



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

CRISTIANE MOIA BAIA

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA DISPOSIÇÃO  
FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO ESTADO DO PARÁ**

TUCURUÍ - PA  
2026

CRISTIANE MOIA BAIA

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA DISPOSIÇÃO  
FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo Cândido Passos da Silva.

TUCURUÍ - PA  
2026

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

B152a Baia, Cristiane Moia.

Avaliação das emissões de gases de efeito estufa da disposição final de resíduos sólidos urbanos do estado do Pará / Cristiane Moia Baia. — 2026.

68 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo Cândido Passos da Silva

Trabalho de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Tucuruí, 2026.

1. Gestão de resíduos sólidos. 2. Mudanças climáticas. 3. Planejamento ambiental. 4. Região amazônica. I. Título.

CDD 363.728509811

---

CRISTIANE MOIA BAIA

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA DISPOSIÇÃO  
FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: 23 / 01 / 2026

Conceito: Excelente

**BANCA EXAMINADORA**

*Rodrigo Cândido Passos da Silva*

---

Prof. Dr. Rodrigo Cândido Passos da Silva  
Orientador - UFPA

*Carlos Eduardo A. de S. Costa*

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa  
Examinador Interno - UFPA

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

AMANDA RODRIGUES SANTOS COSTA  
Data: 25/02/2026 20:08:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Amanda Rodrigues Santos Costa  
Examinadora Externa - IFRN

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me permitiu viver todos esses anos com saúde, por colocar pessoas importantes ao longo dessa trajetória, por sempre acolher meus agradecimentos e pedidos, e, sobretudo, por me dar o propósito e a força para seguir e concluir este curso.

Agradeço aos meus pais, Linoel Baia e Rosa Cristina, por serem minha base e minha maior fonte de motivação para seguir essa caminhada. Obrigada por todo amor, apoio e suporte necessário para chegar até aqui.

À minha irmã, Naiara Baia, por ser exemplo e por sempre estar ao meu lado nos bons e maus momentos, sendo alguém com quem pude compartilhar tudo. Obrigada por me ouvir, me apoiar e me incentivar a continuar. Agradeço também ao meu cunhado, Joelson Baia, à minha prima, Amayra Lorhany, e à minha irmã, Ana Carolina, por todo o carinho e apoio. Ao meu sobrinho, Caio Wendel, agradeço por iluminar meus dias com sua alegria e pureza, trazendo leveza e motivação. Amo vocês.

Ao meu namorado, Igor Augusto, por todo o amor, apoio e pensamentos positivos. Obrigada por ser meu abrigo.

À minha dupla, Ângela Sales, que é muito mais do que uma dupla, é uma amizade para a vida. A faculdade foi mais bonita com você ao meu lado. Obrigada por ser meu equilíbrio e por dividir comigo tanto o peso quanto a beleza desses anos.

Às minhas amigas da faculdade, Amanda dos Santos, Renata Lopes e Pamily Queiroz, agradeço por cada risada e momento compartilhado. Sem dúvidas, o caminho foi mais leve ao lado de vocês.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Passos, por tornar esse processo repleto de oportunidades, por me guiar e ajudar durante toda essa etapa final, por compartilhar seus conhecimentos e por acreditar em mim. Foi uma honra fazer parte do seu grupo de pesquisa em Gestão e Inovação Ambiental na Amazônia, essa experiência contribuiu significativamente para o meu crescimento acadêmico e profissional. Minha imensa gratidão.

Por fim, agradeço aos demais professores, amigos e colegas que fizeram parte da minha vida acadêmica e que não foram mencionados, mas que, com certeza, foram especiais e contribuíram de alguma forma para esta importante etapa da minha vida.

“Tudo que você perde é um passo que você dá. Então crie laços e aproveite o momento, você não tem motivos para ter medo.”

Taylor Swift

## RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui um dos principais desafios ambientais enfrentados pelos municípios brasileiros, especialmente em regiões com fragilidades estruturais, como o Estado do Pará. Nesse contexto, este setor contribui significativamente para a emissão de gases de efeito estufa (GEE), intensificando os impactos das mudanças climáticas. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as emissões de GEE oriundas da disposição final dos RSU do Estado do Pará, considerando os diferentes tipos de destinação adotados pelos municípios, bem como propor medidas de mitigação voltadas à promoção de cidades sustentáveis e resilientes. Os dados utilizados foram secundários, extraídos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2022, atualmente integrado ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINISA); e de órgãos públicos, os quais permitiram determinar a situação do estado quanto a disposição final, a massa de RSU coleta e as iniciativas de reaproveitamento. Ademais, as emissões de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>e foram estimadas com base em fatores de emissão padronizados, considerando os tipos de disposição final dos resíduos, o que possibilitou uma análise por região de integração. Por fim, foram propostas medidas de mitigação divididas em cinco eixos estratégicos: legal, gerencial, operacional, infraestrutura e educação para a sustentabilidade. Os resultados evidenciaram que o estado do Pará apresenta um quadro marcado pela predominância de práticas ambientalmente inadequadas, uma vez que 86,11% dos municípios ainda destinam seus resíduos a lixões e 9,72% recorrem a aterros controlados. Apenas 18 dos 144 municípios analisados possuem iniciativas de recuperação de resíduos sólidos. Assim, considerando que em 2022 o valor total da massa de RSU coletada foi de 2.364.086,98 toneladas, a emissão estimada de GEE para este mesmo ano foi de 990.668.182,3 toneladas de CO<sub>2</sub>e. As regiões de integração que mais emitiram GEE foram Guajará, Rio Capim, Baixo Amazonas e Guamá, caracterizando uma significativa desigualdade entre as Regiões de Integração do estado, refletindo disparidades socioeconômicas, limitações de infraestrutura e diferentes níveis de capacidade técnico-administrativa dos municípios. As propostas apresentadas destacam a necessidade de fortalecimento da governança ambiental, ampliação da fiscalização, incentivo à cooperação intermunicipal, investimentos em infraestrutura adequada, ações contínuas de educação ambiental e erradicação dos lixões. Deste modo, recomenda-se uma abordagem sistêmica e integrada que promova a economia circular, a justiça socioambiental e a sustentabilidade. Portanto, os resultados obtidos pela pesquisa contribuem como subsídio técnico para o planejamento ambiental e para a formulação de políticas públicas alinhadas à Política Nacional de Resíduos Sólidos e às metas climáticas.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos sólidos; Mudanças climáticas; Planejamento ambiental; Região amazônica.

## ABSTRACT

The management of municipal solid waste (MSW) is one of the main environmental challenges faced by Brazilian municipalities, especially in regions with structural weaknesses, such as the state of Pará. In this context, this sector contributes significantly to greenhouse gas (GHG) emissions, intensifying the impacts of climate change. Given the above, the objective of this study was to evaluate GHG emissions from the final disposal of MSW in the state of Pará, considering the different types of disposal adopted by municipalities, as well as to propose mitigation measures aimed at promoting sustainable and resilient cities. The data used were secondary, extracted from the National Sanitation Information System (SNIS) for the year 2022, currently integrated into the National Sanitation Information System (SINISA); and from public agencies, which allowed us to determine the state's situation regarding final disposal, the mass of MSW collected, and reuse initiatives. In addition, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2e</sub> emissions were estimated based on standardized emission factors, considering the types of final waste disposal, which enabled an analysis by integration region. Finally, mitigation measures were proposed, divided into five strategic areas: legal, managerial, operational, infrastructure, and education for sustainability. The results showed that the state of Pará is marked by a predominance of environmentally inappropriate practices, since 86.11% of municipalities still send their waste to dumps and 9.72% use controlled landfills. Only 18 of the 144 municipalities analyzed have solid waste recovery initiatives. Thus, considering that in 2022 the total amount of MSW collected was 2,364,086.98 tons, the estimated GHG emissions for that same year were 990,668,182.3 tons of CO<sub>2e</sub>. The integration regions that emitted the most GHGs were Guajará, Rio Capim, Baixo Amazonas, and Guamá, characterizing a significant inequality between the state's Integration Regions, reflecting socioeconomic disparities, infrastructure limitations, and different levels of technical and administrative capacity in the municipalities. The proposals presented highlight the need to strengthen environmental governance, expand enforcement, encourage intermunicipal cooperation, invest in adequate infrastructure, and take continuous action on environmental education and the eradication of dumps. Thus, a systemic and integrated approach that promotes the circular economy, socio-environmental justice, and sustainability is recommended. Therefore, the results obtained by the research contribute as technical support for environmental planning and the formulation of public policies aligned with the National Solid Waste Policy and climate goals.

**Keywords:** Solid waste management; Climate change; Environmental planning; Amazon region.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização do Estado do Pará .....	28
Figura 2 - Panorama espacial da Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos e das Iniciativas de Recuperação de Materiais Recicláveis no Pará.....	37
Figura 3- Estimativa das emissões de GEE no Estado do Pará, SNIS (2022).....	41

## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Distribuição das emissões de GEE conforme o tipo de disposição final.....	43
Gráfico 2 – Emissões totais de GEE por RI.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores utilizados para o cálculo da estimativa de GEE emitidos .....	35
Tabela 2 - Análise da massa coletada de RSU nos municípios paraenses, a partir de escalas populacionais, em 2022 .....	38

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre modelos de estimativa do potencial de geração de biogás em aterros sanitários.....	24
Quadro 2 – Medidas propositivas no campo Legal/Normativo.....	49
Quadro 3 – Medidas propositivas na área Gerencial/Administrativa.....	49
Quadro 4 – Medidas propositivas no eixo Logística/Operacional.....	50
Quadro 5 – Medidas propositivas para Infraestrutura/Obras de Engenharia.....	51
Quadro 6 – Medidas propositivas na área Instrucional/Educação para sustentabilidade.....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<b>AC</b>	Aterro Controlado
<b>AS</b>	Aterro Sanitário
<b>ATLAS</b>	Atlas Brasileiro da Reciclagem
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>CO<sub>2e</sub></b>	Dióxido de Carbono Equivalente
<b>COD</b>	Carbono Orgânico Degradável
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>COP</b>	Conferência das Partes
<b>COP21</b>	21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
<b>COP30</b>	30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
<b>DDOC</b>	<i>Deposited Degradable Organic</i> (Carbono Orgânico Degradável Depositado)
<b>DFAA</b>	Disposição Final Ambientalmente Adequada
<b>DFI</b>	Disposição Final Inadequada
<b>FAPESPA</b>	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas
<b>FOD</b>	<i>First Order Decay</i> (Modelo de Decaimento de Primeira Ordem)
<b>FUNAI</b>	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>GWP</b>	<i>Global Warming Potential</i> (Potencial de Aquecimento Global)
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrogênio
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Ácido Sulfídrico
<b>IBAM</b>	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IDH</b>	Índice de Desenvolvimento Humano
<b>IPCC</b>	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

<b>L</b>	Lixão
<b>MAM</b>	Março, Abril e Maio
<b>MCTI</b>	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrogênio
<b>NDC</b>	<i>Nationally Determined Contribution</i> (Contribuição Nacionalmente Determinada)
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amônia
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigênio
<b>ODS</b>	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>PEMC/PA</b>	Política Estadual sobre Mudanças Climáticas do Pará
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PMGIRS</b>	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
<b>PMSB</b>	Plano Municipal de Saneamento Básico
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>PNUMA</b>	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
<b>QGIS</b>	<i>Quantum Geographic Information System</i>
<b>RDO</b>	Resíduos Domiciliares
<b>RI ou Ris</b>	Região de Integração ou Regiões de Integrações
<b>RPU</b>	Resíduos Públicos Urbanos
<b>RS</b>	Resíduos Sólidos
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>SEEG</b>	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
<b>SINIR</b>	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos
<b>SNIS</b>	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
<b>t</b>	Toneladas
<b>TJAM</b>	Tribunal de Justiça do Amazonas
<b>UC</b>	Unidade de Conservação
<b>UNFCCC</b>	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	18
2.1 Geral .....	18
2.2 Específicos .....	18
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
3.1 Fundamentos da Geração e Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Contexto Amazônico e Paraense .....	18
3.2 Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Aterros e Lixões .....	21
3.3 Política Climática, Mecanismos de Mitigação e Cidades Sustentáveis .....	25
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	27
4.1 Qualificação da pesquisa .....	27
4.2 Área de estudo .....	27
4.3 Procedimentos metodológicos .....	31
<i>Etapa 1: Diagnóstico situacional das disposições finais de RSU do estado do Pará</i> .....	31
<i>Etapa 2: Determinação da geração de gases de efeito estufa oriundos da disposição final dos RSU do estado do Pará</i> .....	34
<i>Etapa 3: Proposição de medidas para mitigação de gases de efeito estufa na disposição final de RSU</i> .....	36
<b>5 RESULTADOS</b> .....	36
5.1 Diagnóstico situacional das disposições finais de RSU do estado do Pará .....	36
5.2 Determinação da geração de gases de efeito estufa oriundos da disposição final dos RSU do estado do Pará .....	40
5.3 Proposição de medidas para mitigação de gases de efeito estufa na disposição final de RSU .....	48
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	52
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54
<b>APÊNDICE A - Estimativa total de emissão de CO<sub>2</sub>e/ano em toneladas</b> .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) configura-se como um dos desafios ambientais prementes nos municípios brasileiros. Este cenário é impulsionado pelo elevado volume de resíduos gerados em decorrência do padrão de consumo da sociedade contemporânea, o que torna o gerenciamento e a disposição final destes materiais uma tarefa complexa. Tal problemática transcende a esfera ambiental, incidindo diretamente na saúde pública (Lucena; Pereira Júnior, 2024) e no agravamento das alterações climáticas por vias antropogênicas.

No Estado do Pará, essa dinâmica é acentuada por dimensões territoriais vastas, desigualdades socioeconômicas e limitações estruturais. Segundo Gonçalves *et al.* (2020), diversos municípios paraenses ainda apresentam gerenciamento ineficiente, especialmente aqueles que carecem de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) ou de legislação ambiental atualizada. Nesse contexto, as deficiências na disposição final agravam os impactos ambientais negativos na região amazônica.

A persistência de vazadouros a céu aberto, comumente denominados de lixão, em diversos municípios evidencia o descumprimento dos prazos estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) para o encerramento dessas áreas até agosto de 2024, conforme estabelecido pelo Novo Marco Legal do Saneamento, instituído pela Lei nº. 14.026 (Brasil, 2020). A decomposição da fração orgânica dos RSU em locais inadequados, sem sistemas de captação de biogás, contribui significativamente para a emissão de gases de efeito estufa (GEE), notadamente o metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), intensificando o aquecimento global (Gama, 2022). Embora o efeito estufa seja um fenômeno natural e essencial à vida, o aumento exponencial das concentrações de GEE por atividades antrópicas tem desestabilizado o equilíbrio climático (Albuquerque, 2012).

Nesse contexto, a quantificação das emissões de gases de efeito estufa provenientes da disposição final de resíduos sólidos urbanos apoia-se em metodologias internacionalmente reconhecidas, como as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que asseguram padronização dos procedimentos, confiabilidade dos resultados e comparabilidade entre diferentes realidades territoriais.

No âmbito estadual, o Pará instituiu, por meio da Lei nº. 9.048 (Pará, 2020), a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável,

que estabelece diretrizes para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a integração de ações mitigadoras ao planejamento territorial. A lei cria o Sistema Estadual de Mudanças Climáticas (SEMUC), responsável por coordenar e implementar essas estratégias, reforçando a relevância de estudos técnicos que subsidiem decisões ambientais na região amazônica.

Segundo Loureiro (2019), a correlação entre o aumento na geração de resíduos, a destinação inadequada e a urgência na redução de emissões representam um dos principais entraves ao desenvolvimento sustentável regional. Contudo, a escassez de dados sistematizados sobre as emissões por tipologia de disposição no Pará dificulta a formulação de políticas públicas eficazes e o planejamento ambiental integrado. Diante deste cenário, emerge a seguinte questão norteadora: qual o inventário das emissões de GEE provenientes da disposição final de RSU no Estado do Pará e de que forma esses dados podem subsidiar estratégias de mitigação alinhadas às metas globais?

