissões da Agropecuária por categoria (2018-2023)¹⁰



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Conforme apresentado acima, a maior contribuição é oriunda da fermentação entérica, em especial pela significativa presença de rebanho de bovino no estado, a presença de gado de corte e gado de leite contribuem com 82% das emissões relacionadas com essa atividade, sendo o primeiro o mais significativo, com contribuição de 72%. A partir da Figura 25 é possível verificar a contribuição dos diferentes tipos de rebanhos no período analisado.

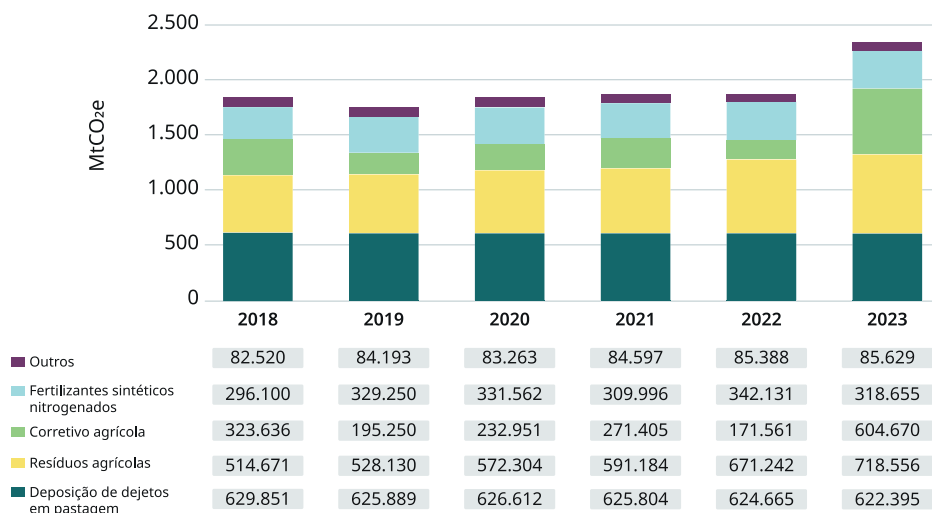
¹⁰ A categoria “Outros” compreende Cultivo de Arroz e Queima de Resíduos Agrícolas, cuja participação nas emissões de agropecuária é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

Figura 25. Emissões de fermentação entérica por tipo de animal (2018-2023)¹¹

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Outra importante fonte de emissão é a categoria solos manejados, o que está relacionado ao uso de resíduos agrícolas, calcário, aplicação de compostos orgânicos, depósito de dejetos de animais em áreas de pastagem, entre outras práticas que influenciam a liberação de óxidos de nitrogênio e metano.

No contexto do estado, essas emissões estão majoritariamente associadas com deposição de dejetos em pastagem (32%); resíduos agrícolas (31%), com maior influência do cultivo de soja; e, da aplicação de fertilizantes sintéticos (17%). A contribuição de cada técnica pode ser observada na Figura 26.

Figura 26. Emissões de solos manejados por tipo (2018-2023)¹²

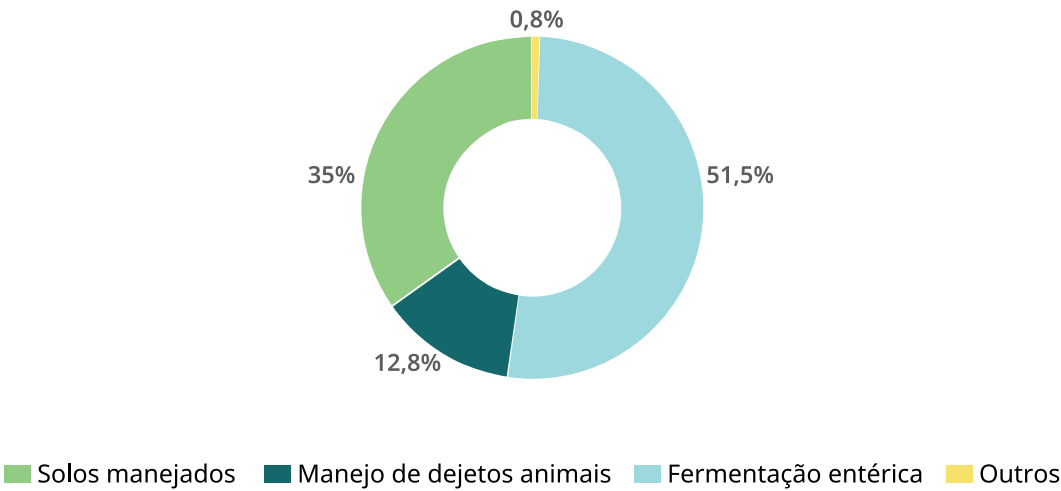
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A partir da Figura 27 é possível observar o comportamento médio de emissões em Agropecuária, incluindo as categorias com menor participação nas emissões.

¹¹ A categoria "Outros" refere-se aos rebanhos de suínos, equinos, muares, bubalinos e asininos.

¹² A categoria "Outros" compreende Solos Orgânicos, Aplicação de Resíduos Orgânicos e Mineralização de Nitrogênio, cuja participação nas emissões de solos manejados é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

Figura 27. Média por categoria emissora da Agropecuária (2018-2023)¹³



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Num exercício de comparação das emissões associadas às culturas de arroz, feijão, milho e soja entre os municípios com maior produção de grãos na região do Matopiba¹⁴ e o estado, temos que a soja se destacou como a principal responsável pelas emissões, totalizando aproximadamente 1,5 MtCO₂e entre 2018 e 2023 no estado, sendo 74% deste total com origem nos 5 municípios. Em seguida, o milho gerou mais de 1 MtCO₂e, com 68,2% vindo dos municípios, enquanto o feijão e o arroz tiveram impactos consideravelmente menores, com 60.321 tCO₂e (15,5% das 5 cidades) e 206.728 tCO₂e (21% dos 5 municípios), respectivamente.

A Tabela 5 mostra os valores anuais das culturas analisadas e as emissões associadas a cada uma tanto para o estado quanto para os municípios de Baixa Grande do Ribeiro, Bom Jesus, Ribeiro Gonçalves, Santa Filomena e Uruçuí.

Tabela 5. Comparação de emissões associadas às culturas de arroz, feijão, milho e soja

Emissões em tCO ₂ e	Arroz (municípios)	Arroz (Estado)	Feijão (municípios)	Feijão (Estado)	Milho (municípios)	Milho (Estado)	Soja (municípios)	Soja (Estado)
2018	8.884	37.886	1.381	13.532	74.396	119.593	170.173	227.652
2019	5.771	33.191	960	11.330	95.051	144.607	160.592	214.406
2020	8.952	34.743	1.470	11.956	113.155	173.294	165.847	225.622
2021	8.390	34.050	1.359	7.676	117.678	168.983	182.888	250.176
2022	5.143	32.854	2.683	9.413	144.161	204.154	209.675	283.682
2023	6.331	33.999	1.511	6.414	156.385	216.861	230.623	312.411
Total	43.471	206.728	9.364	60.321	700.826	1.027.492	1.119.798	1.513.949

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

¹³ A categoria “Outros” compreende Cultivo de Arroz e Queima de Resíduos Agrícolas, cuja participação na média por categoria emissora da Agropecuária é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

¹⁴ Baixa Grande do Ribeiro, Bom Jesus, Ribeiro Gonçalves, Santa Filomena e Uruçuí (SIDRA, 2023b).

As emissões no setor evidenciam que as práticas agropecuárias são atividades relevantes no estado, bem como o comportamento das emissões, marcado pela estabilidade das emissões ao longo dos anos sugere que as práticas, como o manejo de rebanhos, a utilização de insumos agrícolas e as técnicas de cultivo, não passaram por grandes mudanças durante esse período, apesar, por exemplo, da existência do Plano de Desenvolvimento Agropecuário e Agroindustrial do Matopiba, refletindo a manutenção de técnicas tradicionais de manejo e produção e, com isso, também as estimativas das emissões de GEE.