Investigar essas emissões não apenas contribui para o avanço científico, mas oferece subsídios técnicos para alinhar o Estado à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). A pesquisa fundamenta-se nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), especificamente em atendimento à meta 13.2, que preconiza a integração de medidas contra as mudanças climáticas nas políticas nacionais.

Em âmbito nacional, a relevância deste estudo é reforçada por instrumentos legais como a Política Nacional do Meio Ambiente, promulgada pela Lei nº. 6.938 (Brasil, 1981), e pela PNRS, instituída pela Lei nº. 12.305 (Brasil, 2010). Esta última estabelece, em seu art. 9º, uma hierarquia de manejo que prioriza a não geração e o tratamento de resíduos como etapas essenciais para mitigar impactos ambientais, sendo o inventário de emissões ferramenta fundamental para orientar a tomada de decisão e o planejamento de ações mitigadoras no âmbito da gestão de resíduos sólidos.

Para enfrentar essa problemática, o presente trabalho organiza-se da seguinte forma: inicialmente, apresentam-se os objetivos que orientam a avaliação das emissões no Pará. Segue-se a fundamentação teórica sobre RSU e processos de geração de GEE. A metodologia detalha a área de estudo e os procedimentos de estimativa de emissões em quatro etapas. Por fim, os resultados e discussões expõem o diagnóstico situacional e as medidas de mitigação propostas, encerrando-se com as conclusões e sugestões para futuras investigações.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar as emissões de gases de efeito estufa decorrentes da disposição final de resíduos sólidos urbanos no estado do Pará, visando subsidiar a formulação de estratégias de mitigação e o planejamento urbano orientado à sustentabilidade e à resiliência.

### **2.2 Específicos**

- Elaborar o diagnóstico situacional da disposição final de resíduos sólidos urbanos nos municípios paraenses para alcance do cenário atual setorial.
- Estimar o inventário atual de emissões de gases de efeito estufa geradas pela decomposição da fração orgânica nos locais de disposição final mapeados.
- Propor diretrizes e medidas mitigadoras voltadas à redução das emissões de GEE no setor de resíduos, em conformidade com as metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Fundamentos da Geração e Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Contexto Amazônico e Paraense**

No Brasil, o setor de resíduos é regulado pela Lei nº. 12.305 (Brasil, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa legislação define princípios e instrumentos para gestão integrada e gerenciamento ambientalmente adequado, sob o fundamento da responsabilidade compartilhada. Conforme estabelecido no Art. 3º (Inciso XVI), resíduos sólidos correspondem a materiais ou objetos descartados provenientes de atividades humanas, cuja natureza inviabiliza seu lançamento em redes públicas de esgoto ou corpos d'água sem tratamento prévio.

É relevante diferenciar "resíduo" de "rejeito". Embora o termo "lixo" seja frequentemente utilizado para qualquer descarte sem valor aparente (Logarezzi, 2003), a abordagem técnica e legal considera que muitos descartes podem ser reaproveitados como matéria-prima. Por outro lado, rejeitos são aqueles resíduos para os quais, uma vez esgotadas as possibilidades de tratamento ou recuperação tecnológica/econômica, resta apenas a disposição final adequada (Brasil, 2010).

De acordo com a PNRS, os resíduos sólidos são classificados segundo sua origem: domésticos, de limpeza urbana, comerciais, de serviços públicos, industriais, de saúde, da construção civil, transportes, agrossilvipastoris e mineração. Assim, resíduos sólidos urbanos compreendem resíduos domiciliares, oriundos das atividades cotidianas em residências urbanas, além dos resíduos de limpeza urbana decorrentes da varrição e manutenção de vias e logradouros públicos.

A geração de resíduos sólidos urbanos configura um desafio permanente nos municípios brasileiros, devido ao aumento quantitativo, carência de investimentos públicos, insuficiência dos serviços prestados e descontinuidade de políticas públicas. Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do Pará, a estimativa diária de RSU foi de 6.337,3 toneladas, das quais cerca de 4.958,5 toneladas - 78,2% - foram provenientes de áreas urbanas (Pará, 2014). Tal cenário destaca o impacto direto da densidade populacional e do rendimento familiar na geração de resíduos. Embora o PMGIRS de 2014 apresente defasagem temporal, constitui a fonte oficial mais detalhada sobre a geração de resíduos no estado. Para complementar a análise e atualizar o contexto, estimativas da Abrelpe apontam que, em 2020, o Pará gerou 2.643.695 ton/ano de RSU, representando crescimento de 25,33% em relação a 2010 (Abrelpe, 2022).

Conhecer a composição gravimétrica dos resíduos sólidos é fundamental para o gerenciamento eficiente e estimativas do potencial de geração de biogás. A gravimetria corresponde à proporção de cada componente em relação ao peso total descartado e sofre influência de fatores socioeconômicos, climáticos, culturais e do desenvolvimento regional (Silva *et al.*, 2018). Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a fração orgânica representa 45,30% dos resíduos sólidos (Sinir, 2022; Abrelpe, 2020).

Os recicláveis secos somam 33,6%, compostos majoritariamente por plásticos (16,8%), papel e papelão (10,4%), vidro (2,7%), metais (2,3%) e embalagens multicamadas (1,4%). Outros resíduos totalizam 21,1%, entre os quais têxteis, couro e borracha respondem por 5,6% e rejeitos sanitários por 15,5% (Sinir, 2022; Abrelpe, 2020).

A PNRS, em seu art. 9º, estabelece ordem de prioridade para gestão dos resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010). Além disso, prevê logística reversa, coleta seletiva, análise do ciclo de vida dos produtos, Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão

de Resíduos Sólidos (SINIR), inclusão dos catadores de materiais recicláveis e elaboração de planos de resíduos sólidos com foco social (Marino *et al.*, 2018).

A obrigatoriedade de planos de gerenciamento ocorre em níveis nacional, estadual e municipal. O plano nacional, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente, deve ter vigência mínima de vinte anos e atualização a cada quatro anos, contemplando metas e diretrizes conforme o Art. 15. Estados e municípios devem elaborar seus respectivos planos para acessar recursos federais, abrangendo diagnóstico, metas de redução, erradicação de lixões e ações de reciclagem, conforme diretrizes dos artigos 17 (estadual) e 18-19 (municipal) da PNRS (Jacinto; Zogahib, 2016).

Ferreira (2023) ressalta que a definição das disposições finais e gestão dos resíduos sólidos depende de tecnologias, infraestrutura local, políticas públicas e especificidades regionais. Ainda, aponta que mesmo com a recomendação da PNRS pelos aterros sanitários e extinção de lixões e aterros controlados, em 2020, 81 dos 144 municípios paraenses ainda realizavam a destinação final inadequada de resíduos.

O aterro sanitário representa a forma ambientalmente adequada de disposição final de rejeitos, segundo a PNRS. Este tipo de obra exige projeto e operação de acordo com diretrizes técnicas, contemplando tratamento do chorume, reaproveitamento de biogás e mitigação de impactos ambientais negativos inerentes a vazadores a céu aberto e aterros controlados.

A floresta Amazônica, uma das maiores reservas de biodiversidade mundial e de significativo potencial hídrico, enfrenta desafios relevantes quanto à disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos, sendo recorrente a presença de lixões que apresentam riscos à qualidade da água, solo e à saúde pública (Ribeiro; Ribeiro; Veloso, 2019). Apesar das atividades econômicas de exploração madeireira, mineral e projetos hidrelétricos, persistem problemas de cunho urbano, especialmente pela falta de infraestrutura e saneamento básico.

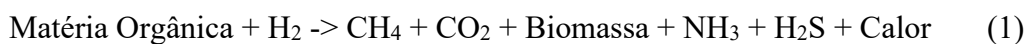
O estado do Pará, com extensa área territorial e baixa densidade populacional, concentra grande produção de RSU e predominância do transporte hidroviário, com municípios acessíveis somente via fluvial dificultando o transporte e a coleta regular dos resíduos (Oliveira; Medeiros, 2019; De Souza; Vasconcelos, 2024). Nessas áreas, os desafios se intensificam em regiões rurais, exigindo maiores investimentos em infraestrutura, políticas públicas, educação, logística e gestão sustentável (Vieria, 2025). Tais fatores demandam atenção prioritária da administração pública, pois, mesmo após uma década da promulgação da PNRS, iniciativas de

coleta seletiva e reciclagem permanecem limitadas, comprometendo o aproveitamento dos materiais e a redução dos impactos ambientais negativos associados.

### 3.2 Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Aterros e Lixões

Em meio ao contexto das transformações climáticas impulsionadas pelo aumento das temperaturas globais, os aterros sanitários e lixões se configuram como potenciais fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). O processo de decomposição anaeróbia da fração biodegradável dos resíduos acontece por meio da digestão anaeróbica, realizada na ausência de oxigênio ( $O_2$ ), esse fenômeno envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica, resultando na geração do metano ( $CH_4$ ), produtos inorgânicos como dióxido de carbono ( $CO_2$ ), além de resíduo líquido rico em minerais, o qual pode ser aproveitado como biofertilizante devido à sua matéria orgânica já estabilizada (Araújo, 2017).

A digestão anaeróbica pode ser ilustrada por meio da Equação 1, apresentada por Kelleher *et al.* (2002):



Segundo Santos (2011), os resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários sofrem um processo de degradação que segue uma sequência de fases que transformam a matéria orgânica em produtos como metano ( $CH_4$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), água e compostos orgânicos estáveis. As principais etapas são descritas abaixo:

Inicialmente, a degradação ocorre através de uma hidrólise da matéria orgânica, resultando em polímeros mais simples como proteínas, carboidratos e lipídios que por sua vez são hidrolisados, formando açúcares, aminoácidos e ácidos graxos voláteis de peso molecular elevado. Os aminoácidos como também os açúcares são transformados em propionato, butirato e outros ácidos voláteis, denominados de produtos intermediários, e são fermentados, produzindo ácido acético e amônio (gerado em ambos os casos). Os ácidos graxos de cadeia longa são decompostos em subprodutos intermediários como os já mencionados e hidrogênio ( $H_2$ ). Os produtos da degradação são dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e metano ( $CH_4$ ) (Lobo, 2003; Santos, 2011).

A decomposição da matéria orgânica em lixões inicia-se sob condições aeróbicas, enquanto ainda há oxigênio disponível no interior da massa de resíduos, predominando nos estágios iniciais da degradação e liberando principalmente dióxido de carbono ( $CO_2$ ) através da atividade microbiana. À medida que o oxigênio se esgota, o processo transita para condições anaeróbicas, caracterizadas pela degradação na ausência de oxigênio, com produção

predominante de metano ( $\text{CH}_4$ ) e  $\text{CO}_2$ , contribuindo de forma significativa para as emissões de gases de efeito estufa (Silva, 2015).

O biogás é composto de 55 a 75% de metano ( $\text{CH}_4$ ) e de 25 a 45% dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Leal, 2016), com pequenas quantidades de ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ), traços de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), carboidratos e oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Zhang *et al.* (2019) destacam que a emissão média de metano em aterros de resíduos varia entre 40% e 60%, enquanto outros estudos no Brasil indicam que as emissões de biogás podem conter mais de 55% de metano e mais de 30% de dióxido de carbono (Almeida, 2023).

Desse modo, o  $\text{CH}_4$ , principal gás produzido na decomposição anaeróbica, possui um potencial de aquecimento global (GWP) historicamente adotado como 21 vezes o  $\text{CO}_2$  (IPCC SAR, 1995), embora relatórios mais recentes indiquem valores de 25 (AR4, 2007), 28 (AR5, 2014) e  $\approx 27$  (AR6, 2021/2022), evidenciando o avanço científico na quantificação de suas emissões e seu impacto sobre as mudanças climáticas. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2023), é necessária uma redução de 40 a 45% das emissões de metano até 2030, para limitar o aumento da temperatura global em  $1,5^\circ\text{C}$ . Assim, controlar essas emissões é fundamental para combater o aquecimento global.

De acordo com as diretrizes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), os inventários de emissões de gases de efeito estufa (GEE), constituem instrumentos técnicos elaborados pelos países membros para monitorar o cumprimento de seus compromissos climáticos, ao mesmo tempo que auxilia nas tomadas de decisões sobre ações de mitigação de emissões (MCTI, 2022).

Nesse contexto, os inventários são instrumentos fundamentais para o desenvolvimento de estratégias e políticas voltadas à redução e monitoramento de emissões. Além disso, trata-se de um documento técnico estruturado, que consolida informações sobre fontes de emissão, fatores de conversão e métricas de impacto climático, sendo essencial tanto para a comunidade científica quanto para os gestores públicos (Neves; Dopico, 2013).

Para isso, são utilizadas metodologias padronizadas, como as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que oferecem diferentes níveis de complexidade conforme a disponibilidade de dados e capacidade técnica de cada país. Entre essas metodologias, destaca-se o modelo de Decaimento de Primeira Ordem (FOD, 2006), que visa estimar as emissões de  $\text{CH}_4$  em aterros, assumindo que o carbono orgânico degradável

(DOC) na massa de resíduos decai lentamente ao longo do tempo, produzindo CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. O IPCC específica nas suas diretrizes, duas fórmulas essenciais para o cálculo de emissões de CH<sub>4</sub> (Fórmulas 2 e 3):

$$DDOC_{maT} = DDOC_{mdT} + DDOC_{mdT-1} \times e^{-k} \quad (2)$$

$$DDOC_{mdecompT} = DDOC_{maT-1} \times (1 - e^{-k}) \quad (3)$$

Em que:

T: ano do inventário;

DDOC<sub>maT</sub>: massa de COD acumulada ao final do ano T (Gg);

DDOC<sub>mdT</sub>: massa de COD depositada no ano T (Gg);

DDOC<sub>mdT-1</sub>: massa de COD depositada no ano T-1 (Gg);

k: constante de decaimento;

DDOC<sub>m decompT</sub>: massa de COD decomposta no ano T (Gg); e

DDOC<sub>maT-1</sub>: massa de COD acumulada ao final do ano T-1 (Gg).

Esse método demonstra que quando as condições são constantes, a taxa de produção de CH<sub>4</sub> depende apenas da quantidade de carbono restante nos resíduos. Assim, as emissões de CH<sub>4</sub> são maiores nos primeiros anos após a deposição e diminuem ao longo do tempo, à medida que o carbono degradável é consumido pelas bactérias responsáveis pela decomposição, (IPCC, 2006; Santo; Romanel; Elk, 2017).

Convém destacar que a aplicação deste modelo segue um guia de procedimentos dividido em três níveis de complexidade para realizar a estimativa da produção de biogás: o Tier 1, que utiliza dados padrão e equações simplificadas do IPCC, assumindo que todo o metano potencial é gerado no mesmo ano do depósito, sendo menos realista; o Tier 2, que combina parâmetros padrão com dados de boa qualidade e séries históricas locais, permitindo uma previsão mais detalhada do perfil de emissão ao longo do tempo; e o Tier 3, que depende de dados específicos de cada local, como medições diretas, oferecendo a estimativa mais precisa (Dornela *et al.*, 2023).

De acordo com Quadro 1, os autores realizaram uma comparação do IPCC com mais dois modelos utilizados para estimar a geração de biogás em aterros sanitários brasileiros (LandGEM e CETESB), para identificar as vantagens e limitações. Nesse contexto, os resultados obtidos no estudo de Dornela *et al.* (2023) destacaram a eficiência do método do IPCC, em relação aos demais, pois traz estimativas mais próximas da realidade. Entretanto, este método apresenta fragilidade nas obtenções dos dados, como os parâmetros de entrada, devido a restrições de monitoramento e pesquisa, além da falta de transparência.

Quadro 1 – Comparação entre modelos de estimativa do potencial de geração de biogás em aterros sanitários

Modelo	Equação	Finalidades de aplicações	Variáveis Utilizadas	Notas Técnicas
IPCC – FOD	Decaimento de primeira ordem	Avalia o potencial de geração de biogás em aterros sanitários	W, DOC, DDOC <sub>maT</sub> , DDOC <sub>m</sub> , decompT, F	Coletar dados do aterro, dos resíduos (Ex.: composição gravimétrica) e utilizar dados de série histórica
LandGEM	Decaimento de primeira ordem	Estima o potencial de geração de biogás em aterros, biodigestores e outras tecnologias	k, Lo, composição do gás (%), Mi, I, J, Tij	Coletar dados recentes do local ou usar os valores tabelados sugeridos
Modelo Biogás	Decaimento de primeira ordem	Estima o potencial de geração de biogás em aterros, biodigestores e outras tecnologias	F, k, Lo, Rx, T, X	Coletar dados recentes do local a ser analisado ou buscar estimá-los com o máximo de variáveis referentes ao local

Legenda: W - Massa de resíduos depositados; DOC - Carbono orgânico degradável; DDOC<sub>maT</sub> - DDOC<sub>m</sub> acumulada no aterro no final do ano T; DDOC<sub>m</sub> – Massa de DOC decomponível depositado ; DDOC<sub>m</sub> decompT: DDOC<sub>m</sub> decomposta no aterro no ano T (Gg); k - Taxa de geração de metano; Lo - Capacidade potencial de geração do metano; Mi - Massa de resíduos sólidos depositados no i-ésimo ano; I - índice do ano de deposição ; J - índice da idade da fração dos resíduos; Tij - Idade da seção j da massa de resíduos disposta no ano i; F - Fator de eficiência de recuperação energética; Rx - Fluxo de resíduos no ano x; T: ano de deposição do resíduo no aterro; x - ano de análise dos resíduos

Fonte: Dornela *et al.*, 2023

No entanto, o método LandGEM, apesar da similaridade com o modelo da CETESB, foi classificado como mais adequado, devido à sua margem de segurança e à sustentabilidade econômica. Por fim, apesar de diversos métodos de estudo para determinação das emissões, os pesquisadores ressaltam a necessidade da ampliação da sistematização e acessibilidade aos dados operacionais dos aterros no país, além da adaptação dos parâmetros dos modelos com as condições climáticas locais, uma vez que muitos utilizam de outras regiões, assim os dados operacionais devem ser acessíveis para não comprometer a precisão dos resultados.

### 3.3 Política Climática, Mecanismos de Mitigação e Cidades Sustentáveis

A 21ª Conferência das Partes (COP21), realizada em Paris em 2015 sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), foi um marco na política climática global, resultando no Acordo de Paris. Reunindo representantes de 195 nações, inclusive o Brasil, esse evento definiu metas para combater os impactos das mudanças climáticas, como a redução de gases do efeito estufa (Peixer, 2019). Entre os objetivos centrais está o compromisso de restringir o aumento da temperatura global a bem abaixo de 2 °C, com esforços para alcançar até 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (Ministério do Meio Ambiente, 2025).

As Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) refletem o empenho de cada país nas iniciativas globais de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Em 2015, o Brasil apresentou seus compromissos, buscando cortar 37% das emissões até 2025 e atingir 43% até 2030. Como parte do processo de revisão periódica e de aumento progressivo da ambição climática previsto no Acordo de Paris, o país submeteu, em novembro de 2024, uma nova NDC à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), no âmbito da COP29. Essa nova contribuição define um compromisso de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa entre 59 % e 67 % até 2035. Com isso, destaca-se como uma das primeiras nações em desenvolvimento a estabelecer uma meta absoluta de diminuição de emissões (Silva; Sanquetta, 2017).

O Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) identifica cinco setores principais que contribuem para as emissões: Agropecuária, Mudança no uso da terra, Energia, Processos industriais e Resíduos. No Pará, assim como em outros estados brasileiros, agropecuária e alterações de uso do solo são os maiores emissores de poluentes; contudo, o setor de resíduos sólidos urbanos (RSU) é também uma importante fonte de metano (CH<sub>4</sub>). Em 2023, foram registradas quase 92 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e provenientes desse setor no Brasil, com 65,4% advindos do descarte de RSU em aterros controlados, lixões e aterros sanitários (SEEG, 2024).

Com a expansão urbana, observa-se um crescimento expressivo nas emissões de gases, impondo desafios à estabilidade climática mundial e à promoção da justiça climática. Conforme Cunha, Borges e Squeff (2025), o planeta enfrenta limites críticos e, por isso, torna-se urgente implementar ações de mitigação dos gases de efeito estufa (GEE). Tais ações englobam o controle das emissões oriundas de aterros sanitários, utilizando técnicas de captação, queima e

aproveitamento energético do biogás. A correta manutenção e dimensionamento desses locais podem recuperar entre 50% e 90% do biogás, variando segundo a idade do aterro e a composição dos resíduos (Borges *et al.*, 2025).

O processamento ambiental responsável dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é fundamental para mitigar impactos ambientais. Estratégias como triagem e tratamentos biológicos, notadamente a compostagem (aeróbio) e digestão anaeróbia, reduzem o volume destinado aos aterros e fortalecem a economia circular. Em Jundiaí-SP, exemplifica-se essa gestão, priorizando o reaproveitamento de resíduos orgânicos via compostagem ou recuperação energética, alinhada à PNRS e à economia circular. Apesar dos avanços em diferentes fases do gerenciamento de resíduos urbanos, pesquisadores apontam a necessidade de ampliar práticas de reutilização de materiais orgânicos visando aprimorar a sustentabilidade local (Conceição *et al.*, 2023).

Uma gestão eficaz dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é crucial para promover resiliência urbana e cidades sustentáveis. Segundo Monteiro (2024), a ausência de saneamento básico traz impactos sociais e ambientais significativos nos centros urbanos. Práticas como coleta seletiva, triagem, tratamento e disposição final adequado diminuem riscos de entupimentos dos sistemas de drenagem, evitando enchentes, doenças e degradação ambiental. Incorporar essas ações ao planejamento urbano é vital para fortalecer saúde pública, segurança ambiental e adaptação às mudanças do clima.

No Pará, a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (PEMC/PA), criada pela Lei nº. 9.048 (Pará, 2020) e atualizada pela Lei nº. 9.781 (Pará, 2022), salienta a importância dos municípios em ações climáticas e na construção de cidades resilientes. Esta define diretrizes para mitigação e adaptação às mudanças do clima, estabelecendo instrumentos como planos municipais, inventários de emissões e incentivos à gestão sustentável de resíduos, configurando-se como referência para o planejamento sustentável e fortalecimento da resiliência socioambiental diante das mudanças climáticas.

## **4 METODOLOGIA**

Esta seção está organizada em três tópicos. O primeiro apresenta o tipo de estudo realizado, destacando sua natureza e abordagem metodológica. O segundo descreve a área de estudo, incluindo sua localização e características. Por fim, o terceiro tópico detalha os métodos, ferramentas e instrumentos utilizados na pesquisa, evidenciando os procedimentos adotados para coleta e análise dos dados.

### **4.1 Qualificação da pesquisa**

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois visa produzir conhecimentos e propor soluções voltadas à melhoria dos problemas relacionados à gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) e seus impactos sobre o clima, especialmente no que se refere às emissões de gases de efeito estufa (GEE). Segundo Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa de natureza aplicada tem como objetivo a resolução de problemas específicos por meio da produção de conhecimentos, com foco na aplicação prática dos resultados obtidos.

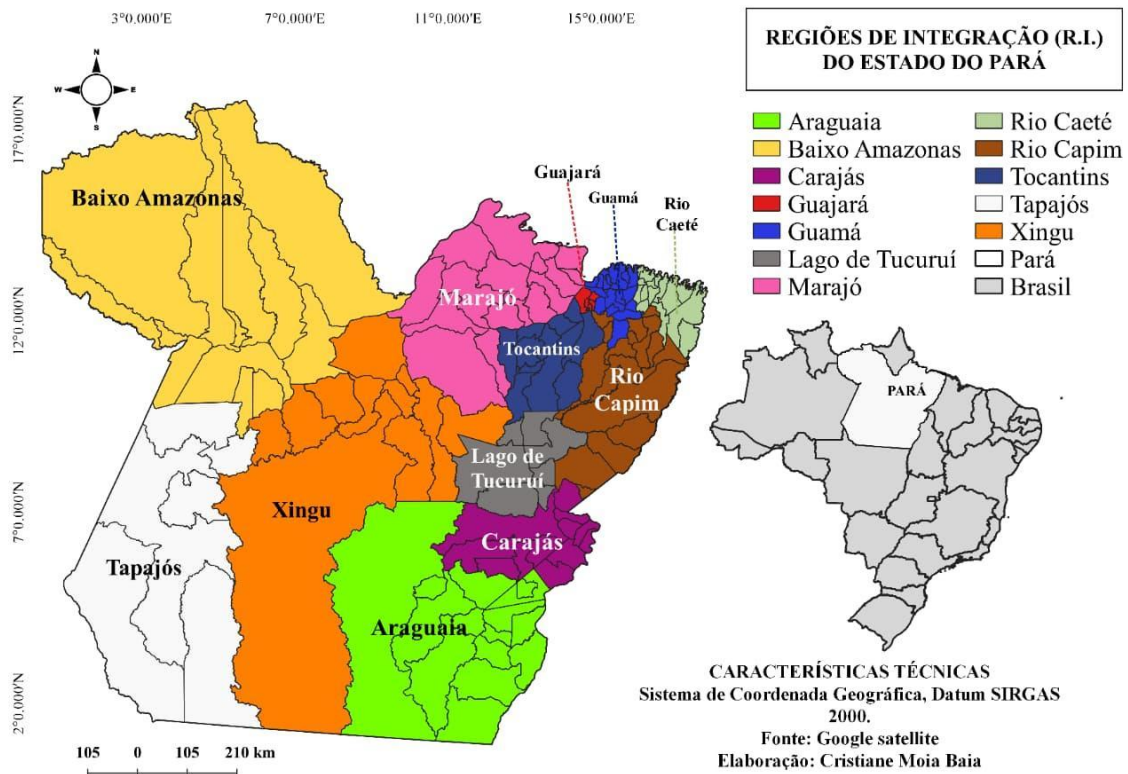
No que diz respeito a abordagem metodológica, trata-se de uma pesquisa qualitativa e quantitativa. Gil (2008) destaca que a pesquisa qualitativa possibilita a compreensão de fenômenos complexos a partir da análise de significados, enquanto a abordagem quantitativa se fundamenta na coleta, organização e análise de dados numéricos.

Além disso, a pesquisa também pode ser classificada como exploratória e descritiva, conforme a tipologia proposta por Minayo (2001), uma vez que investiga um tema ainda pouco estudado no contexto paraense, como as emissões de GEE decorrentes da disposição final de RSU, causando uma aproximação com o objeto de estudo, bem como devido às caracterizações das formas de disposição final de resíduos sólidos e das quantificações das emissões por meio do emprego de dados secundários.

### **4.2 Área de estudo**

O Estado do Pará está situado na região Norte do Brasil, sendo a segunda maior unidade federativa do país, com uma área de 1.245.828,829 km<sup>2</sup>. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o estado concentra uma população de 8.120.131 habitantes, o que corresponde a uma densidade demográfica de aproximadamente 6,52 habitantes por km<sup>2</sup>, sendo o mais populoso da região Norte (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de Localização do Estado do Pará



Fonte: Autoria própria, 2026

O Estado do Pará compreende 144 municípios distribuídos em 12 Regiões de Integração: Araguaia, Baixo Amazonas, Guamá, Tocantins, Tapajós, Metropolitana, Carajás, Lago de Tucuruí, Marajó, Capim, Xingu e Caeté. Esta organização territorial, implementada pelo Decreto nº. 1.066 (Pará, 2008), visa o agrupamento de municípios com características comuns referentes à ocupação do território, condições sociais, dinâmicas econômicas e aspectos ambientais, com o propósito de ampliar a acessibilidade, diminuir desigualdades e fomentar o desenvolvimento regional (Santos, 2015).

Segundo a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa, 2025), o Produto Interno Bruto (PIB) do Pará apresentou crescimento de 5,36% no primeiro semestre do ano, superando a média nacional de 2,85%, equivalente a R\$ 68,7 bilhões. Este desempenho foi impulsionado principalmente pelos setores agropecuário (12,3%) e industrial (22,7%), destacando-se a produção agrícola: soja, milho e mandioca; e a mineração nos municípios de Canaã dos Carajás e Marabá. O estado lidera a produção nacional de açaí e palmito, além de ocupar a segunda posição na produção de madeira, conforme dados do IBGE (2022).

A realização da 30ª Conferência das Partes (COP30), em novembro de 2025 na cidade de Belém, constituiu um importante catalisador do crescimento econômico paraense, promovendo discussões sobre mudanças climáticas e atraindo líderes governamentais, cientistas, representantes da sociedade civil e organizações sociais. O evento intensificou o fluxo turístico e acelerou investimentos em infraestrutura pública, incluindo transporte, mobilidade urbana, saneamento, segurança, turismo e serviços (Sobral, 2025). Tais iniciativas fortaleceram a economia regional, estimulando a geração de empregos e valorizando profissionais locais.

Ambientalmente, o Pará ocupa papel de destaque por integrar o bioma amazônico, composto por vastas florestas tropicais e abundantes recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O território insere-se na bacia hidrográfica do Rio Amazonas, reconhecida internacionalmente pelo seu volume de água, infraestrutura, biodiversidade e disponibilidade de recursos naturais.

Atualmente, o estado possui 98 Unidades de Conservação (UCs) segundo a Fapespa (2024), das quais 30 são de proteção integral e 68 de uso sustentável sob administração federal, estadual e municipal. Adicionalmente, existem 60 áreas indígenas (Funai, 2024), das quais 48 estão regularizadas, oito em processo de demarcação, três em delimitação e uma em estudo; dessas, 50 são tradicionalmente ocupadas por povos indígenas.

No aspecto climático, Paixão, Cattanio e Kuhn (2019) apontam predominância do clima equatorial úmido, baixa variação sazonal e temperaturas médias superiores a 25°C ao longo do ano. A umidade relativa excede geralmente 80%, enquanto o índice pluviométrico varia de 2.000 a 3.300 mm, com maiores volumes entre março a maio (MAM) e dezembro a fevereiro (DJF); os menores índices ocorrem entre setembro e novembro (SON) e junho a agosto (JJA).

Embora grande parte da população resida em áreas urbanas, o Pará dispõe de extensas zonas rurais e trechos de floresta amazônica, sendo que as áreas urbanizadas representam cerca de 14% da totalidade territorial (IBGE, 2022). De acordo com Silva e Panhoca (2007), o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), parâmetro da ONU para avaliação da qualidade de vida, indica que o Pará alcançou 0,69 em 2021, classificando-o em nível médio de desenvolvimento regional (IBGE, 2021).

Entretanto, persistem desafios significativos quanto ao saneamento básico, afetando diretamente o bem-estar populacional. Dados do SNIS (2022) apontam que apenas 55,42% da população dispõe de abastecimento de água, e somente 9,24% contam com rede de esgoto. O cenário é especialmente crítico nas regiões rurais.

Adicionalmente, a insuficiência ou ausência de sistemas adequados de drenagem urbana resulta em frequentes alagamentos durante períodos de chuva. O manejo inadequado de resíduos sólidos contribui para seu descarte em lixões a céu aberto, representando graves riscos ambientais e à saúde. Segundo Silva e Santos (2023), aproximadamente 95% das cidades paraenses ainda descartam lixo em locais impróprios, evidenciando fragilidades na gestão municipal de resíduos.

Gonçalves *et al.* (2020) destaca que a administração pública realiza predominantemente a gestão dos resíduos sólidos urbanos via secretarias municipais de meio ambiente, responsáveis pela coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos domiciliares, embora não exista cobrança específica para tais serviços e nem todos os domicílios sejam contemplados integralmente.

Conforme o Sinir (2019), o Pará coletou 1.557.386,70 toneladas de resíduos sólidos urbanos; apenas 10 municípios praticaram coleta seletiva (14.163,00 toneladas — 5% da população), enquanto 93,5% do atendimento ocorreu por meio de coleta indiferenciada (1.543.223,70 toneladas). A principal modalidade empregada é porta a porta, utilizando caminhões compactadores, com acondicionamento dos resíduos em sacos plásticos pela população (Gonçalves *et al.*, 2020).