4.3. SETOR DE ENERGIA

No setor de Energia estão alocadas as emissões de gases de efeito estufa provenientes da produção, transformação e consumo de energia. São alocados no setor emissões tanto de gases emitidos pela queima de gasolina em um motor que movimenta um carro quanto os emitidos pela queima de gás fóssil para aquecer uma caldeira industrial.

Isso posto, as emissões deste setor partiram do patamar de 2,6 MtCO₂e em 2018 e atingiram a contribuição de 3 MtCO₂e em 2023, o que significa 12,7% de aumento de emissões no período. Desde o ano de 2020 registra-se aumento, ano a ano, nas emissões. Comparando 2020 com os anos seguintes (2021 a 2023), foi observado um acréscimo de 23,4% nas emissões. Esse salto está relacionado possivelmente com a retomada de atividades econômicas após o primeiro ano de pandemia de COVID-19. A Tabela 6 mostra os totais do setor.

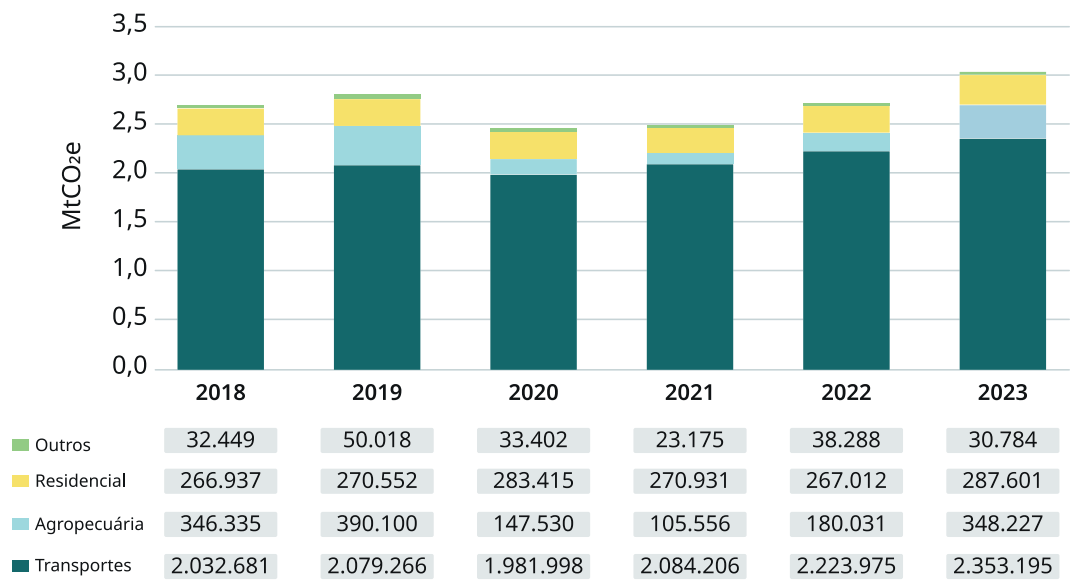
Tabela 6. Emissões do setor de Energia

Setor	Toneladas de CO ₂ e					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Energia	2.678.402	2.789.936	2.446.345	2.483.868	2.709.306	3.019.807

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

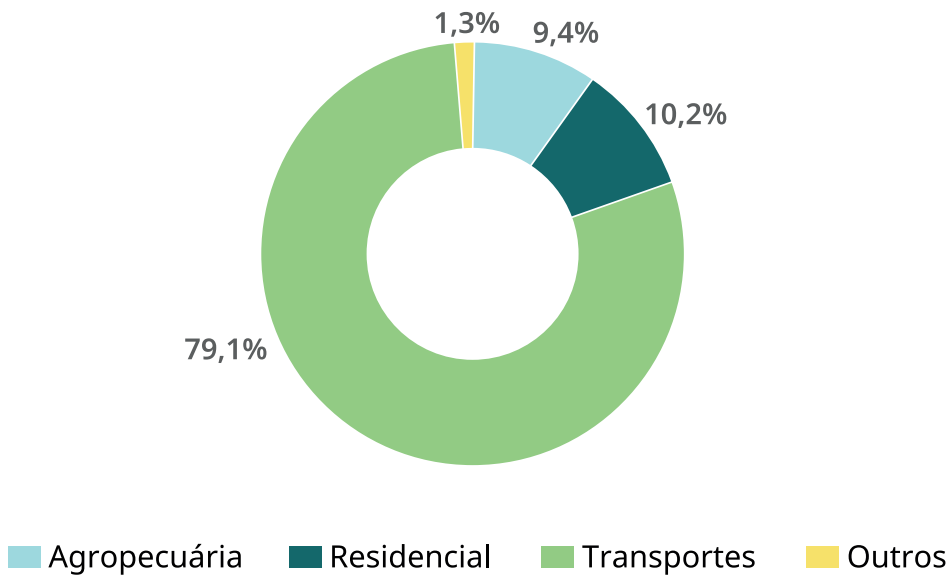
Em relação às categorias, as emissões de transportes se destacam, seguido pelo consumo de combustíveis fósseis na agropecuária e residencial, com contribuição média de 79,1%, 9,4% e 10,2%, respectivamente. A Figura 28 e a Figura 29 apresentam o total por ano das categorias emissoras e suas médias de contribuição.

Figura 28. Emissões de Energia por categoria (2018-2023)¹⁵



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 29. Média por categoria emissora em Energia (2018-2023)¹⁶

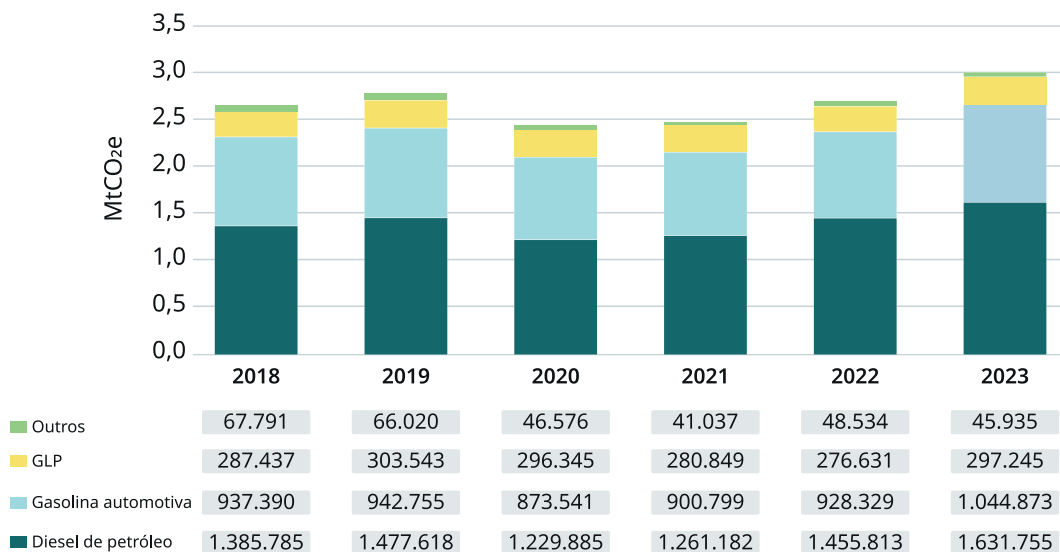


Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A Figura 30 apresenta as emissões relacionadas com o consumo dos diferentes tipos de combustível no estado considerando todas as categorias apresentadas acima.

¹⁵ A categoria “Outros” compreende Público, Industrial, Comercial e Geração de Eletricidade, cuja participação nas emissões no setor de Energia é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

¹⁶ A categoria “Outros” compreende Público, Industrial, Comercial e Geração de Eletricidade, cuja participação na média por categoria emissora em Energia é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

Figura 30. Emissões de combustíveis fósseis e renováveis no setor de Energia (2018-2023)¹⁷

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O diesel de petróleo foi o maior responsável pelas emissões durante todo o período, com um aumento constante nas emissões (17,7%), chegando a 1,63 MtCO₂e em 2023, que pode ser atribuído à demanda crescente por transporte de carga e veículos pesados, que serão analisados no tópico 4.3.1. A gasolina automotiva também apresentou um crescimento, de 11,5% nas emissões, junto ao álcool anidro, com 15,8% de aumento de emissões, acompanhando a maior circulação de veículos automotores.

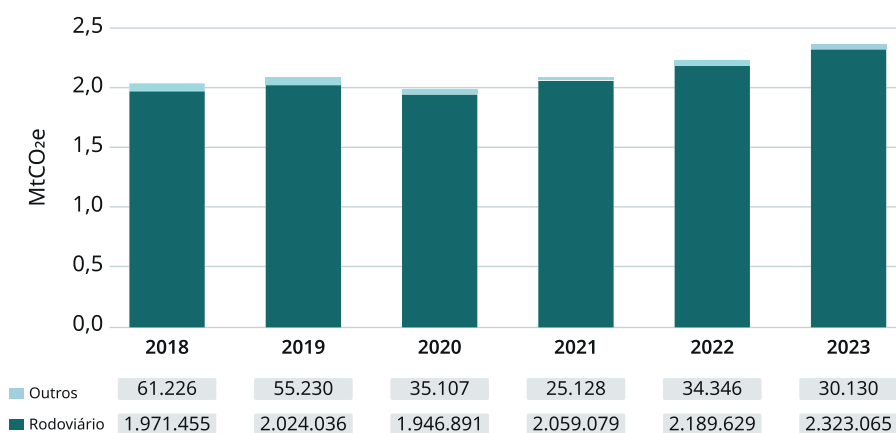
No entanto, o consumo de combustíveis como gasolina de aviação, querosene de aviação, óleo combustível e álcool hidratado apresentaram uma queda ao longo dos anos (-12,1%, -45,9%, -78,1% e -7,1%, respectivamente), o que pode ser relacionado a uma redução na atividade aérea. Outro ponto relevante é a estabilização do consumo de combustíveis como o GLP (variação de 3,4% no período de 6 anos), e o crescimento de emissões de 58,6% de biodiesel, que é uma fonte renovável.

O total geral de consumo de combustíveis no setor de energia subiu de 2,67 MtCO₂e em 2018 para 3,01 MtCO₂e em 2023, refletindo um crescimento global de 12,75%, o que pode ser indicativo de uma continuidade no uso de combustíveis fósseis, apesar de uma crescente adoção de fontes alternativas de energia.

4.3.1. Transportes

Detalhando as emissões de transportes no estado, visto que é uma das principais fontes de emissão, observa-se que o modal rodoviário (98,1%) é sua principal atividade emissora, seguida de contribuições menores em transportes aéreo (1,7%) e ferroviário (0,2%), conforme apresentado na Figura 31.

¹⁷ A categoria "Outros" compreende Querosene de aviação, Álcool anidro, Álcool hidratado, Biodiesel, Gasolina de aviação e Óleo combustível, cuja participação nas emissões de combustíveis fósseis e renováveis no setor de Energia é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

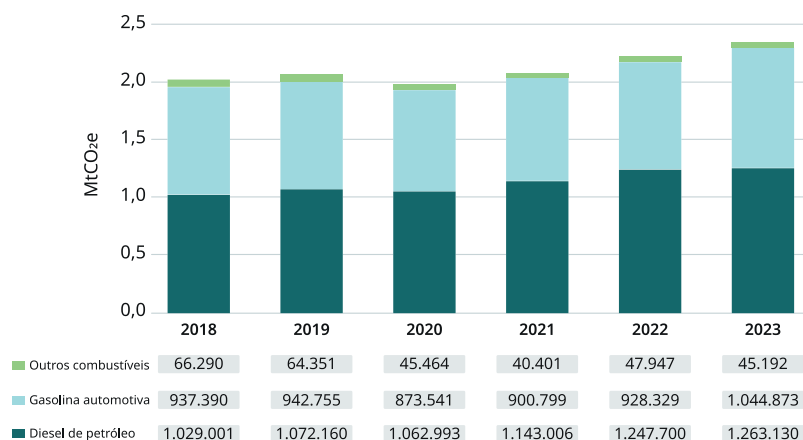
Figura 31. Emissões na categoria de Transportes (2018-2023)¹⁸

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Em uma perspectiva geral, as emissões reduziram em 2020 (-4,7% de emissões em relação a 2019) - primeiro ano da pandemia de COVID-19, no qual justifica-se tal comportamento devido a menor circulação de pessoas. Posteriormente, pôde-se notar uma nova tendência de crescimento, acumulando 18,7% a mais de emissões entre 2020 e 2023.

A categoria de Transportes foi responsável pelo lançamento de 12,7 MtCO₂e na atmosfera em todo o período deste inventário, com contribuição de 2,03 MtCO₂e em 2018, apresentando queda de aproximadamente 2,5% em 2020 (1,9 MtCO₂e) e crescimento de 18,7% de emissões até 2023 (2,08 MtCO₂e em 2021; 2,2 MtCO₂e em 2022 e 2,3 MtCO₂e em 2023).

Em relação ao tipo de combustível utilizado, no Piauí, as emissões são desagregadas principalmente em óleo diesel e gasolina automotiva. Para todos os anos analisados, observa-se uma contribuição mais significativa de emissões oriundas do consumo de óleo diesel, sendo o ano de 2023 o de maior contribuição, com emissão de 1,26 MtCO₂e. A Figura 32 demonstra as emissões, ano a ano, dos combustíveis utilizados no estado.

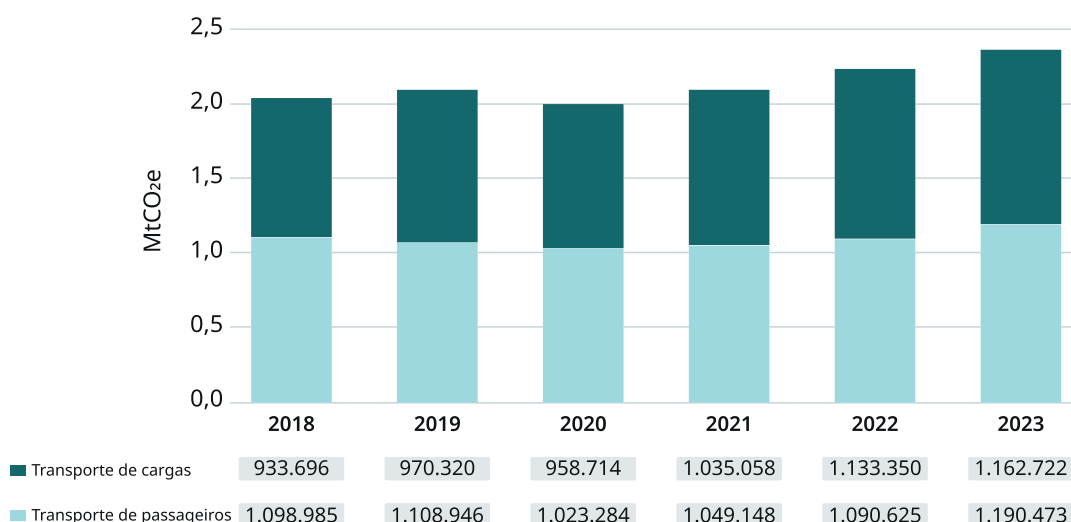
Figura 32. Emissões por tipo de combustível em Transportes (2018-2023)

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

¹⁸ A categoria “Outros” compreende o modal Ferroviário e Aviação, cuja participação nas emissões de Transportes no setor de Energia é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