O Sinir (2019) ressalta que somente 10% dos resíduos recebem triagem ou reciclagem, evidenciando desperdício de materiais potencialmente reaproveitáveis. Práticas como compostagem são incipientes e restritas a alguns projetos pontuais em Belém e Santarém, enquanto tecnologias avançadas como incineração ou recuperação energética não são empregadas no estado.

Nesse contexto, torna-se imprescindível o monitoramento e a mensuração das emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes das atividades associadas aos resíduos sólidos urbanos (RSU), visando subsidiar políticas públicas efetivas, promover soluções tecnológicas sustentáveis e investimentos em infraestrutura, alinhando a gestão local à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e aos compromissos internacionais de mitigação

climática. Tal abordagem reforça o protagonismo do Pará na agenda global do clima, especialmente diante do seu papel estratégico durante a COP30 na Amazônia.

### **4.3 Procedimentos metodológicos**

Este estudo seguiu a metodologia de Almeida (2023) e foi ajustado aos objetivos da pesquisa para estimar e organizar dados sobre Gases de Efeito Estufa (GEE) gerados pela disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU). As análises basearam-se nas Diretrizes do IPCC 2006, que apresentam métodos para calcular emissões de metano (CH<sub>4</sub>) em aterros e lixões.

#### *Etapa 1: Diagnóstico situacional das disposições finais de RSU do estado do Pará*

Para alcançar o primeiro objetivo específico, esta etapa teve como foco realizar o diagnóstico da situação atual das disposições finais dos RSU no Estado do Pará, considerando os tipos de disposição final adotados pelos municípios paraenses, a quantificação da massa de RSU coletada e a identificação de iniciativas voltadas ao tratamento e à valorização destes materiais. Para isso, foram utilizados os dados do setor de resíduos sólidos advindos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2022 e publicados em 2023, o qual desde 2024 integra o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SINISA). No entanto, considerando que as bases de dados, planilhas e códigos empregados neste estudo mantêm a nomenclatura original do SNIS, optou-se pela adoção dessa denominação, de modo a assegurar consistência metodológica e coerência com as fontes utilizadas.

O SINISA, sob a gestão do governo federal, consolida dados referentes à prestação dos serviços de saneamento básico, incluindo o manejo de resíduos sólidos urbanos. Este sistema reúne informações do setor desde 1995 com a finalidade de proporcionar uma avaliação e comparação desses serviços por meio de indicadores padronizados, apoiando o planejamento e o aprimoramento das políticas públicas do setor (Brasil, 2019).

Os dados foram coletados entre março e maio de 2025. As informações foram extraídas de planilhas organizadas conforme variáveis associadas ao diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos (RSU), possibilitando a segmentação por região, estado, tipo de unidade, operador e município de origem. Com base nesses dados, as informações relativas à disposição final foram obtidas da planilha intitulada “Unidades\_Lixões\_Aterros\_RS\_2022”, na qual os

registros são identificados pelo código “UP003”, referente ao tipo de unidade informado pelo município.

As unidades de disposição final classificam-se, do ponto de vista técnico-operacional, em lixões, aterros controlados e aterros sanitários. No entanto, do ponto de vista legal, conforme estabelece a Lei nº. 12.305 (Brasil, 2010), apenas os aterros sanitários são considerados ambientalmente adequados, enquanto as demais formas de disposição final são classificadas como ambientalmente inadequadas. Ressalta-se que, na etapa de levantamento qualitativo, constatou-se que apenas 119 municípios responderam ao SNIS.

Destaca-se que, para os municípios que não reportaram informações ao SNIS, foi realizada uma verificação por meio de fontes públicas, como secretarias municipais, prefeituras e demais órgãos relacionados. Este procedimento auxiliou na identificação de documentos técnicos para comprovação da existência de disposição final ambientalmente adequada, buscando evitar classificações equivocadas quanto à destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) nos 25 municípios omissos.

Contudo, essa estratégia apresenta limitações, uma vez que as informações obtidas por fontes secundárias, podem apresentar heterogeneidade metodológica, desatualização temporal, e limitações inerentes ao próprio processo de coleta e sistematização das informações, em diversos casos, as informações referentes aos instrumentos de planejamento municipal, como o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), não se encontram disponíveis em bases públicas oficiais ou apresentam registros incompletos, desatualizados ou inexistentes, dificultando a verificação e a padronização dos dados.

Tal condição reflete-se no próprio panorama do planejamento municipal no Estado do Pará, em que 62,50% dos municípios não possuem qualquer instrumento de planejamento relacionado ao saneamento básico ou à gestão de resíduos sólidos, e apenas 18,06% dispõem de PMSB, 15,28% de PMGIRS e 2,08% possuem ambos os planos implementados (Alencar e Lopes, 2024).

Vale ressaltar que uma das principais dificuldades enfrentadas pelo SNIS se refere à limitação dos próprios prestadores de serviços, que frequentemente não dispõem de informações em seus bancos de dados ou cadastros técnicos, resultando em registros incompletos e inconsistentes (Ferreira, 2023).

Dessa forma, o procedimento adotado visou suprir lacunas identificadas na última publicação do SNIS, atualmente integrado ao SINISA. Constatou-se, ainda, que os municípios de Belém e Ananindeua, apesar da ausência de dados no sistema, realizam a disposição final dos RSU em aterro sanitário, por meio de convênio municipal ativo com Marituba.

Posteriormente, foi feito o levantamento dos dados referentes à quantidade de massa dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados no Estado do Pará. Os valores foram obtidos da “Planilha\_Informações\_RS 2022”, onde estão identificados pelo código “CO-119”, que corresponde à “quantidade total de RDO e RPU coletada por todos os agentes”, expressa em toneladas por ano. Dos 144 municípios paraenses, 121 responderam ao questionário sobre resíduos sólidos em 2022, representando cerca de 84% do total.

Para estimar a quantidade de RSU dos municípios inadimplentes ao SNIS (2022) e com disposição final inadequada, utilizou-se a média per capita de geração dos demais municípios, ajustada pelas projeções populacionais do IBGE para 2022. Foram consideradas três faixas: até 50.000 habitantes, 50.000 a 100.000 e mais de 100.000, a fim de analisar o impacto de diferentes portes municipais no ano estudado.

Para analisar a existência de iniciativas de tratamento ou valorização dos resíduos sólidos urbanos (RSU), foram utilizados dados da planilha “Tabela de Associações e Cooperativas de Catadores”. Vale mencionar que a análise considerou apenas os municípios que apresentaram informações disponíveis na base de dados consultada, não sendo possível avaliar de forma detalhada aqueles que não retornaram ou não atualizaram seus dados junto ao SNIS. Dessa forma, os resultados refletem exclusivamente as iniciativas formalmente registradas, podendo haver ações de recuperação de resíduos não contempladas neste levantamento.

Ainda assim, constatou-se que apenas 18 municípios declararam desenvolver esse tipo de iniciativa, o que corresponde a 12,5%, um percentual considerado baixo se comparado ao total de cidades do estado. Mesmo assim, esse levantamento contribui para entender o progresso do Pará na implementação de práticas de recuperação e valorização dos RSU na região.

Com o propósito de sistematizar e analisar os dados para aprimorar a compreensão do estudo, as informações relativas ao tipo de disposição final e à massa de resíduos sólidos urbanos (RSU) foram organizadas em planilhas no software Excel. Esses dados estão sintetizados nas quatro primeiras colunas da tabela anexa apresentada no Apêndice A, na qual

os municípios são agrupados conforme suas Regiões de Integração. Ressalta-se que essa tabela abrange os resultados das etapas 1 e 2 da pesquisa, proporcionando uma visão integrada sobre a disposição final dos RSU e a geração de gases de efeito estufa (GEE) associada. Com base neste levantamento, as informações desta etapa foram georreferenciadas utilizando o software QGIS 3.10.0.

*Etapa 2: Determinação da geração de gases de efeito estufa oriundos da disposição final dos RSU do estado do Pará*

Dando continuidade ao atendimento do segundo objetivo específico, esta etapa teve como foco a estimativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Estado do Pará provenientes da disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU). A análise foi fundamentada nos dados coletados pelo SNIS referentes ao ano de 2022, conforme resultados obtidos na Etapa 1.

Para a realização das estimativas, procedeu-se à identificação dos principais fatores responsáveis pela geração de GEE nessas disposições finais, considerando as recomendações de Almeida (2023). Foram contemplados: o percentual de *resíduos* orgânicos presentes na massa total dos RSU (43,50%, segundo SINIR, 2020); a composição típica do biogás gerado em aterros sanitários (Leal, 2016; Zhang *et al.*, 2019); e as diferenças nas emissões de metano (CH<sub>4</sub>) entre instalações com ou sem recuperação energética, de acordo com Tribunal de Justiça do Amazonas - TJAM (2020).

A adoção dos fatores de emissão do TJAM justifica-se por sua maior especificidade em relação aos tipos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, ao diferenciar aterros com e sem sistemas de coleta de gases e disposições ambientalmente inadequadas. Essa característica torna os fatores mais compatíveis com a realidade operacional dos municípios do estado, marcada por limitações estruturais e heterogeneidade das instalações.

Em comparação, os fatores do IPCC e do SEEG possuem abordagem mais agregada, voltada a estimativas em escala nacional ou global. Assim, a utilização dos fatores do TJAM constitui uma opção metodológica, adotada para maior aderência ao contexto regional, devendo os resultados ser interpretados como estimativas aproximadas, não substituindo inventários oficiais baseados em metodologias internacionais padronizadas.

Desse modo, a estimativa da quantidade de resíduos orgânicos presentes na massa total de RDO + RPU considerou a correlação entre cada massa de resíduo urbano coletada e o

percentual de orgânicos, possibilitando calcular a fração potencialmente degradável e, por consequência, a emissão de CH<sub>4</sub> em função das condições de disposição final.

Com base nestes parâmetros, determinaram-se as emissões padrão associadas aos tipos de disposição adotados pelos municípios, utilizando os dados de emissão de GEE oriundos das diferentes formas de disposição final (DFAA e DFI). Para quantificação das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>e) — todas expressas em toneladas — adotaram-se os valores publicados pelo Tribunal de Justiça do Amazonas (TJAM, 2019), que discriminam as emissões desses gases derivadas da decomposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários com ou sem recuperação energética, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1- Valores utilizados para o cálculo da estimativa de GEE emitidos

Tipo de Disposição Final	CH <sub>4</sub> emitido (kg/ton RSU orgânico)	CO <sub>2</sub> emitido (kg/ton RSU orgânico)	GEE Total em CO <sub>2</sub> e (kg/ton RSU orgânico)
Aterro Sanitário	33,00	17,16	710,16
Aterro Controlado	47,00	24,44	1.011,44
Lixão			

Obs: o valor de CO<sub>2</sub>e foi calculado com base no potencial de aquecimento global dos gases: CH<sub>4</sub> = 21 × CO<sub>2</sub>  
 Fonte: TJAM (2020); PNUMA (2023); Almeida, (2023)

Além disso, para conversão das emissões de GEE em CO<sub>2</sub>e, foi utilizado o fator de conversão recomendado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2023), o qual considera o potencial de aquecimento global do metano como sendo 21 vezes maior que o do CO<sub>2</sub>. Dessa forma, a estimativa das emissões de CO<sub>2</sub> baseou-se na proporção relativa dessa substância na composição do biogás em comparação ao metano CH<sub>4</sub>. Conforme os dados divulgados por Leal (2016) e Zhang *et al.* (2019), o biogás apresenta uma composição média de 65% de CH<sub>4</sub> e 35% de CO<sub>2</sub>.

Os valores referentes à quantidade de resíduos orgânicos presentes na massa de RSU de cada município foram multiplicados pelos fatores de emissão padrão, considerando o tipo de disposição final adotado. Esse procedimento permitiu estimar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), expressas em toneladas de CO<sub>2</sub>e.

Subsequentemente, os valores individuais de emissão foram consolidados, possibilitando o cálculo das emissões totais de GEE provenientes das disposições finais dos resíduos sólidos urbanos dos 144 municípios do Estado do Pará. Essa abordagem permitiu uma

análise abrangente e detalhada tanto por região de integração quanto por município, cujos resultados encontram-se apresentados no Apêndice A.

### *Etapa 3: Proposição de medidas para mitigação de gases de efeito estufa na disposição final de RSU*

Para atingir o objetivo final da pesquisa, esta etapa propõe medidas para mitigar as emissões de GEE na disposição dos RSU no Pará. As recomendações foram agrupadas em cinco temas: legal / normativo, gerencial / administrativo, logística / operacional, infraestrutura / engenharia e instrucional / educação para sustentabilidade, conforme diretrizes ambientais.

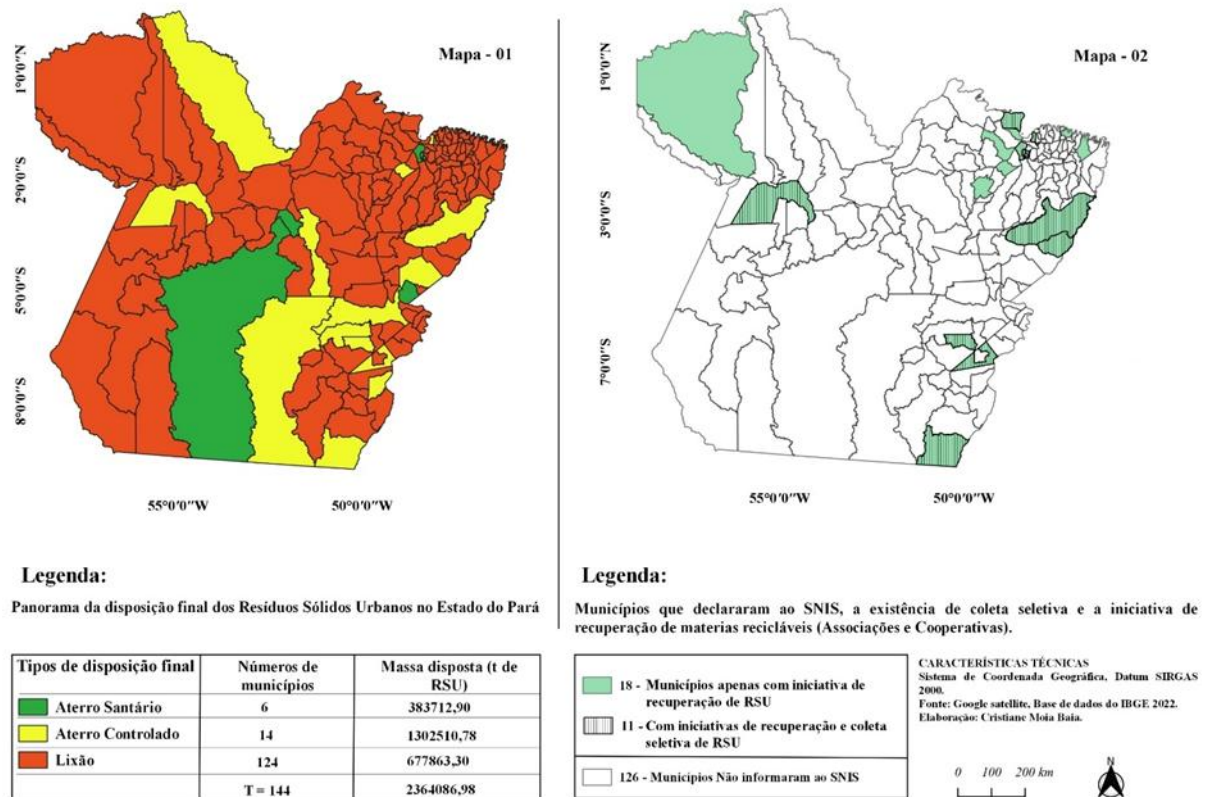
## **5 RESULTADOS**

### **5.1 Diagnóstico situacional das disposições finais de RSU do estado do Pará**

A análise da disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) nos municípios do Pará (Figura 2) evidencia a predominância de práticas ambientalmente inadequadas, refletindo um déficit significativo em infraestrutura e gestão de resíduos sólidos no estado. Dos 144 municípios avaliados, 124 destinam seus resíduos a lixões, enquanto apenas 14 utilizam aterros controlados. Esse panorama indica que mais de 86,11% das cidades não atendem às diretrizes estabelecidas pela Lei nº. 12.305 (Brasil, 2010), referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em especial ao artigo 54, que determina a eliminação dos lixões e a implementação de soluções ambientalmente adequadas.