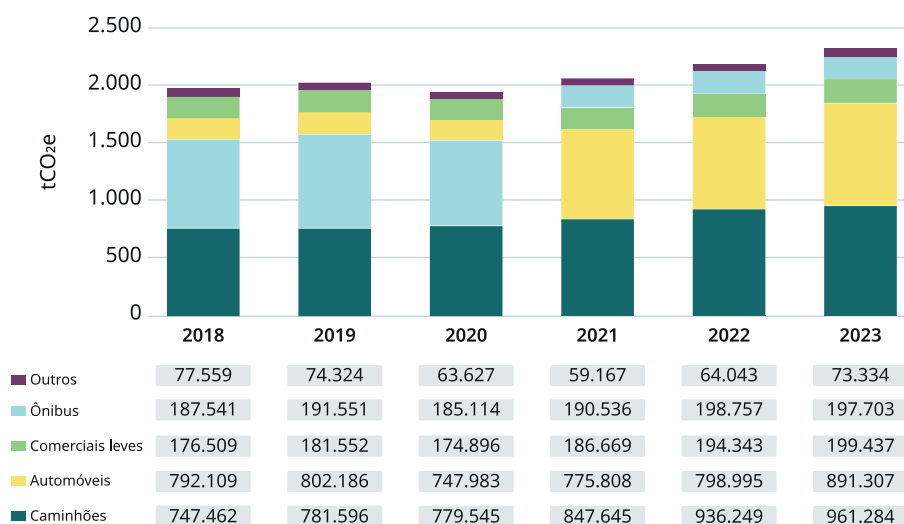
Quanto ao transporte rodoviário por tipo, a maior contribuição em toda série está relacionada com o transporte de passageiros, que incorpora tanto o transporte individual quanto o coletivo, e foi responsável por em média 51,4% das emissões setoriais. Já o transporte de carga, possivelmente relacionado com o escoamento da produção agropecuária, vide as emissões da categoria na Figura 32, representa 48,6% em média anual ou 1,03 MtCO₂e. A Figura 33 apresenta o comportamento das emissões no modal rodoviário e a Figura 34 traz o detalhamento das emissões por tipo de veículo terrestre, onde se destacam as emissões de Caminhões e Automóveis.

Figura 33. Emissões de transporte rodoviário no Piauí (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 34. Emissões por tipo de veículo terrestre no Piauí (2018-2023)¹⁹



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O comportamento observado no período de 2020 a 2023 destaca uma tendência de crescimento das emissões, o que implica em desafios para a mitigação no setor de energia, especialmente em relação ao transporte, que continua sendo a principal fonte de emissões deste setor no estado.

¹⁹ A categoria "Outros" compreende as frotas de Motocicletas e Locomotivas, cuja participação nas emissões por tipo de veículo é pouco expressiva. Por esse motivo, foram agrupadas sob esta denominação para fins de representação gráfica.

4.4. SETOR DE RESÍDUOS

Para Resíduos são contabilizadas as emissões de GEE relacionadas com o tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, ou seja, a partir da degradação da matéria orgânica e outros componentes presentes nos resíduos. As atividades fontes estão incorporadas nos seguintes subsetores: disposição de resíduos sólidos, tratamento biológico, incineração e disposição e tratamento de efluentes líquidos.

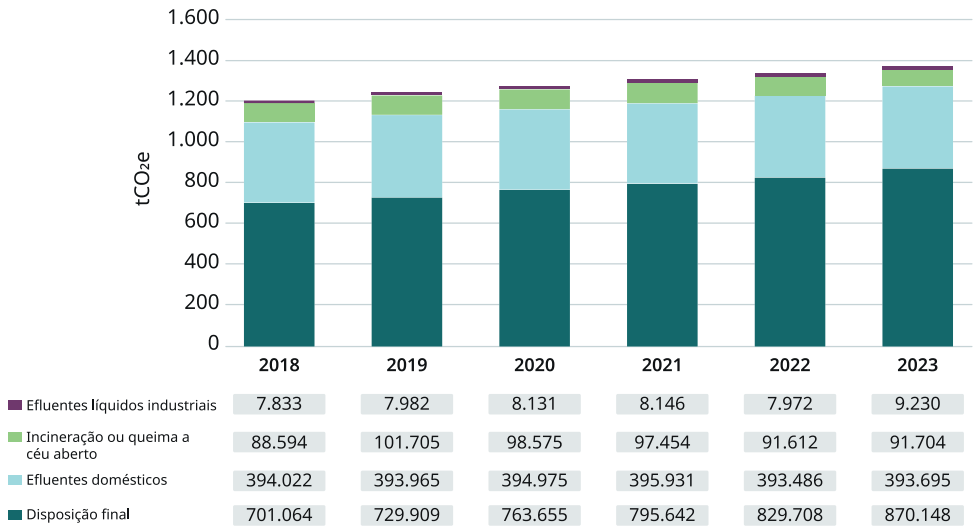
No Piauí, as emissões em Resíduos apresentaram uma tendência crescente nas emissões de GEE de 2018 a 2023, com um aumento de 14,5% no período, partindo do patamar de 1,19 MtCO₂e em 2018 para 1,36 MtCO₂e em 2023, conforme Tabela 7 e Figura 35, que apresenta os totais de cada categoria do setor.

Tabela 7. Emissões do setor de Resíduos

Setor	Toneladas de CO ₂ e					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Resíduos	1.191.513	1.233.561	1.265.336	1.297.173	1.322.778	1.364.777

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

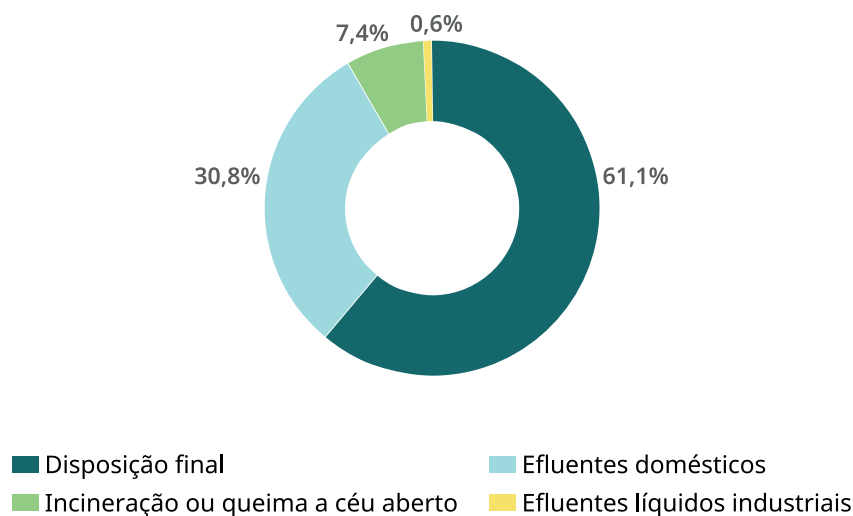
Figura 35. Emissões de Resíduos por categoria (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

As emissões são majoritariamente provenientes da disposição final de resíduos sólidos, que corresponde a 61,1% das emissões totais do setor, seguido pelos efluentes líquidos domésticos, que contribuem com 30,8%. A categoria de incineração ou queima a céu aberto emite 7,4% dos GEE do setor e efluentes líquidos industriais não dispõem de contribuições significativas (0,6%). Não foram observadas as emissões pelo tratamento biológico, o que indica que práticas de compostagem não são adotadas em grande escala no estado.

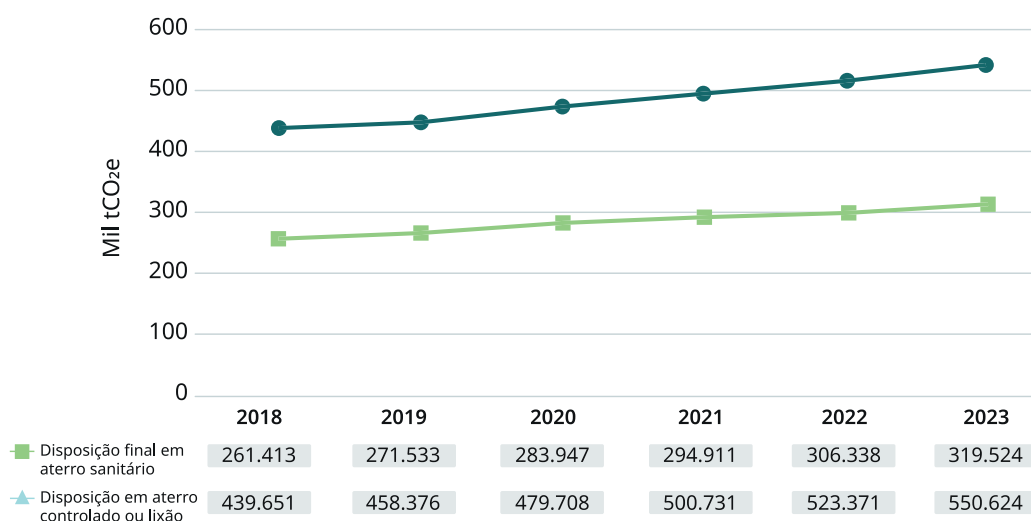
A partir da Figura 36 é possível observar o comportamento médio de emissões no estado para as categorias que compõem o setor de Resíduos.