A partir da análise temporal realizada pela autora Ferreira (2023), observou-se que, no ano de 2020, 81 municípios do Pará utilizavam lixões como forma de destinação final, enquanto 12 municípios faziam uso de AC, conforme dados do SNIS. Passados dois anos depois, os levantamentos mais recentes indicam a manutenção e, em alguns casos, a variação na adoção de práticas ambientalmente inadequadas de destinação final, esse comportamento reforça que o problema da DFI dos RSU no Pará não se configura como uma situação pontual, mas sim como um problema estrutural e persistente.

Figura 2 - Panorama espacial da disposição final dos resíduos sólidos urbanos e das iniciativas de recuperação de materiais recicláveis no Pará



Fonte: Elaborado pela própria autora com base nos dados do SNIS, 2022

Em consequência, isso dificulta o gerenciamento em muitos municípios, perpetuando práticas que poluem o solo, a água e geram gases de efeito estufa (Vieira, 2025). Assim, tal contexto revela a insuficiência das ações implementadas até o momento e evidencia a necessidade de ações integradas, investimentos contínuos e do fortalecimento da governança ambiental.

Diante desse cenário, a pesquisa identificou que somente seis municípios paraenses, como Altamira, Ananindeua, Belém, Bom Jesus do Tocantins, Marituba e Vitória do Xingu, possuem aterros sanitários, correspondendo a 4,17% do total. Esta infraestrutura é considerada a forma adequada e ambientalmente segura de disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Notou-se que estes aterros se localizaram em municípios com maior população e desenvolvimento econômico, caracterizados pelo fomento de recursos institucionais, técnicos e financeiros para implantação de sistemas apropriados de gestão dos RSU.

Esse resultado converge com o que aponta Ferreira (2023), ao destacar que o número de municípios que utilizam aterros sanitários ainda é significativamente reduzido em relação ao

total de municípios do estado do Pará. De forma semelhante, o estudo realizado por Almeida (2023), com base em dados do SNIS 2021, aponta que os municípios que dispõem de aterro sanitário permaneceram praticamente os mesmos municípios citados ao longo do período analisado, o que evidencia uma estagnação na adoção de soluções ambientalmente adequadas para a disposição final dos RSU no estado.

Vale mencionar, que Belém, Marituba e Ananindeua integram um consórcio regional para gestão integrada dos RSU. Entretanto, o AS de Marituba, unidade estratégica de destinação da região metropolitana, encontra-se em situação de capacidade próxima do esgotamento e irregularidade operacional, demandando prorrogação emergencial de funcionamento até dezembro de 2025 por falta de alternativa (G1, 2025; Nogueira; Rito, 2024), essa condição reforça, à falta de planejamento técnico-operacional regional, compromete a destinação ambientalmente adequada e contínua.

A Tabela 2 apresenta os dados da massa de TSU coletada dos 121 municípios que participaram do SNIS (2022). A contribuição destes municípios foi analisada segundo suas escalas populacionais, com suas diferenças significativas no volume total coletado e na geração *per capita*.

Tabela 2 - Análise da massa coletada de RSU nos municípios paraenses, a partir de escalas populacionais, em 2022

Escalas populacionais (habitantes)	Quantidade de municípios	Somatório dos habitantes	Coleta de RSU (ton./ano)	Coleta <i>per capita</i> (kg/hab.dia)
0-50.000	79	1.908.620	431636,1	0,23
50.001 - 100.000	27	1.700.176	606.574	0,36
mais de 100.000	15	3.956.752	1255947,8	0,32
Total	121	7.565.548	2294157,90	0,83

Fonte: Elaborada pela autora baseada no SNIS e IBGE, 2022

Segundo os dados obtidos, 65,3% dos municípios analisados apresentam escala populacional de até 50.000 habitantes, totalizando aproximadamente 1,9 milhão de pessoas no Estado. Apesar dessa representatividade, essa faixa populacional corresponde ao menor volume de resíduos sólidos urbanos coletados, o que se reflete em um indicador de coleta per capita igualmente inferior, registrado em 0,23 kg/hab.dia. Em consonância, a análise apresentada é semelhante ao do Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos do SNIS (2023) e no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (Abrelpe, 2022), que indicam que municípios de pequeno porte tendem a registrar menores índices *per capita*, não necessariamente por menor

geração de resíduos, mas em razão de padrões de consumo menos intensivos e da menor eficiência operacional dos serviços de coleta.

Dentre os municípios analisados, verificou-se que 15 possuem população acima de 100.000 habitantes, representando apenas 12,4% do total. Esta escala concentrou a maior parte dos moradores do estado, sendo estes responsáveis por uma parcela significativa da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), com valores em torno de 1.255.947,8 toneladas por ano e média *per capita* de 0,32 kg/hab.dia.

Por outro lado, os municípios de médio porte (entre 50.001 e 100.000 habitantes) indicaram a maior coleta *per capita* de RSU (0,36 kg/hab.dia), ultrapassando até mesmo os grandes municípios do estado. Esse cenário, segundo a Abrelpe (2022) e o SNIS (2023), está associado ao desempenho dos municípios que apresentam melhor cobertura dos serviços de coleta, com menor áreas rurais e elevados padrões de consumo. Contudo, apesar das diferenças de comportamento dos municípios, é perceptível que o porte influencia diretamente nos padrões de geração e coleta de RSU, refletindo a desigualdades dos municípios.

Adicionalmente, embora o estado do Pará registre uma coleta total de 2.364.086,98 t/ano de resíduos sólidos urbanos (RSU), observa-se que a maior parte desse volume não é destinada adequadamente em aterros sanitários, nem reaproveitada por meio de sistemas apropriados de tratamento. Logo, esse cenário é reforçado pela pesquisa de Alencar (2024), expõem a fragilidade institucional dos municípios paraenses na implementação das iniciativas, como a logística reversa, essa realidade revela não apenas a ausência de políticas públicas consistentes, mas também a baixa capacidade técnica e a dependência de ações fragmentadas e informais, que perpetuam um modelo de gestão ineficaz e incapaz de responder às demandas socioambientais contemporâneas.

No contexto da análise dos 144 municípios avaliados (Figura 2), apenas 18 contam com associações ou cooperativas de catadores, sendo eles: Abaetetuba, Ananindeua, Belém, Benevides, Bragança, Cametá, Canaã dos Carajás, Oriximiná, Paragominas, Ponta de Pedras, Salvaterra, Santana do Araguaia, Santarém, São João de Pirabas, Soure, Ulianópolis, Vigia e Xinguara. Destaca-se ainda que somente 61% desses municípios possuem coleta seletiva formalmente estruturada e identificada no SNIS (2022), demonstrando a limitada abrangência de iniciativas voltadas à inclusão socioeconômica dos catadores e à valorização da coleta seletiva no estado.

Esse quadro reforça o diagnóstico apresentado por Sanjad (2018), ao analisar o município de Belém, tem-se que a reciclagem se mantém pouco estruturada, mas fortemente dependente do trabalho dos catadores e marcada pela falta de integração entre o poder público e a sociedade civil. Em cenário maior, o diagnóstico realizado por Oliveira e Medeiros (2021), uma análise temporal de 2010 a 2018 sobre a GRSU nos estados da Região Norte evidencia que a coleta seletiva permanece praticamente inexistente em diversos municípios, demonstrando que essa deficiência não é um problema exclusivo do estado do Pará, mas caracteriza um problema estrutural comum a grande parte da região.

Diante desse contexto, as limitações evidenciam fragilidades já presentes na gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Segundo Costa (2024), há uma carência de competências profissionais, falta de recursos financeiros e tecnológicos, além de pouco incentivo ao comportamento pró-ambiental. Isso ocorre principalmente devido à ausência da participação social nos processos decisórios e à escassez de iniciativas de educação ambiental. Soma-se ainda a recorrente desvalorização do tema dentro da gestão municipal, o que enfraquece ações voltadas ao setor, tanto nos âmbitos públicos quanto privados.

Para superar essas dificuldades, é fundamental investir em um planejamento sólido, visando fortalecer as políticas públicas e viabilizar programas de incentivo, bem como implementar boas práticas na gestão dos RSU. Diante disso, torna-se indispensável a avaliação contínua das políticas já existentes, bem como a revisão periódica dos instrumentos legais, de modo a garantir o alinhamento dessas diretrizes às demandas dinâmicas da gestão de resíduos (Alencar, 2024). Tais práticas devem ser adaptadas às especificidades de cada município, valorizando o resíduo desde sua coleta até a disposição final e evitando problemas durante as etapas de gerenciamento.

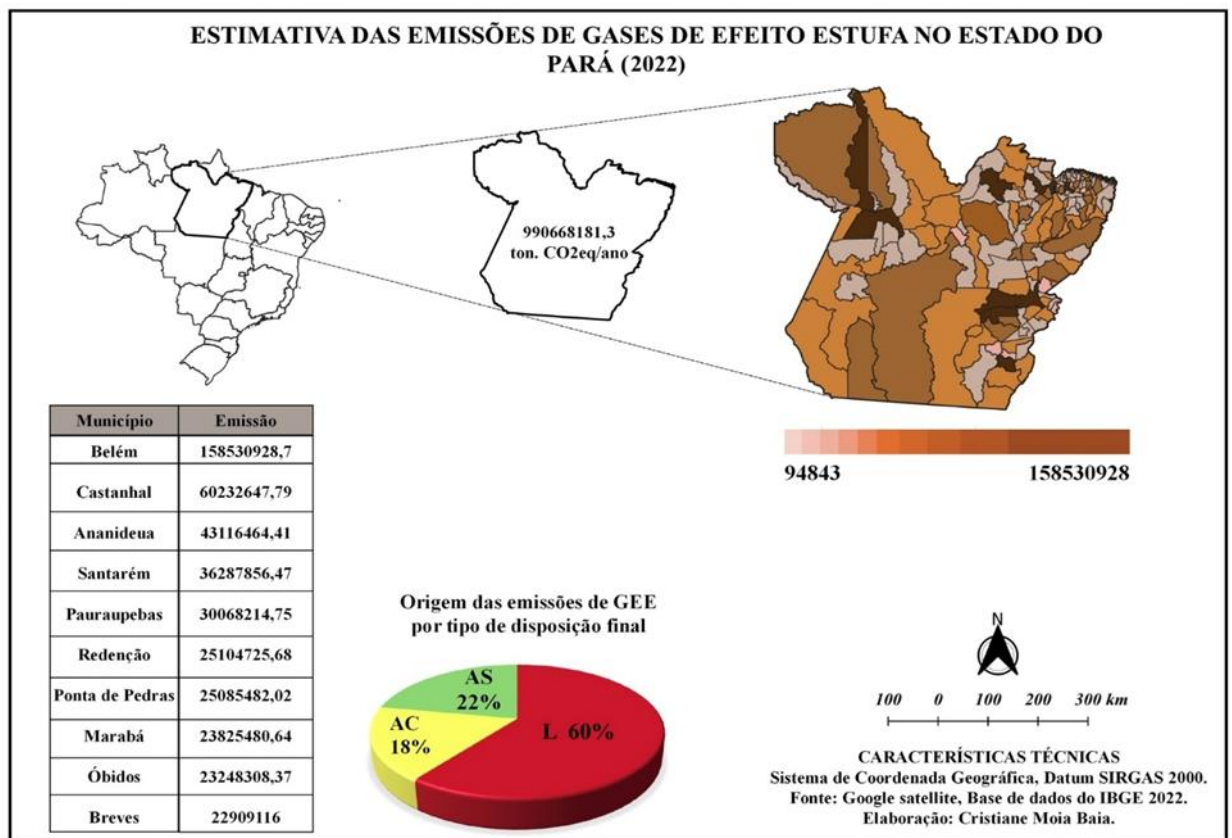
## **5.2 Determinação da geração de gases de efeito estufa oriundos da disposição final dos RSU do estado do Pará**

Verificou-se que em 2022, o estado do Pará registrou emissões de gases de efeito estufa da ordem de 990.668.182,3 t CO<sub>2</sub>e. A maior parte dessas emissões está associada aos vazadouros a céu aberto, que respondem por aproximadamente 60% das estimativas totais. Os aterros controlados foram responsáveis por 18% das emissões, enquanto os aterros sanitários representaram 22%. Este panorama demonstra que cerca de 80% das emissões decorrem da disposição inadequada de resíduos sólidos, evidenciando a importância estratégica da gestão

eficiente de resíduos no contexto da mitigação das mudanças climáticas, especialmente por meio do tratamento apropriado e do uso de aterros sanitários para os resíduos gerados.

De acordo com a estimativa de Almeida (2023) realizada em 2021, a coleta total de RSU foi de 1.016.874,64, e resultou na emissão de 952.901,86 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Um ano após, acompanhando o aumento da geração, a coleta estadual alcançou 2.364.086,98 toneladas, o que implicou em um crescimento sequencial das emissões (Figura 3).

Figura 3- Estimativa das emissões de GEE no Estado do Pará, SNIS (2022)



Legenda: AC – Aterro controlado; AS – Aterro sanitário; L – Lixão

Fonte: Autoria própria, 2026

Para contextualizar a ordem de grandeza estimada, é relevante comparar com dados consolidados de inventários reconhecidos. Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o total de emissões de GEE do estado do Pará em 2024 foi de 277,72 MtCO<sub>2</sub>e (GWP-AR5). Desse total, 55,11 MtCO<sub>2</sub>e (19,8%) foram emitidas pelo setor da Agropecuária, 205,54 MtCO<sub>2</sub>e (74,0%) pelo setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas, 12,31 MtCO<sub>2</sub>e (4,4%) pelo setor de Energia, 3,52 MtCO<sub>2</sub>e (1,3%) pelo setor de Resíduos e 1,25 MtCO<sub>2</sub>e (0,4%) pelo setor de Processos Industriais. Embora os números totais possam diferir em função do escopo setorial e dos métodos de cálculo, a

comparação mostra que a estimativa deste estudo se situa na mesma ordem de grandeza dos dados oficiais.

É importante ressaltar que existem diferenças metodológicas entre o presente estudo e os inventários utilizados como referência, enquanto o SEEG adota fatores de emissão padronizados e uma cobertura setorial ampla, a metodologia aplicada neste trabalho foca especificamente no setor de resíduos sólidos urbanos e pode incluir categorias ou pressupostos distintos. Essas diferenças devem ser consideradas ao interpretar as comparações, mas não invalidam a utilidade da análise para compreensão das emissões advindas da disposição final inadequada.

No contexto analisado, observa-se que a maior parte das emissões está associada aos lixões, onde predomina a decomposição da matéria orgânica em condições aeróbias, resultando principalmente na liberação de CO<sub>2</sub>. Entretanto, mesmo nesses ambientes, podem ocorrer condições anaeróbias em camadas mais profundas dos resíduos, favorecendo a geração de CH<sub>4</sub>, gás com elevado potencial de aquecimento global.

Dessa forma, os dados corroboram estudos recentes que apontam a disposição final inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) como uma fonte relevante de gases de efeito estufa (GEE), reforçando a tendência observada no estado, especialmente em função da elevada fração orgânica dos resíduos e da coexistência de processos aeróbios e anaeróbios nos lixões (Zavarise *et al.*, 2021; IPCC, 2019).

Entretanto, ressalta-se que, mesmo nesses ambientes, podem ocorrer condições anaeróbias em camadas mais profundas dos resíduos, favorecendo a geração de CH<sub>4</sub>, dessa forma, esses dados corroboram com estudo recentes que mostram que DFI de RSU representa uma fonte relevante de GEE, reforçando a tendência observada no estado, especialmente em função da decomposição aeróbia da fração orgânica e da consequente liberação de CH<sub>4</sub>, um gás com elevado potencial de aquecimento global (Zavarise *et al.*, 2021; IPCC, 2019).

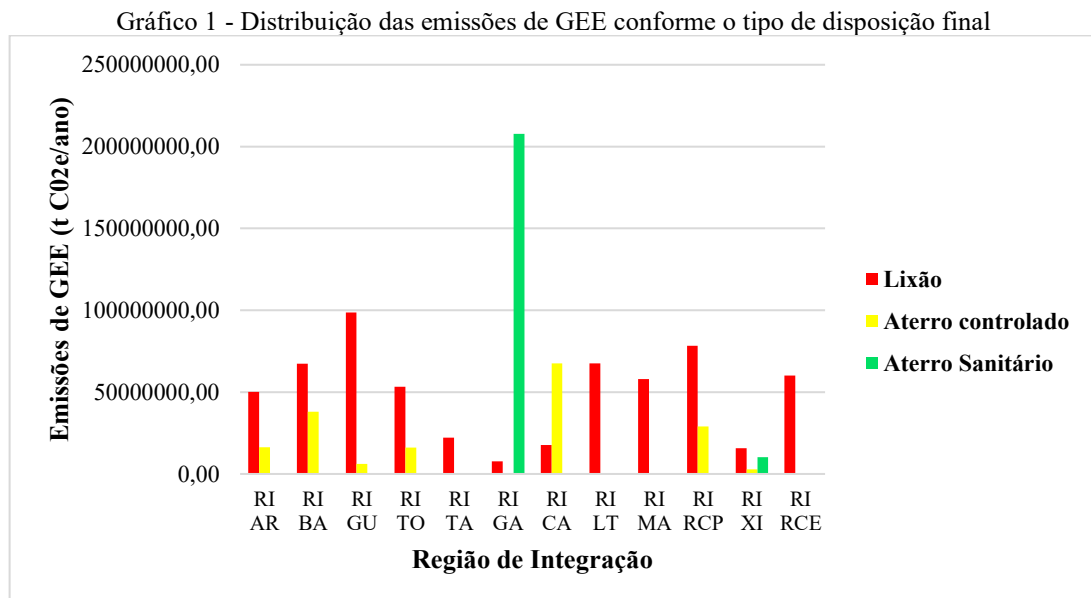
De forma convergente, Lorena *et al.* (2021), ao aplicarem a metodologia do GHG Protocol em município do sudeste, identificaram emissões expressivas de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> equivalente associadas à disposição final de RSU, reforçando a relação direta entre o volume de resíduos dispostos e o aumento das emissões. Complementarmente, Pinto Jr. e Lima (2025) quantificaram emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em um aterro sanitário, evidenciando que o processo de decomposição anaeróbica resulta em fluxos contínuos de GEE, especialmente em contextos

com limitações nos sistemas de mitigação, o que corrobora a relevância do setor de resíduos como fonte emissora e a necessidade de avanços na gestão integrada e na valorização dos resíduos.

Dessa forma, a análise das regiões de integração possibilitou identificar as variações sociais e econômicas presentes nas 12 regiões dos municípios. Essa abordagem também contribui para o entendimento dos avanços e obstáculos verificados na implementação das políticas públicas, bem como para a identificação de fatores de natureza institucional que influenciam as emissões de gases de efeito estufa.

Destacam-se, nesse contexto, o tipo de disposição final adotado, a capacidade de gestão municipal e a existência de arranjos consorciados para o gerenciamento dos RSU como os principais determinantes. Fatores demográficos, como o porte populacional e a concentração urbana, assim como aspectos econômicos, a exemplo da disponibilidade de recursos para investimentos em infraestrutura, exercem influência complementar sobre os níveis de emissão observados.

Ademais, o Gráfico 1 apresenta a situação das regiões de integração quanto às emissões de gases de efeito estufa (GEE), considerando o tipo de disposição final adotado.



Legenda: RI AR - Região de Integração Araguaia; RI BA - Região de Integração Baixo Amazonas; RI GU - Região de Integração Guamá; RI TO - Região de Integração Tocantins; RI TA - Região de Integração Tapajós; RI GA - Região de Integração Guajará; RI CA - Região de Integração Carajás; RI LT - Região de Integração Lago de Tucuruí; RI MA - Região de Integração Marajó; RI RCP - Região de Integração Rio Capim; RI XG - Região de Integração Xingu; RCE - Região de Integração Rio Caeté

Fonte: Autoria própria, 2026

A análise das emissões de gases de efeito estufa (GEE) relacionadas ao tipo de descarte final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) revelou que a região integrada (RI) Guamá, composta por 18 municípios conforme Apêndice A, enfrenta uma situação crítica devido à prevalência de lixões. Essa área tem o maior número de depósitos de resíduos a céu aberto, refletido na alta estimativa de emissão de GEE, cerca de 104.752.814,7 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Estudos desenvolvidos na região do Guamá, como o de Cardoso (2013), ao analisarem o lixão do Patauateua, no município de São Miguel do Guamá (PA), identificaram impactos ambientais significativos decorrentes da disposição inadequada de RSU, incluindo a liberação de gases provenientes da decomposição da fração orgânica, reforçando o papel dos lixões como fontes relevantes de GEE. Isto mostra uma fragilidade estrutural na gestão de resíduos, causada principalmente pela falta de aterros sanitários adequados para a destinação correta dos resíduos, como determina o artigo 3º, inciso VIII da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

O mesmo contexto de limitações estruturais nos serviços de gestão de resíduos, caracterizado pela predominância de lixões e aterros controlados, foi identificado em outras cinco regiões integradas: Rio Capim, Baixo Amazonas, Lago de Tucuruí, Marajó e Rio Caeté. Ressalta-se que a RI Rio Caeté (15 municípios), RI Lago de Tucuruí (7 municípios), RI Marajó (16 municípios) e RI Tapajós (6 municípios) enfrentam uma situação ainda mais grave, visto que utilizam exclusivamente o lixão como forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

As Regiões Integradas (RIs) que apresentaram as menores taxas estimadas de emissões de GEE para disposição final do tipo lixão não necessariamente demonstraram avanços estruturais na gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU). Este contexto foi identificado na RI Carajás, composta por 12 municípios, que adota o aterro controlado como alternativa de disposição final e apresentou sua maior taxa de emissão proveniente dessa fonte.

Conforme Lopes (2016), aterros controlados são potenciais geradores de impactos ambientais negativos devido às limitações nos mecanismos de controle e mitigação ambiental relacionados aos passivos e impactos provenientes do descarte inadequado de resíduos sólidos. Segundo o autor, os principais desafios enfrentados por esses aterros, anteriormente vazadouros a céu aberto com intervenções parciais de engenharia, referem-se a sistemas ineficientes de impermeabilização, drenagem de chorume e captação de biogás. Dessa maneira, o estudo Santos *et al.* (2023) realizado na RI Carajás, afirma que a infraestrutura de AC ainda é

insuficiente para reduzir de forma significativa as emissões de GEE na atmosfera e ocasionam impactos ambientais relevantes.

Além disso, identificou-se que a Região Integrada Guajará, composta por cinco municípios, apresentou a maior taxa estimada de emissões de gases de efeito estufa (GEE) relacionadas aos aterros sanitários, totalizando cerca de 215.456.140,6 t CO<sub>2</sub>e. Esse resultado está diretamente vinculado à concentração de sistemas destinados ao recebimento das maiores quantidades de resíduos sólidos urbanos do estado, decorrente da elevada densidade populacional e da centralização da disposição final dos resíduos provenientes de grandes centros urbanos, em especial da Região Metropolitana de Belém (RMB), reconhecida como polo industrial do estado do Pará.

Vale mencionar, que a instalação do AS na RMB agrava os impactos locais, conforme Dias (2012), os moradores próximos sofrem com odores desagradáveis, contaminação de solo e corpos d'água e geração de chorume não tratado, problemas intensificados pelo alto índice pluviométrico e pelas condições climáticas da região. Ressalta-se que as altas emissões observadas na RI Guajará não indicam necessariamente ineficiência do sistema, mas refletem a dimensão das operações e a concentração regional do destino dos resíduos. Isso reforça a relevância de implementar estratégias complementares, como a redução da geração de resíduos, o aumento da reciclagem e o aproveitamento energético do biogás, visando à mitigação das emissões na região (Cardoso *et al.*, 2020).

A Região Integrada (RI) Xingu, formada por 10 municípios, destaca-se no cenário estadual pela variedade nas formas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo a única a reunir simultaneamente lixão, aterro controlado e aterro sanitário. Verificou-se que a estimativa de emissões nesta região foi de 15.662.045,45 t CO<sub>2</sub>e provenientes dos lixões, 2.749.093,92 t CO<sub>2</sub>e dos aterros controlados e 10.181.883,49 t CO<sub>2</sub>e dos aterros sanitários. Embora esse quadro represente um estágio intermediário de transição na gestão de resíduos da região, trata-se de um avanço localizado e ainda insuficiente, pois 53,62% dos resíduos ainda têm sua destinação ocorrendo de forma tecnicamente inadequada em lixões ou AC (Ferreira, 2024), e a existência contínua dos lixões mantém as emissões em níveis elevados.

Entretanto, vale mencionar que mesmo com a presença de aterro sanitário, as emissões permanecem significativas, uma vez que estão diretamente associadas ao grande volume de resíduos dispostos no solo. Desse modo, reduções mais expressivas nas emissões não seriam

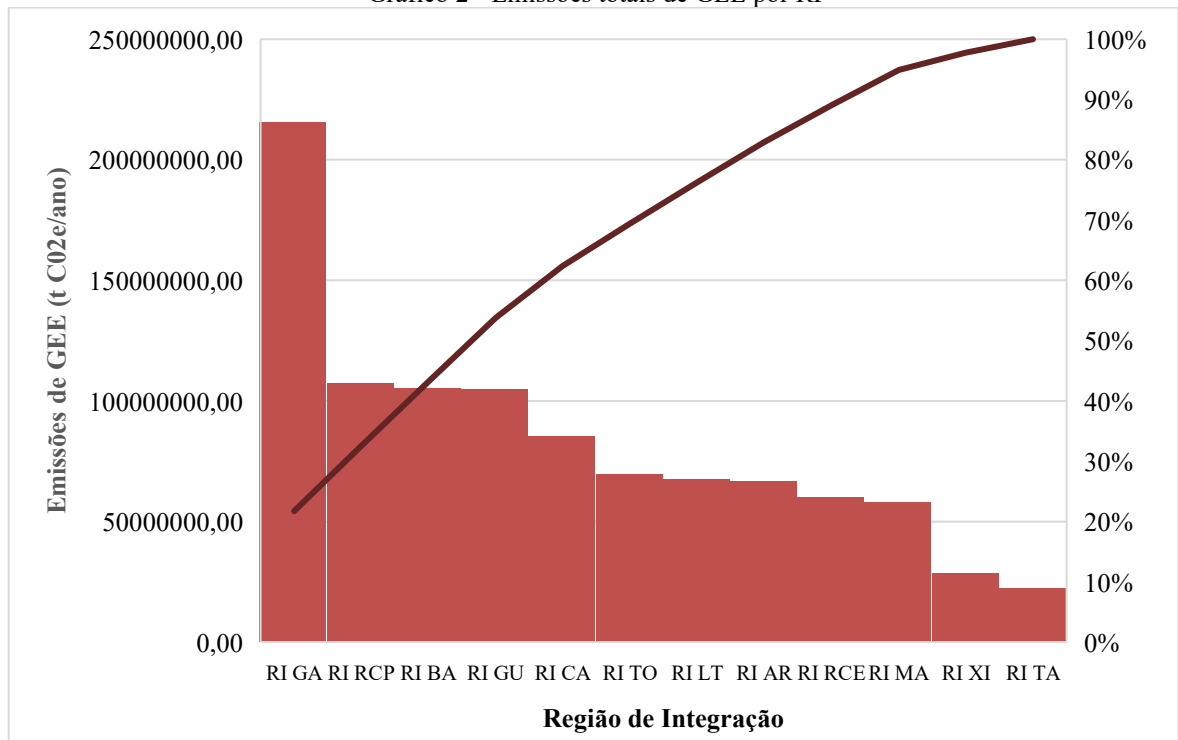
alcançadas apenas pela mudança da forma de disposição final, mas principalmente pela adoção de medidas voltadas à recuperação e valorização dos resíduos.

De modo geral, percebe-se que as Regiões Integradas (RIs) do estado têm dificuldades para cumprir a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), revelando problemas no seguimento dos princípios fundamentais do setor de resíduos sólidos urbanos. Esse cenário é evidenciado, sobretudo, pela continuidade dos lixões, ainda frequentes no Pará, padrão também observado por Almeida (2023). Em consequência disso, muitas RIs não conseguem alinhar de maneira efetiva a gestão dos resíduos às iniciativas de mitigação climática, o que está em desacordo tanto com as orientações internacionais da Agenda 2030 (ONU, 2015) quanto com os compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris, nas Conferências das Partes (COPs) e na implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Brasil, 2009).

A análise das emissões totais de GEE por RI apontou uma grande desigualdade espacial na contribuição das regiões do Pará para o balanço estadual de emissões ligadas aos resíduos sólidos urbanos (RSU). O Gráfico 2 evidenciou que poucas RIs concentraram grandes volumes de emissões. As regiões com os maiores valores absolutos de emissões totais foram Guajará (215.456.140,61 t CO<sub>2</sub>e), seguida por Rio Capim (107.258.927,54 t CO<sub>2</sub>e), Baixo Amazonas (105.281.448,55 t CO<sub>2</sub>e) e Guamá (104.752.814,70 t CO<sub>2</sub>e). Juntas, essas regiões somam uma parcela relevante das emissões estaduais, algo que fica ainda mais claro quando observamos em escala municipal.

Conforme indicado na Figura 2, as RIs com maiores volumes regionais de emissões concentram municípios que são os principais emissores do estado, como Belém, Castanhal, Ananindeua, Santarém e Óbidos. A coincidência entre as escalas regional e municipal reforça que esses territórios desempenham papel fundamental na dinâmica das emissões do setor de resíduos, seja pela intensidade da atividade urbana, seja pela centralização regional da destinação final. Nessa linha, esse ritmo revela uma falha estrutural da economia circular, diretamente associado à elevada geração de resíduos. Conforme Amaral (2021), isso reflete a lógica da exploração capitalista, na qual o consumismo se consolida como herança estrutural da Revolução Industrial, conforme apontam Silva e Capanema (2019).

Gráfico 2 - Emissões totais de GEE por RI



Legenda: RI AR - Região de Integração Araguaia; RI BA - Região de Integração Baixo Amazonas; RI GU - Região de Integração Guamá; RI TO - Região de Integração Tocantins; RI TA - Região de Integração Tapajós; RI GA - Região de Integração Guajará; RI CA - Região de Integração Carajás; RI LT - Região de Integração Lago de Tucuruí; RI MA - Região de Integração Marajó; RI RCP - Região de Integração Rio Capim; RI XG - Região de Integração Xingu; RCE - Região de Integração Rio Caeté

Fonte: Autoria própria, 2026

Além das grandes regiões metropolitanas, notou-se que as emissões também foram distribuídas por áreas com diferentes níveis de urbanização e organização territorial. Regiões como Carajás (85.387.278,52 t CO<sub>2</sub>e), Tocantins (69.417.828,76 t CO<sub>2</sub>e), Lago de Tucuruí (67.643.288,63 t CO<sub>2</sub>e), Araguaia (66.619.631,46 t CO<sub>2</sub>e) e Rio Caeté (60.195.593,02 t CO<sub>2</sub>e), embora tenham apresentado valores inferiores às regiões com maiores estimativas de GEE, tiveram participação significativa no total estadual de emissões.

Por último, as menores taxas totais de emissões foram registradas nas Regiões Integradas de Marajó (57.878.897,65 t CO<sub>2</sub>e), Xingu (28.593.022,87 t CO<sub>2</sub>e) e Tapajós (22.183.310,02 t CO<sub>2</sub>e). Esse resultado não necessariamente indica maior eficiência ambiental ou adequação da gestão de resíduos nessas localidades, mas está relacionado a fatores territoriais específicos, como menor densidade populacional e reduzido volume absoluto de resíduos gerados.