Figura 36. Média por categoria emissora em Resíduos (2018-2023)

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.4.1. Disposição final

Destaca-se que 37% das emissões são relacionadas com resíduos coletados e dispostos de forma ambientalmente adequada, em aterros sanitários. Já a disposição em aterros controlados ou lixões, que por sua vez é uma prática considerada ambientalmente inadequada, representa 63% das emissões na categoria, onde a mesma apresentou aumento significativo de 25,2% no período de 2018-2023, como se observa na Figura 37.

Figura 37. Emissão pela disposição final no Piauí (2018-2023)

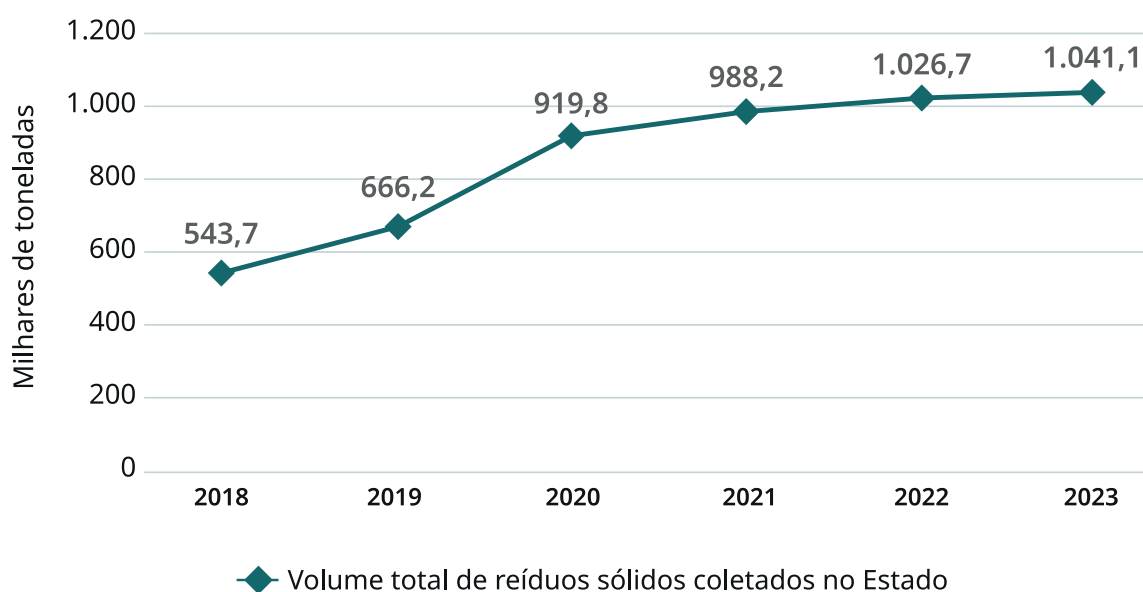
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Levantamentos por meio do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA, 2025a) mostram que, no ano de 2023, o estado apresentava 12 aterros controlados, 4 aterros sanitários, 1 aterro de inertes e 122 lixões. A grande presença de lixões, além de comprovar o perfil de emissões, também demonstra

um comportamento de descarte ambientalmente inadequado, que contribui para a poluição do ar e pode afetar a qualidade do solo e da água subterrânea se não for adequadamente gerido. Somado a isso, vai em sentido contrário à Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que prevê a eliminação dos lixões.

Ainda de acordo com o SNIS (2023) e SINISA (2025b), o estado foi responsável por coletar 543.672 toneladas de resíduos urbanos domésticos e públicos em 2018, com aumento de 91,5% nos anos seguintes, de modo que 2023 se configura como o período de maior coleta de resíduos, com 1,04 milhões de toneladas, conforme se observa na Figura 38.

Figura 38. Evolução da quantidade de resíduos urbanos coletados no Piauí (2018-2023)

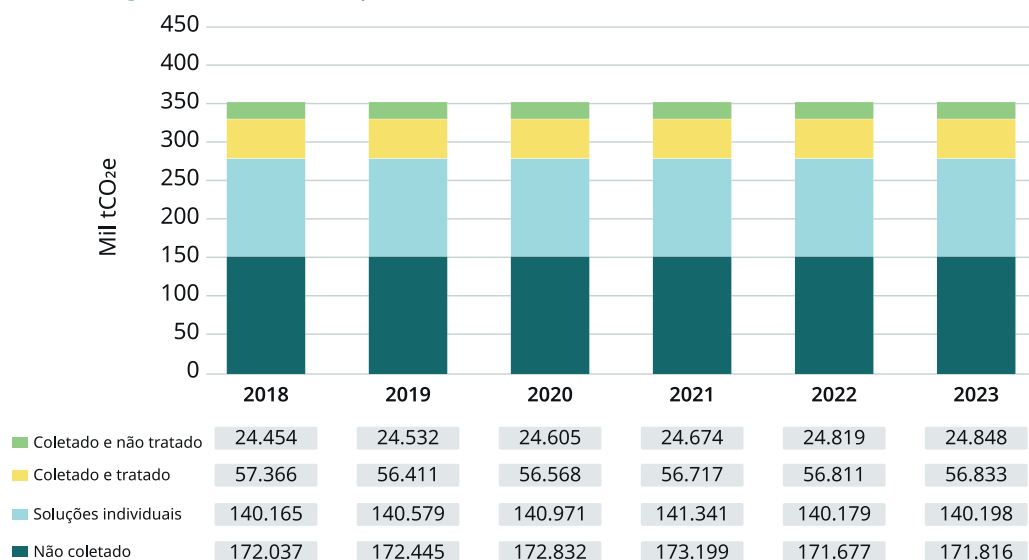


Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.4.2. Efluentes domésticos

Quanto aos efluentes domésticos, as emissões são principalmente relacionadas aos com a cobertura do serviço de saneamento, os tipos de tratamento utilizados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) e de parte da população que não recebe cobertura do serviço de coleta. No estado do Piauí, em 2022, correspondia apenas 18,7% do total de habitantes distribuídos em 37 municípios (SNIS, 2024a; SNIS, 2024b) recebem cobertura do serviço de coleta.

As emissões pelas diferentes rotas dos serviços de saneamento aparecem na Figura 39, demonstrando que efluentes não coletados correspondem a 43,7% das emissões no período inventariado; soluções individuais, 35,6%; 6,3% para efluentes domésticos coletados, mas não tratados; e 14,4% de emissões para efluentes coletados e tratados.

Figura 39. Emissões por sistema de efluente doméstico (2018-2023)

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Como um todo, os efluentes domésticos representam, em média, 30,8% das emissões do setor Resíduos, onde esse tratamento envolve a remoção de contaminantes presentes na água residual originada de atividades domésticas, como banhos, cozinhas e sanitários, para reduzir ou eliminar substâncias como matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo), patógenos, sólidos em suspensão e substâncias químicas, garantindo que a água tratada atende aos padrões de qualidade exigidos pelas normas ambientais para prevenir a contaminação de recursos hídricos e proteger a saúde pública.

O esgoto não tratado pode comprometer os esforços de adaptação e mitigação climática, pois agrava a degradação ambiental e coloca em risco os ecossistemas aquáticos. Quando o esgoto é despejado diretamente em rios e lagos, além dele poder liberar GEE, como o metano e o óxido nitroso, também apresentam outros impactos decorrentes do excesso de nutrientes no esgoto, como nitrogênio e fósforo, favorecendo a liberação de metano na decomposição de matéria orgânica na água, o que intensifica ainda mais o problema (UNEP & GRID-Arendal, 2023).