Portanto, é imprescindível que os poderes públicos do estado invistam em forma de subsidiar ações efetivas de controle, fiscalização, planejamento e priorização de investimentos em infraestruturas adequadas de GRS, para superar os entraves identificados e promover a integração da gestão de resíduos às agendas urbanas, ambientais e climáticas nacionais. Nesse sentido, Hauenstein e Ismail (2024) ressaltam que a ausência de políticas integradas contribui para a baixa implementação de práticas em conformidade com a PNRS, especialmente nos municípios de médio e pequeno porte, reproduzindo cenários semelhantes aos observados nesta pesquisa.

### **5.3 Proposição de medidas para mitigação de gases de efeito estufa na disposição final de RSU**

Para garantir a qualidade ambiental, promover a justiça socioambiental e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas no Estado do Pará, é fundamental que sejam implementadas medidas que reduzam os impactos ambientais negativos associados ao manejo inadequado dos RSU. De acordo com o estudo de Sousa *et al.* (2025), a solução desta problemática exige efetividade de políticas públicas setoriais, alinhadas com diretrizes ambientais, tecnológicas e socioeducacionais em prol do direito coletivo das cidades sustentáveis.

Nesse contexto, são apresentadas recomendações organizadas de acordo com os aspectos legal/normativo, gerencial/administrativo, logístico/operacional, infraestrutura/obras de engenharia e instrucional/educação para a sustentabilidade. Estas recomendações visam a redução das emissões de GEE no setor de resíduos e promoção da qualidade e salubridade socioambiental do setor.

O Quadro 2 reúne as propostas que foram elaboradas para o eixo legal/normativo, estruturadas a partir da atuação do poder público e da sociedade civil, com a finalidade de fortalecer as regulamentações ambientais, a consolidação da PNRS, a funcionalidade da fiscalização e a efetividade das políticas públicas.

Quadro 2 - Medidas propositivas no campo Legal/Normativo

<b>Medida proposta</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Normativas</b>
Desenvolvimento e implementação de políticas públicas que incentivem alternativas tecnológicas que visem o reaproveitamento RSU, como a coleta seletiva e logística reversa.	Reduzir a quantidade resíduos sólidos na etapa de disposição final e, conseqüentemente, as emissões de GEE associadas.	Lei nº 12.305/2010 (PNRS); Decreto nº 10.936/2022
Fortalecimento da fiscalização e penalidades, referentes à gestão e operação dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.	Garantir o cumprimento dos instrumentos e fortalecer a aplicação da PNRS nos âmbitos estadual e municipal.	PNRS; Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais)
Criação de normas pelo governo estadual que detalhem prazos e responsabilidades para erradicação de lixões.	Regulamentar, em âmbito estadual, prazos e competências para garantir a eliminação dos lixões, visando padronização das obrigações e a conformidade com as exigências ambientais.	Constituição Federal, art. 24; PNRS
Obrigatoriedade e penalidades para ausência de dados do SNIS.	Reduzir lacunas de dados e ampliar a confiabilidade do inventário como instrumento de planejamento e gestão dos resíduos sólidos.	Decreto nº 7.217/2010; SNIS; PNRS

Fonte: Autoria própria, 2026

Já no campo gerencial/administrativo (Quadro 3), recomendam-se instrumentos que viabilizem soluções técnicas adequadas ao gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios paraenses, garantindo cooperação entre as RIs, como a adoção de modelos consorciados que permitam o planejamento regionalizado. Além disso, sugere-se a redução das desigualdades socioambientais e a mitigação dos impactos negativos, haja vista que segundo Sampaio (2025), a gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos intensifica os passivos ambientais e compromete a qualidade de vida da população.

Quadro 3 - Medidas propositivas na área Gerencial/Administrativa

<b>Medida proposta</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Normativas</b>
Criação de consórcios intermunicipais para gestão compartilhada de aterros sanitários e usinas de tratamento.	Otimizar custos, viabilizar aterros sanitários e reduzir impactos socioambientais.	Lei nº 11.107/2005 (Consórcios Públicos); PNRS
Elaboração e atualização de Planos Municipais de Gestão Integrada de RSU que contemplem a especificidade local dos municípios paraenses.	Contemplar ações alinhadas às metas estaduais e nacionais, bem como medidas provenientes às especificidades locais.	PNRS, art. 19
Capacitação técnica de gestores públicos.	Melhorar a eficiência na execução das políticas de resíduos.	PNRS; Agenda 2030 - ODS 11 e 12
Estabelecimento de indicadores de monitoramento das emissões de GEE nos aterros e lixões desativados	Permitir ajustes contínuos e acompanhamento do desempenho ambiental climático.	IPCC Guidelines; PNMC

Fonte: Autoria própria, 2026

Para as medidas no campo logístico/operacional (Quadro 4), recomendam-se a transição de um modelo linear para um modelo circular de gestão de resíduos sólidos, com foco na gestão sistêmica à luz do aproveitamento mássico e energético dos resíduos sólidos, bem como a efetivação da hierarquia dos resíduos, com estímulos econômicos e logísticos para a redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos materiais gerados. Segundo Andrade e Galo (2024), é imperativo o emprego de um modelo econômico que priorize a valoração e valorização dos resíduos sólidos, fomentando cadeias produtivas, fortalecendo as organizações de reciclagem, empoderando os recicladores e empregando tecnologias de fácil operação e logística.

Quadro 4 - Medidas prepositivas no eixo Logística/Operacional

<b>Medida proposta</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Normativas</b>
Expansão de modelos de coleta seletiva e logística reversa	Reduzir os rejeitos e aumentar reaproveitamento dos materiais potencialmente recicláveis e a compostagem.	PNRS; ODS 12
Implantação de sistemas de triagem e compostagem com participação dos recicladores de resíduos	Reduzir a fração orgânica destinada a aterros/lixões e emissões de metano	PNRS; IPCC
Fomento de cadeias produtivas locais pela administração municipal para promoção da reciclagem.	Contribuir para o fortalecimento da economia circular e reduzir volumes de resíduos destinados à disposição final.	PNRS; Economia Circular (UE/ONU)

Fonte: Autoria própria, 2026

No que se refere à infraestrutura ambiental (Quadro 5), esta etapa visa ressaltar a importância da adequação técnica dos sistemas de disposição final de resíduos sólidos no estado, como uma medida indispensável de controle dos impactos ambientais difusos. Segundo os pesquisadores Silva e Tagliaferro (2021), a implementação de aterros sanitários devidamente projetados e operados, contribui para minimizar da contaminação do solo e das águas subterrâneas, além de reduzir emissões de gases de efeito estufa.

Quadro 5 – Medidas propositivas para Infraestrutura/Obras de Engenharia

<b>Medida proposta</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Normativas</b>
Implantação de aterros sanitários em áreas ambientalmente adequadas. Adequações estruturais contínuas de aterros sanitários já existentes com implementação de sistemas de impermeabilização do solo, drenagem e tratamento de chorume, bem como monitoramento ambiental contínuo.	Prevenir contaminação ambiental e reduzir emissões de GEE	PNRS; Res. Conama n°. 404/2008
Encerramento técnico e recuperação ambiental de lixões existentes para mitigação do passivo ambiental, por meio de medidas de contenção de impactos, recomposição vegetal e monitoramento ambiental pós-encerramento, em consonância com os instrumentos legislativo ambiental vigente.	Mitigar impactos ambientais e emissões difusas de GEE	PNRS; Res. Conama n° 404/2008
Implantação de infraestrutura e obras de engenharia voltadas à captação, tratamento e reaproveitamento do metano gerado nos aterros sanitários, por meio da instalação de sistemas de drenagem e coleta de biogás, unidades de tratamento e purificação, bem como unidades de aproveitamento energético do biogás, destinadas à geração de energia elétrica, térmica ou à produção de biometano, integradas à adoção de tecnologias de tratamento prévio dos resíduos sólidos urbanos, como o Tratamento Mecânico-Biológico (TMB), a triagem e a estabilização da fração orgânica antes da disposição final.	Mínimizar a geração de metano na disposição final	IPCC Guidelines; PNRS

Fonte: Autoria própria, 2026

Por fim, a estratégia educativa é implementada como um dos principais pilares no enfrentamento dos desafios relacionados à gestão de resíduos sólidos e à mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), uma vez que busca promover a transformação da relação da sociedade com o meio ambiente por meio da mudança de comportamento individual e coletivo (Quadro 6). Esta abordagem também incentiva práticas sustentáveis, tais como a redução e o correto tratamento dos resíduos, contribuindo para o cumprimento das políticas públicas ambientais (Cebenelli, 2024).

Quadro 6 – Medidas propositivas na área Instrucional / Educação para a sustentabilidade

<b>Medida proposta</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Normativas</b>
Realização de campanhas municipais participativas de educação ambiental e conscientização sobre as etapas do gerenciamento de resíduos, da geração a disposição final, com enfoque à redução, à reutilização e à reciclagem de resíduos.	Reduzir a geração de resíduos e disseminar práticas/hábitos sustentáveis	Lei n° 9.795/1999 (PNEA); PNRS
Criação de programas de educação ambiental em escolas voltados para gestão de resíduos e os impactos das mudanças climáticas.	Estimular a formação da consciência ambiental, climática e responsabilidade socioambiental desde a base infantil	PNEA; BNCC
Capacitação técnica e administrativa de catadores e cooperativas.	Ampliar a inclusão social e a eficiência da reciclagem.	PNRS; ODS 8 e 12
Promoção de práticas comunitárias como oficinas de compostagem doméstica/comunitárias, hortas urbanas e técnicas de reutilização de materiais recicláveis.	Incentivar a participação ativa da comunidade e promover a conscientização.	PNRS; Agenda 2030

Fonte: Autoria própria, 2026

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados deste estudo, a avaliação da gestão de resíduos sólidos no estado do Pará evidencia um cenário crítico no que se refere à disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, observa-se a predominância de formas inadequadas de disposição, como lixões e aterros controlados, o que revela fragilidades estruturais, institucionais e operacionais na implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), especialmente no que se refere à erradicação dos lixões e à universalização da disposição final ambientalmente adequada.

Nesse contexto, o setor de disposição final de resíduos sólidos destaca-se como um dos principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa, com valores estimados para o ano de 2022 de 990.668.182,3 t de CO<sub>2</sub>e. Tal constatação reforça a importância estratégica do setor de resíduos no enfrentamento das mudanças climáticas, sobretudo por meio da melhoria das práticas de manejo e da adoção de soluções tecnicamente adequada.

Ademais, a análise espacial e regional demonstrou a existência de significativa desigualdade entre as Regiões de Integração do Estado do Pará, refletindo disparidades socioeconômicas, limitações de infraestrutura, distintos níveis de capacidade técnico-administrativa dos municípios e padrões diferenciados de geração de resíduos sólidos urbanos. Observou-se que as regiões intermediárias concentram as maiores disparidades, seguidas pelas regiões de grande porte, com destaque para a Região de Integração do Guajará, que, apesar de dispor de aterro sanitário, apresenta os maiores níveis de emissões de gases de efeito estufa no estado, devido ao elevado volume de resíduos gerados e à predominância de matéria orgânica, evidenciando que a presença de aterros sanitários isoladamente não é suficiente para mitigar os impactos ambientais.

A pesquisa também revela limitações na disseminação de iniciativas socioambientais no estado, como programas de coleta seletiva e ações de associações de catadores, apontando desafios na gestão de resíduos, especialmente na implementação das políticas públicas existentes. Diante desse contexto, o estudo propôs um conjunto de medidas estruturadas em cinco eixos estratégicos: legal/normativo, gerencial/administrativo, logístico/operacional, infraestrutura/obras de engenharia e instrucional/educação para a sustentabilidade, com o intuito de mitigar as emissões de GEE e promover avanços na gestão dos RSU no Pará.

As propostas apresentadas destacam a necessidade do fortalecimento das políticas ambientais e adequações da gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos. Para isso, é fundamental uma abordagem sistêmica e integrada, que tenha a participação do governo

estadual, em articulação com os gestores municipais responsáveis pelos setores de saneamento e meio ambiente; bem como a participação social para promover a economia circular, garantir a melhoria da qualidade de vida da população. Além de impulsionar a justiça socioambiental em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e à luz da PNRS, reforçando a valorização e inclusão socioeconômica dos catadores, além do encerramento dos lixões para fortalecimento do compromisso do estado com a sustentabilidade climática ambiental.

Nesse sentido, embora os eixos legal/normativo, logístico/operacional, infraestrutura/obras de engenharia e instrucional/educação para a sustentabilidade sejam fundamentais e complementares, evidencia-se que o eixo gerencial/administrativo assume papel estruturante no contexto paraense. Isso se deve ao fato de que a capacidade de planejamento, coordenação, fiscalização e execução das políticas públicas condiciona diretamente a efetividade dos demais eixos, especialmente em um território marcado por desigualdades regionais, e por limitações técnicas e institucionais

Ressalta-se que, embora a metodologia adotada tenha permitido uma análise abrangente em escala estadual, o estudo apresenta limitações inerentes ao uso de dados secundários, devido à ausência de informações declaradas por alguns municípios ao SNIS, atual SINISA. No entanto, apesar disso os resultados obtidos fomentam um importante subsídio técnico para o planejamento ambiental, a formulação de políticas públicas e o cumprimento das metas climáticas assumidas pelo Brasil em âmbito nacional e internacional para os municípios paraense.

Por fim, recomenda-se que as pesquisas futuras aprofundem a análise da eficiência operacional dos aterros sanitários no estado do Pará, com a aplicação de metodologias mais refinadas, como modelos do IPCC em níveis Tier 2 ou Tier 3, incorporando dados locais sobre composição gravimétrica dos resíduos, eficiência operacional dos aterros sanitários e sistemas de captação de biogás. Tais avanços metodológicos poderão subsidiar de forma mais robusta o aprimoramento das estratégias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa no setor de resíduos sólidos.

Dessa forma, espera-se que este trabalho contribua para o avanço do conhecimento científico e para a construção de uma gestão de resíduos sólidos mais eficiente, justa e ambientalmente sustentável no Estado do Pará.

## REFERÊNCIAS

ARBEL – AGÊNCIA REGULADORA MUNICIPAL DE BELÉM. **Sustentabilidade econômica e financeira da prestação de serviço de manejo de resíduos sólidos urbanos do município de Belém: anos de 2010 a 2019**. Belém: ARBEL, 2022.

ALBUQUERQUE, Laura. **Análise crítica das políticas públicas em mudanças climáticas e dos compromissos nacionais de redução de emissão de gases de efeito estufa no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

ALENCAR, Mariana dos Santos. **Gestão de resíduos sólidos no estado do Pará: desafios e perspectivas para implementação da logística reversa**. Artigo de Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Tomé-Açu, 2024.

ALENCAR, Deivison de Souza; LOPES, Igor Augusto da Silva. **Resíduo do açai: dos planos municipais às rotas tecnológicas**. Orientador: Rodrigo Cândido Passos da Silva. 2024. 62 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2024. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/handle/prefix/7430>.

AMARAL, R. C. F. Coleta seletiva de resíduos sólidos e reciclagem: a tutela do Ministério Público de direitos fundamentais. **De Jure: revista jurídica**, v. 20, n. 36, p. 53-77, jan.-jun. 2021

ALMEIDA, Fernando Felipe Soares; PEREIRA, José Almir Rodrigues. Disposição final de resíduos sólidos urbanos e a geração de gases de efeito estufa no Estado do Pará. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 11, n. 83, 2023. ISSN 2318-8472.

ANDRADE, Luiza Raquel Carvalho de; GALO, Nadya Regina. Gerenciamento circular de resíduos sólidos urbanos no Brasil: uma análise dos documentos governamentais e relatórios. **REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 14, n. 3, 2024. DOI: <https://doi.org/10.18696/reunir.v14i3.1580>.

ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia

Química, Uberlândia. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>. Acesso em: 31 out. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Brasília, 2010. Disponível em:< L12305 (planalto.gov.br)>. Acesso em 19 out. 2025

BRASIL. Lei nº 6938. **Política Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 1981**. Disponível em:< L6938 (planalto.gov.br)>. Acesso em: 19 out. 2025.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR**. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: <https://sinir.gov.br>. Acesso em: 16 out. 2025.