As emissões no setor de Resíduos, tanto no que se refere a disposição final e ao tratamento de efluentes domésticos evidenciam que o estado tem um importante caminho a percorrer para garantir maior acesso aos serviços de saneamento, garantido assim estar em consonância com os diferentes marcos regulatórios setoriais.

4.5. SETOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (IPPU)

Os processos industriais e uso de produtos da indústria geram emissões de GEE devido a transformações físico-químicas que ocorrem durante a fabricação de materiais – como o aço ou o cimento – ou por consequência da utilização de produtos. É o caso do uso de HFCs em aparelhos de refrigeração, por exemplo.

Conforme levantamento por meio do SEEG, o estado do Piauí apresentou emissões no setor de IPPU até o ano de 2017, relacionadas com a produção mineral, em especial a produção de cimento. De 2018 em diante, período de análise deste Inventário, estas atividades não são mais reportadas e, portanto, não foram contabilizadas emissões diretas relacionadas com o setor de processos industriais e uso de produtos no estado.

No entanto, é importante destacar que as atividades industriais podem repercutir nas emissões dos outros setores, como, por exemplo, em Energia (consumo de combustíveis em atividades de manufatura, construção ou extrativismo, como também no transporte de insumos e produtos) e em Resíduos (efluentes industriais reportados). Isso indica que as emissões do setor Industrial estão sendo refletidas indiretamente no Inventário, ainda que não sejam destacadas emissões oriundas diretamente dos processos industriais.

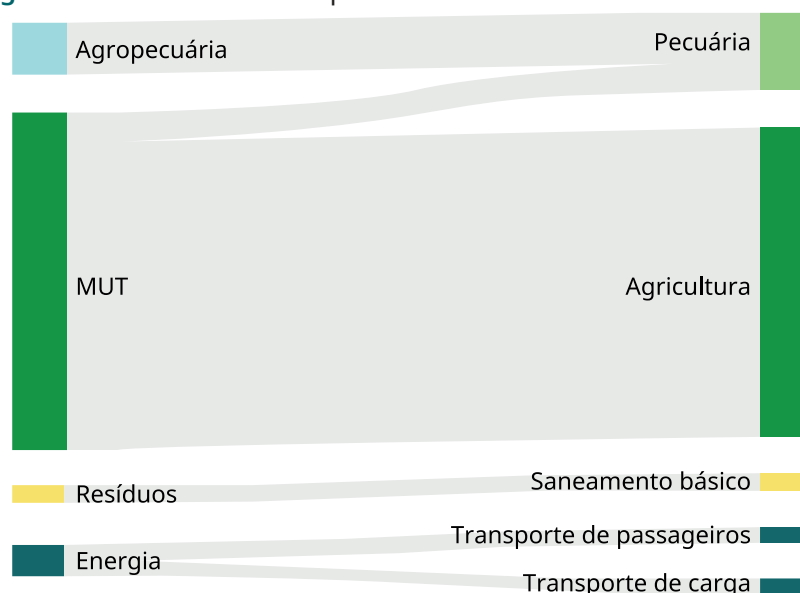
4.6. ANÁLISE DAS EMISSÕES POR TIPO ATIVIDADES SOCIOECONÔMICAS

Considerando a contribuição de todos os setores, observa-se o perfil de emissões do estado é fortemente influenciado por atividades relacionadas com agricultura e pecuária, seja por emissões diretas em Agropecuária, ou por emissões indiretas relacionadas com o desmatamento para a ampliação de áreas de pastagem e de cultivo ou pelo consumo de combustíveis fósseis nestes tipos de atividades.

Do total de emissão de 36,5 MtCO₂e observados em 2023, 25 MtCO₂e são associados com atividades de agricultura e 6 MtCO₂e com atividades de pecuária, somadas essas emissões representam cerca de 87% das emissões estaduais.

Ainda com contribuições significativas, mas em menor proporção, pode-se destacar emissões relacionadas com saneamento básico, transporte de carga e transporte de passageiros, com contribuições de 4% e 3%, respectivamente. A Figura 40 apresenta um diagrama de Sankey, no qual é possível observar a representatividade das atividades citadas acima no ano de 2023.

Figura 40. Emissões de GEE por setor e atividade econômica em 2023



Fonte: ICLEI adaptado de SEEG, 2025.

5.

PIAUÍ E O CUMPRIMENTO DA CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA (NDC)



5. PIAUÍ E O CUMPRIMENTO DA CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA (NDC)

Em 2024, durante a 29ª Conferência das Partes (COP29), o Brasil apresentou sua nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Este documento propõe uma redução das emissões líquidas de GEE entre 59% e 67% até 2035, tomando como referência os níveis de 2005 (Brazil's NDC,2024).

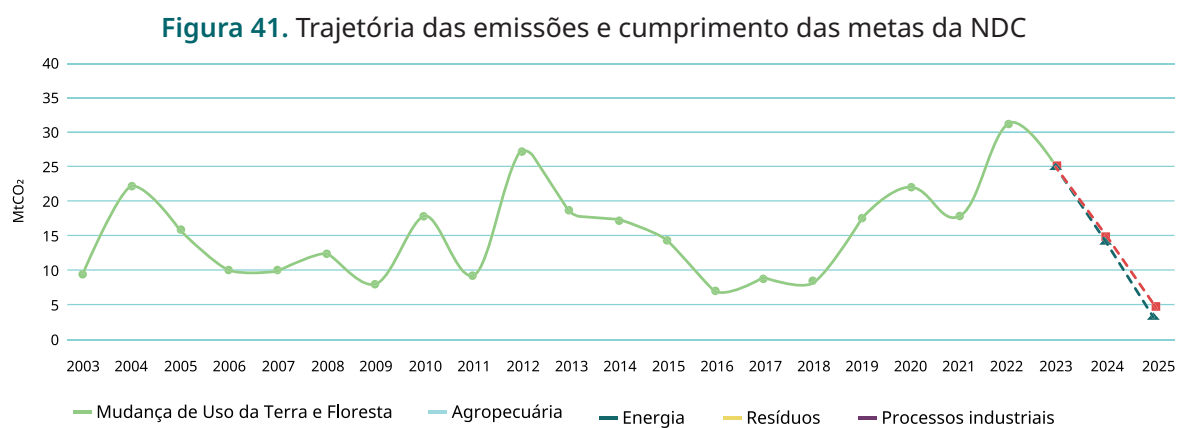
Com essas metas, o Brasil reafirma seu compromisso de atingir a neutralidade climática até 2050 e de contribuir para limitar o aquecimento global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, conforme estabelecido no Acordo de Paris.

O Piauí, um estado comprometido com o enfrentamento à mudança do clima, desempenha um papel estratégico no cumprimento da NDC brasileira, especialmente por suas áreas de vegetação nativa e seu potencial para a geração de energia renovável.

Nesse sentido, o presente documento apresenta uma breve análise sobre o comportamento das emissões no estado e se o mesmo está avançando para o cumprimento das metas brasileiras, de modo a contribuir com a redução das emissões na escala nacional.

Em 2005, mesmo ano de referência da NDC brasileira, o estado foi responsável pela emissão líquida de 18,9 MtCO₂e. No decorrer dos anos analisados, não foi possível observar uma tendência clara na trajetória das emissões estaduais, que foram moduladas principalmente pela questão do desmatamento. No entanto, destaca-se que desde 2016, ano de menor contribuição na série histórica, é observado um aumento significativo nas emissões, apesar das reduções mais expressivas nos anos de 2021 e 2023.

Para que o estado cumpra as metas de reduções da NDC, será necessário implementar medidas de mitigação, em especial no que se refere à prevenção e controle do desmatamento e aumento da eficiência na agropecuária em uma perspectiva de baixo carbono. Em relação ao ano de 2023, onde foi observada a emissão de 28 MtCO₂e, deve-se reduzir as emissões estaduais de 73% a 78% até 2035 a fim de se garantir a contribuição do Piauí no cumprimento das metas nacionais, o que por sua vez representa uma redução anual de cerca de 6%. A Figura 41 apresenta a trajetória das emissões, considerando um comportamento redução linear ao longo dos anos, para que o estado seja capaz de contribuir no cumprimento da NDC nacional.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os inventários têm por objetivo a geração de um diagnóstico da realidade das instituições ou territórios no que tange às emissões de GEE para um dado período. A partir de tal documento, torna-se possível traçar metas e ações para a mitigação com base em evidências. Este documento foi elaborado seguindo a metodologia de uso de dados da iniciativa SEEG, para uma visão histórica dos anos de 2018 a 2023.

De acordo com os dados demonstrados ao longo deste inventário, 2022 foi o ano com maior contribuição de emissões brutas (42,5 MtCO₂e), enquanto 2018 apresentou o menor valor bruto (19,5 MtCO₂e). No total, entre 2018 e 2023, houve uma variação de 87% a mais de emissões no estado e na série histórica permaneceram como os principais setores emissores: Mudança no Uso da Terra e Floresta, responsável por 70% das emissões, e Agropecuária com 17,4% do total de emissões, em média.

Apesar da estrutura da economia do Piauí ser predominantemente do setor de Serviços (CEPRO-PI, 2023), ao longo deste inventário foi possível verificar que as emissões de GEE de maior presença no estado estão principalmente associadas ao desmatamento, a criação de rebanhos e ao transporte rodoviário de carga.

Estas três subcategorias emissoras, que fazem parte dos setores de MUT, Agropecuária e Energia, respectivamente, demonstram um perfil agropecuário, que vem aumentando sua participação econômica no estado, e atualmente é a principal emissora de GEE. Levantamentos anuais do PIB estadual também demonstram essa tendência de aumento da produção agrícola (CEPRO-PI, 2023; SEGOV-PI, 2025), como é o caso da ampliação em 17,23% do cultivo em 2022 comparado a 2021 (SEPLAN-PI, 2023) principalmente alavancado por cereais, leguminosas e oleaginosas, como soja, milho, arroz e feijão.

No que diz respeito às recomendações e oportunidades de melhoria por setor, destacam-se em:

Quadro 8. Principais recomendações e oportunidades para setores emissores no Piauí

MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTA

- **As emissões no setor aumentaram significativamente** entre 2018 e 2023, com um crescimento de 762,8%, evidenciando a ampliação de áreas de desmatamento, onde se observa a conversão de áreas naturais para usos agrícolas e urbanos. A remoção de CO₂ foi insuficiente para compensar as emissões, o que revela a necessidade de estratégias de mitigação.
- **O uso de sistemas de monitoramento remoto e geoespacial** pode apoiar na fiscalização do desmatamento e na identificação precoce de áreas de risco.
- Em termos de políticas públicas, recomenda-se **fortalecer a regularização fundiária** no estado para impulsionar a **recuperação de áreas degradadas e assegurar a manutenção da vegetação nativa**.

- A implementação de **práticas agrícolas sustentáveis e políticas de reflorestamento** também são recomendadas, pois contribuem para aumentar o sequestro de carbono e mitigar os efeitos negativos das mudanças no uso da terra.

Caminho ICLEI relacionado:

- Baseado na Natureza: proteção de ecossistemas e conservação de vegetação;
- Zero Carbono: mitigação de emissões de CO₂;
- Resiliente: maior capacidade de adaptação a mudanças climáticas.

AGROPECUÁRIA

- No contexto de práticas sustentáveis, destaca-se a **integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)**, que combina a agricultura, a pecuária e a silvicultura em uma única área de produção, com o objetivo de aumentar a produtividade sem expandir a fronteira agrícola e, ao mesmo tempo, promover o sequestro de carbono e a conservação do solo.
- Em relação às políticas públicas, é possível focar no fortalecimento e na **implementação do Plano ABC** (Agricultura de Baixo Carbono).
- Outros impactos ambientais do setor, como a **pressão sobre o ciclo hidrológico, a perda da biodiversidade e erosão do solo**, também merecem ser discutidos, pois as emissões de gases de efeito estufa representam apenas uma parte do impacto ambiental causado pela agropecuária. Tais questões devem ser integradas nas estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, visando um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável.

Caminho ICLEI relacionado:

- Zero Carbono: sequestro de carbono;
- Baseado na Natureza: conservação do solo e biodiversidade;
- Circular: aproveitamento eficiente dos recursos do agroecossistema.

ENERGIA

- O investimento em **fontes renováveis** apresenta-se como uma estratégia para a redução das emissões de gases de efeito estufa, além do estado possuir grande potencial com **abundância de recursos solares, eólicos e de hidrogênio verde**.
- Como políticas públicas, existem iniciativas como o **Programa Piauiense de Incentivo ao Desenvolvimento de Energias Limpas**, que busca diversificar a matriz energética e oferecer linhas de crédito e benefícios fiscais para a instalação de sistemas fotovoltaicos, tanto para residências quanto para empresas.

- Na categoria de **Transportes**, o incentivo ao **uso de biocombustíveis e a eletrificação da frota**, aliado a **programas de eficiência energética no transporte de carga**, como o uso de veículos e rotas logísticas mais eficientes, e a implementação de tecnologias para reduzir o consumo de combustível também seriam um conjunto de ações para corte de emissões de GEE.

Caminho ICLEI relacionado:

- Zero Carbono: redução de emissões;
- Circular: eficiência energética e menor consumo de recursos;
- Equitativo: acesso à energia limpa para residências e empresas.

RESÍDUOS

- Do ponto de vista das políticas públicas, destaca-se o **Programa Lixão Zero** do governo federal, que visa erradicar os lixões e promover a construção de aterros sanitários adequados. A implementação deste programa no Piauí pode ser expandida, focando na transição para métodos mais sustentáveis de disposição de resíduos, como a compostagem e a reciclagem, cujas contribuições não aparecem atualmente no Inventário.
- Outro aspecto que pode ser explorado no estado é o **aproveitamento energético do biogás** gerado nos aterros sanitários.
- Além disso, o programa também deve apoiar os municípios no **tratamento adequado de efluentes domésticos e industriais**, ampliando o alcance do serviço de coleta e tratamento de esgoto, utilizando tecnologias para reduzir as emissões de metano, como o uso de biodigestores, por exemplo, e ampliação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), que poderiam reduzir tanto a poluição quanto às emissões de gases de efeito estufa.

Caminho ICLEI relacionado:

- Circular: reaproveitamento de resíduos e redução de emissões;
- Resiliente: gestão sustentável de resíduos urbanos;
- Equitativo: acesso a serviços adequados de saneamento e tratamento de resíduos.

Vale pontuar que as recomendações podem ser adaptadas e implementadas gradualmente, considerando as características econômicas, sociais e ambientais do estado, bem como os recursos financeiros e humanos disponíveis.

A partir de tal panorama, se faz necessário que o estado do Piauí prossiga com as etapas posteriores de ação climática local - já em curso em parceria com o ICLEI América do Sul, sendo elas: i) Análise de Riscos e Vulnerabilidade Climática, diagnóstico pautado na frente de Resiliência que tem como objetivo identificar hotspots de eventos

extremos como ondas de calor e inundações; e (ii) o Plano de Ação Climática, que endereça as fragilidades do estado sob os vieses da mitigação e da adaptação.

Em especial quanto ao plano de ação, devem ser identificadas medidas que promovam alternativas aos combustíveis fósseis e a produção agrícola em consonância com a proteção da biodiversidade. É importante realizar a integração com demais eixos para garantir que as escolhas feitas reflitam também no aumento da qualidade de vida da população, bem como no seu acesso às novas estratégias.

Ademais, é necessário que o estado prossiga com os esforços para estimar suas emissões de GEE para que seja possível monitorar a implementação de medidas de mitigação e seu impacto em termos de redução das emissões locais.

Em suma, a partir dos resultados obtidos e das discussões apresentadas, espera-se que este documento subsidie ações que engajem diversos setores, como a iniciativa privada, a academia e a sociedade civil presentes no estado, de forma a ampliar discussões já existentes sobre a crise climática em andamento e a endereçar adequadamente estratégias para a redução das emissões de GEE na busca da construção de um estado resiliente, sustentável e de baixo carbono.

Referências Bibliográficas

BERKELEY EARTH. **Data Overview**. Berkeley, s.d. Disponível em: <https://berkeleyearth.org/data/>

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

BRAZIL'S NDC. **National determination to contribute and transform**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entrega-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris/brazils-ndc.pdf/>

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

CCOM/PI. **Governo do Piauí reforça o combate às mudanças climáticas e promoção da sustentabilidade**. Piauí Hoje, Teresina, 2023. Disponível em: <https://piauihoje.com/noticias/geral/governo-do-piaui-reforca-o-combate-as-mudancas-climaticas-e-promocao-da-sustentabilidade-426495.html>

CEPRO-PI. **Produto Interno Bruto dos Municípios do Piauí no ano de 2013**. Teresina, [2014]. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/201601/CEPRO06_d0be52efa3.pdf

CEPRO-PI. **Produto Interno Bruto (PIB) do Piauí**. Teresina, 2015. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/201711/CEPRO16_02c65a8a7f.pdf

CEPRO-PI. **PIB do Estado do Piauí: 2017**. Teresina, 2019. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/201911/CEPRO14_d7f9fb641d.pdf

CEPRO-PI. **PIB do Estado do Piauí: 2018**. Teresina, 2020. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/202011/CEPRO16_4afbcaea6f.pdf

CEPRO-PI. **PIB do Estado do Piauí: 2020**. Teresina, [2022]. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/202212/CEPRO15_c6a28ba37a.pdf

CEPRO-PI. **PIB do Estado do Piauí: 2021**. Teresina, [2023]. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/202311/CEPRO21_d4e9e1e885.pdf

CEPRO-PI. **Piauí: Produto Interno Bruto - PIB 2022**. Teresina, 2024.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da Indústria**. Portal da Indústria, 2025. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/>

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Relatório situacional dos recursos hídricos superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2017.

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

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

GOOGLE. **Google Earth**. California, 2025. Disponível em: <https://earth.google.com/web>

GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ. **Site oficial**. Teresina, s.d. Disponível em: <https://www.pi.gov.br/>

ICLEI; PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Guia de Ação Local pelo Clima**. São Paulo, 2016. Disponível em: cidadessustentaveis.org.br/arquivos/Publicacoes/Acao_Local_pelo_Clima.pdf

IBGE. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. **MUNIC 2017: 48,6% dos municípios do país foram afetados por secas nos últimos 4 anos**. Agência IBGE de Notícias, 18 nov. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21636-munic-2017-48-6-dos-municipios-do-pais-foram-afetados-por-secas-nos-ultimos-4-anos>

IBGE. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinheiro do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. **MATOPIBA**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/34329-matopiba.html>

IBGE. **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, 2024.

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

IPCC. Frequently Asked Question 1.3: What is the Greenhouse Effect?. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [SOLOMON, S. et al. (eds.)]. Cambridge (Reino Unido) e Nova Iorque (EUA): Cambridge University Press, 2007. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html

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. **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, 2013a. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

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; PACHAURI, R.K.; MEYER, L.A. (eds.)]. Geneva: IPCC, 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.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_01_Overview.pdf

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

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; LEE, H.; ROMERO, J. (eds.)]. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

IPCC. **Summary for Policymakers. In: 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; LEE, H.; ROMERO, J. (eds.)]. Geneva: IPCC, 2023. Versão traduzida por MCTI e Pacto Global da ONU. Brasília, 2023. Disponível em: www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, 2020.

MCTI. **Fatores de emissão MDL/SIN**. Brasília, [2022]. Disponível em: www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - volume 2: estratégias setoriais e temáticas**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/arquivos-biomas/plano-nacional-de-adaptacao-a-mudanca-do-clima-pna-vol-ii.pdf>

MMA. **BRAZIL'S NDC. National determination to contribute and transform**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entrega-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris/brazils-ndc.pdf/>

MT - MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Frota de veículos – 2023**. Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran). Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2023>

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>

PBMC. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas:** Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [MARENGO, J.A.; SCARANO, F.R. (eds.)]. Rio de Janeiro: COPPE - UFRJ, 2016. Disponível em: https://ppgoceano.paginas.ufsc.br/files/2017/06/Relatorio_DOIS_v1_04.06.17.pdf

PIAUÍ. **Matopiba.** Teresina, s.d. Disponível em: <https://antigo.pi.gov.br/investimentos/matopiba/>

PIAUÍ(Estado). **Lei n.º 6.140, de 2011.** Institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima e Combate à Pobreza (PEMCP). Disponibilizada em: Rede Brasil Sustentável, 2024. PDF. Disponível em: https://redebrasilsustentavel.org.br/wp-content/uploads/2024/03/617-Lei-6.140_11-Mudanca-Climatica_.pdf

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil.** São Paulo: Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura>

SEGOV – SECRETARIA DE ESTADO DE GOVERNO DO PIAUÍ. **Governo lança Eco Piauí, programa de gestão da sustentabilidade ambiental.** Teresina: SEGOV, out. 2023. Disponível em: <https://www.segov.pi.gov.br/governo-lanca-eco-piaui-programa-de-gestao-da-sustentabilidade-ambiental>

SEGOV – SECRETARIA DE ESTADO DE GOVERNO DO PIAUÍ. **Cerrado piauiense: potência agro aposta em biocombustível.** Teresina, 2025. Disponível em: <https://www.segov.pi.gov.br/cerrado-piauiense-potencia-agro-agora-aposta-em-biocombustivel>

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PIAUÍ - SEMARH-PI. **Piauí avança na gestão de resíduos sólidos promovido pela Semarh com primeiro fechamento de lixão e fortalecimento dos catadores.** Teresina, 2024. Disponível em: http://antigo.semarh.pi.gov.br/wagtail/home_page/noticias/piau%C3%AD-avan%C3%A7a-na-gest%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-promovido-pela-semarh-com-primeiro-fechamento-de-lix%C3%A3o-e-fortalecimento-dos-catadores/

SEPLAN – SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO DO PIAUÍ. **Plano Plurianual 2024-2027 (PPA).** Teresina: SEPLAN. Disponível em: <https://www.seplan.pi.gov.br/documentos-oficiais/ppa/>

SEPLAN-PI. **Conjuntura Econômica 2022.** Teresina, 2023. Disponível em: www.cepro.pi.gov.br/download/202308/CEPRO29_4c4f4f7995.pdf

SEPLAN-PI. **Piauí registra crescimento de PIB 2022 e ocupa primeiro lugar no Nordeste, apontam Seplan e IBGE.** Teresina, 2024. Disponível em: www.seplan.pi.gov.br/piauui-registra-crescimento-de-pib-2022-e-ocupa-primeiro-lugar-no-nordeste-apontam-seplan-e-ibge/

SEPLAN-PI. **Piauí firma memorando de intenções para implementação de sistema de redução de emissões de gases de efeito estufa.** Teresina: SEPLAN. Disponível em: <https://www.piaui.pi.gov.br/noticia/piauui-firma-memorando-de-intencoes-para-implementacao-de-sistema-de-reducao-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa>

SEPLAN-PI. **Piauí é 1º lugar no Brasil em matriz elétrica renovável e 3º maior produtor de energia limpa eólica e solar centralizada.** Teresina: SEPLAN, 3 mar. 2025. Disponível em: <https://www.seplan.pi.gov.br/piauui-e-1o-lugar-no-brasil-em-matriz-energetica-renovavel-e-3o-maior-produtor-de-energia-limpa>

SEEG. **Coleção 12**. São Paulo: Observatório do Clima, 2024a. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>

SEEG. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. São Paulo: Observatório do Clima, 2024b. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>

SIDRA. **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>

SIDRA. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023C. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>

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

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

SNIS. **Série Histórica - informações e indicadores municipais consolidados**. Brasília: 2023. Disponível em: <https://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>

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>

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

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **Resource Guide for Preparing the National Communications of Non-Annex I Parties**. Module 3: National Greenhouse Gas Inventories. 2009. Disponível em: https://unfccc.int/resource/docs/publications/09_resource_guide3.pdf

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

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. - EPA. **Sources of Greenhouse Gas Emissions**. Washington D.C., 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE MUNIQUE. **Sirgas 2000**. Munique, s.d. Disponível em: <https://www.sirgas.org/pt/sirgas-realizations/sirgas2000/>

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/.