BORGES, M. M. P.; TEIXEIRA, M. B.; MORAIS, W. A.; STIRLE, J. L.; RIBEIRO, I. L.; SOUZA, R. S.; CASTRO, R. M.; CUNHA, F. N.; ANGELINI, L. P. **Aproveitamento energético de biogás de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Caderno Pedagógico, [S. l.], v. 22, n. 7, p. e16081, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n7-063. Disponível em:<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/16081>. Acesso em: 26 nov. 2025.

CARDOSO, Emile Lebrege; FERREIRA FILHO, Hélio Raymundo; SANTOS, Vanusa Carla Pereira; FERREIRA, Aline de Oliveira. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos no município de Belém, Pará, Brasil: vantagens e desafios da sua implementação. **Revista S&G**, v. 15, n. 2, p. 93-102, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2020.v15n2.1612>. Acesso em: 14/01/26.

CEBINELLI, Juliana Patrícia. **Educação para a sustentabilidade nas instituições de ensino: um estudo sobre a gestão de resíduos sólidos e tecnologias de reciclagem**. 2024. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2024.

COSTAS, Rodrigo. Discussões gerais sobre as características mais relevantes de infraestruturas de pesquisa para a cientometria. In: MUGNAINI, Rogério; FUJINO, Asa; KOBASHI, Nair Yumiko (org.). **Bibliometria e cientometria no Brasil: infraestrutura para avaliação da pesquisa científica na era do Big Data**. São Paulo: ECA–USP, 2017. DOI: [10.11606/9788572051705](https://doi.org/10.11606/9788572051705).

CONCEIÇÃO, Joelma Telesi Pacheco; CONCEIÇÃO, Márcio Magera; FERREIRA, Maurício Lamano; DALMAS, Fabrício Bau; MORAES, Josué de. Emissão de gases de efeito estufa e gestão de resíduos orgânicos na cidade de Jundiaí-SP. **RECIMA21 - Revista**

**Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 2, e422815, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i2.2815>. Acesso em: 11 dez. 2025.

CUNHA, Raquel Nascimento; BORGES, Alexandre Walmott; SQUEFF, Tatiana de Almeida Freitas Rodrigues Cardoso. **O BIOGÁS COMO INSTRUMENTO NO ENFRENTAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**. *ARACÊ*, [S. l.], v. 7, n. 7, p. 36287–36303, 2025. DOI: [10.56238/arev7n7-063](https://doi.org/10.56238/arev7n7-063). Disponível em:

<https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/6392>. Acesso em: 26 nov. 2025.

DE LUCENA, Isabela Pinho; JUNIOR, Magno Vasconcelos Pereira. Consumo e a produção de resíduos sólidos: um desafio para as cidades brasileiras. **Pracs: Revista eletrônica de humanidades do curso de ciências sociais da UNIFAP**, v. 17, n. 3, 2024.

DE SOUZA, Samara Avelino França; DE VASCONCELOS, Raphael Tobias Barros. Coleta seletiva em alguns municípios do estado do Pará, Brasil. **Novos Cadernos NAEA**, v. 27, n. 1, 2024.

Dias, S. G. **O desafio da gestão de resíduos sólidos urbanos**. *GV-executivo*, 11, 16-20. 2012. Disponível em:

<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/gvexecutivo/article/viewFile/22776/21542>.

DORNELA, Nara Maria de Oliveira; FARIA, Beatriz Palhares Zschaber; KIM, Viviane Jin Hee; PAULA, Eduardo Coutinho de. **Comparação de modelos de previsão de geração de metano em aterros sanitários brasileiros para o seu aproveitamento energético**. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2023.

FERREIRA, Jorge Fernando Hungria. **Situação da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região de integração Xingu**. In: Anais da XX Semana de Estudos Biológicos -

SEBio. Anais...Altamira(PA) Universidade Federal do Pará - UFPA, 2024. Disponível em:

<https://www.even3.com.br/anais/xx-semana-de-estudos-biologicos-sebio-476238/925714-SITUACAO-DA-DISPOSICAO-FINAL-DOS-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-NA-REGIAO-DE-INTEGRACAO-XINGU>. Acesso em: 14/01/2026

FIORI, M. G. S., Schoenhals M. e Follador, F.A.C. **Análise da evolução tempo eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia**.

*Engenharia Ambiental* Vol.5, n.3, pp. 178-191. 2008.

**FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA)**.

PIB do Pará cresce 5,36% no primeiro trimestre do ano, superando a média nacional, aponta boletim da FAPESPA. Belém: FAPESPA, 18 set. 2025. Disponível em:

<https://www.fapespa.pa.gov.br/2025/09/18/pib-do-para-cresce-536-no-primeiro-trimestre-do-ano-superando-a-media-nacional-aponta-boletim-da-fapespa/>. Acesso em: 27 set. 2025.

**G1 Pará. Prefeitura de Belém pede que prazo do aterro de Marituba continue recebendo lixo até dezembro.** *G1 Pará*, Belém, 28 fev. 2025. Disponível em:

<https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2025/02/28/prefeitura-de-belem-pede-que-prazo-do-aterro-de-marituba-continue-recebendo-lixo-ate-dezembro.ghtml>. Acesso em: 14 jan. 2026.

GALLO, Arthur Habermann; SALAMUNI, Lucas; FERREIRA, Leila da Costa. Da NDC à realidade? Uma análise da trajetória das emissões brasileiras de gases de efeito estufa entre 2015 e 2023 à luz da sociedade de risco de Ulrich Beck. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 19, 2025. ISSN 2178-6925. DOI: [10.61164/6cp pry951](https://doi.org/10.61164/6cp pry951). Disponível em: <https://revistas.unimontes.br/index.php/rm/article/view/6cp pry951>. Acesso em: 07 nov. 2025.

GAMA, Ana Maria Cardoso De Freitas. **Estudo das emissões e cenários de mitigação de gases de efeito estufa no setor de resíduos sólidos na Região Metropolitana do Recife/Pernambuco/Brasil**. São Paulo: Editora Dialética, 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará**. Volume I. Belém: Governo do Estado do Pará, 2014.

Gonçalves, A. da C., Junior, J. A. R., Silva, H. L. da, Oliveira, T. M. da C., Ishihara, J. H., Alexandre, G. da S., Bernardo, A. L. S., & Alves, G. M. F. (2020). **Análise das condições de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no estado do Pará / Analysis of conditions for the management of urban solid waste in the state of Pará**. *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 67941–67954. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-288>.

HAUENSTEIN, Geovanna Rafaela Pasuch; ISMAIL, Isadora Alves Lovo. **Influência da Política Nacional de Resíduos Sólidos na gestão ambiental e no gerenciamento de resíduos**. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 9, n. 4, p. 288-296, 2024.

IBAM, Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro [et al.]; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001. 200 p.

JACINTO, Ana Carolina; ZOGAHIB, André Luiz Nunes. Política pública de resíduos sólidos: Uma análise da lei nº 12.305/201 que institui a política nacional de resíduos sólidos–PNRS, por meio dos serviços executados pela secretaria municipal de limpeza pública–semulsp no município de Manaus/AM. **Revista de Administração de Roraima-RARR**, v. 6, n. 2, p. 520-534, 2016.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T.F.; SUTTON, D.; LEAHY, M.J. **Advances in poultry litter disposal technology – a review** *Bioresource Technology*. v.83, p. 27-36, 2002.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LEAL, Gabriel da Silva. **Análise termodinâmica simplificada do potencial energético do biogás produzido por estações de tratamento de esgoto**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.

Lima, P. D. M., Colvero, D. A., Gomes, A. P., Wenzel, H., Schalch, V., & Cimpan, C. (2018). Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. **Waste Management**, **78**, 857- 870.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.007>. PMID:32559981.

LOBO, A. G. de C. **Desarrollo de MODUELO 2: herramienta para La evaluación de La contaminación producida em vertederos de residuos sólidos urbanos**. 2003. 335 f. Tesis (Doctoral) - Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, Santander, 2003.

LOGAREZZI, A. **Por uma terminologia consistente em resíduos**. 2003.

LOPES, Enildo Batista. **Aterro sanitário: proposta para substituir lixões nas cidades com até 100.000 habitantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

LORENA, A. C.; **et al.** Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes de resíduos sólidos urbanos utilizando o GHG Protocol: estudo de caso em município brasileiro. **Biofix Scientific Journal**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 123–134, 2021.

LOUREIRO, Saulo Machado. **Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa pela implementação de políticas públicas de resíduos sólidos e mudanças climáticas no Brasil e no Estado e na cidade do Rio de Janeiro**. 2019.

Marino, A. L., Chaves, G., & Santos, J. L., Jr. (2018). Do Brazilian municipalities have the technical capacity to implement solid waste management at the local level? *Journal of Cleaner Production*, 188, 378-386. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.311>.

MELLO, André Chame Lins de. **Emissões fugitivas de gases de efeito estufa de um aterro sanitário – estudo de caso do Centro de Tratamento de Resíduos de Macaé**. 2022.

Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro. Orientador: Marco Aurélio dos Santos. Disponível em: [https://www.ppe.ufrj.br/images/Dissertação\\_André\\_Chame.pdf](https://www.ppe.ufrj.br/images/Dissertação_André_Chame.pdf). Acesso em: 31 out. 2025.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 21. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001. Disponível em:

[https://www.faed.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/1428/minayo\\_\\_2001.pdf](https://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1428/minayo__2001.pdf). Acesso em: 26 nov. 2025.

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTI)**. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 6. ed. Brasília, 2022. Disponível em: 95 <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf>. Acesso em 25 de out. de 2025.

**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**. Acordo de Paris. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>. Acesso em: 5 nov. 2025.

NEVES, Camila Garcia; DOPICO, Yasmini Bianor Canali. **Análise de metodologias de produção de inventários de gases de efeito estufa de cidades**. Projeto de Graduação (Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

NOGUEIRA, Ludmila; RITO, Danielle. Análise dos impactos socioambientais causados pelo aterro sanitário no município de Marituba – PA. In: **QUALIDADE AMBIENTAL URBANA: análise dos espaços urbanos e reflexo na qualidade de vida das populações**. Cap. 2, p. 26–38, 2024. DOI: 10.37885/231215238.

MONTEIRO, Jheniffer Roséni Souza. **Planejamento urbano e resiliência climática: avaliação das estratégias de adaptação na cidade do Recife**. 125 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) - Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2024.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa: Análise das Emissões de GEE no Brasil (2024)**. São Paulo: OC, 2024. Disponível em :[https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/FINAL\\_SEEG\\_emissoes\\_2024\\_v7.pdf](https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/FINAL_SEEG_emissoes_2024_v7.pdf). Acesso em: 09 nov. 2025.

OLIVEIRA, B. O. S; MEDEIROS, G. A. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos nos estados da Região Norte, Brasil. **Revista Valore, Volta Redonda**, v. 4, n. 1, p. 749-761, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/pt/agenda-2030/>. Acesso em: 27 out. 2025.

PARÁ. **Decreto nº 1.066, de 19 de junho de 2008**. Dispõe sobre a regionalização do Estado do Pará e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Pará, Belém, PA, 19 jun. 2008. Disponível em: <https://semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/176938>. Acesso em: 27 out. 2025.

PAIXÃO, Lúcia Cardoso; CATTANIO, José Henrique; KUHN, Paulo. ANÁLISE DO TRANSPORTE DAS EMISSÕES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) NO ESTADO DO PARÁ. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 24, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v24i0.60156. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14132>. Acesso em: 29 set. 2025.

PEIXER, Janaína Freiberger Benkendorf et al. **A contribuição nacionalmente determinada do Brasil para cumprimento do Acordo de Paris: metas e perspectivas futuras**. 2019.

PINTO JÚNIOR, J. A.; LIMA, R. S. Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em aterro sanitário no município de Cuiabá (MT). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 14, n. 1, p. 1–15, 2025.

RIBEIRO, Camilla Lopes; RIBEIRO, Daniele Lopes; VELOSO, Gabriel Alves AS ORGANIZAÇÕES INDUSTRIAIS E O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA AMAZÔNIA. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 5, n. 18, p. e15724, 18 Dez 2019 Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/15724>. Acesso em: 30 out 2025.

SAMPAIO, Yasmin Beserra. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos/Lixo e Impactos Ambientais: conceitos, contextos e desafios**. Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. Trabalho de Conclusão de Curso, 2025.

SANJAD, Heitor Capela. **Reciclagem como alternativa para a eficiência e sustentabilidade econômica do setor de resíduos sólidos urbanos no município de Belém – PA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hídrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém. 2018.

SANTOS, Arantxa Carla da Silva; PONTES, Altem Nascimento. Emissões de gases de efeito estufa e mudanças climáticas no Estado do Pará. **Revista EDUCamazônia – Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 15, n. 1, p. 5, 2022. ISSN 2358-1468.

SANTOS, S. C. dos et al. Gestão de resíduos sólidos urbanos na Região de Integração de Carajás, Pará: desafios e perspectivas. *Confins – Revue franco-brésilienne de géographie*, n. 61, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.55279> .

SANTOS, Átila Caldas. **Geração de metano devido à digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos – estudo de caso do aterro sanitário metropolitano centro, Salvador – BA**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador. Disponível em: <http://www.repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/10079>. Acesso em: 31 out. 2025.

SANTOS, Mauro Meirelles; ROMANEL, Celso; ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira van. **Análise da eficiência de modelos de decaimento de primeira ordem na previsão da emissão de gás de efeito estufa em aterros sanitários brasileiros**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 4, p. 683–692, out./dez. 2017. DOI: [10.1590/S1413-41522017156311](https://doi.org/10.1590/S1413-41522017156311).

SILVA, V. P.M. e; CAPANEMA, L. X. de L. Políticas públicas na gestão de resíduos sólidos: experiências comparadas e desafios para o Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 50, p. 153-200, set. 2019.

SILVA, Bárbara Elis Nascimento; SANQUETTA, Carlos Roberto. **Análise da contribuição nacionalmente determinada (NDC) brasileira em comparação aos países do BRICS**. OL, v. 6, n. 1, p. 73–74, 2017.

SILVA, E. M. **Análise do potencial tóxico dos resíduos sólidos orgânicos de uma escola pública em Campina Grande - PB**. Dissertação (mestrado em engenharia civil e ambiental) - universidade federal de campina grande – ufcg. 81 f. 2015.

SILVA, Elisângela Maria da; ALBUQUERQUE, Walker Gomes de; ANDRADE SOBRINHO, Luiz Gualberto de; MEDEIROS, Amanda Nogueira. Estimativa da geração e composição gravimétrica dos resíduos sólidos da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, PB, v. 13, n. 1, p. 66–73, 2018. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS>. Acesso em: 29 out. 2025. DOI: [http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i1.5428](https://doi.org/10.18378/rvads.v13i1.5428).

SILVA, Olga Maria Panhoca da; PANHOCA, Luiz. A contribuição da vulnerabilidade na determinação do índice de desenvolvimento humano: estudando o estado de Santa Catarina. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, p. 1209-1219, 2007.

SILVA, Gabriele Ferreira Fiel e; SANTOS, Paloma Cardoso de Oliveira. **Aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos do município de Tucuruí para geração de energia elétrica.**

Orientador: Davi Edson Sales e Souza. 2023. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Campus Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2023. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/6532>.

SILVA, Washington Kennedy A. Sousa; TAGLIAFERRO, Evandro Roberto. Aterro Sanitário – A Engenharia na Disposição Final de Resíduos Sólidos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n2-037.

SINIR. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. Resíduos Sólidos Urbanos.** 2022. Disponível em: <https://www.sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/>. Acesso em: 29 out. 2025.

SOBRAL, Arthur; MÜLLER, Ingo. **A 300 dias para COP 30, Governo do Pará intensifica obras estruturantes em Belém. Agência Pará.** 2025. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/63785/a-300-dias-para-cop-30-governo-do-para-intensifica-obras-estruturantes-em-belem>. Acesso em: 20 out. 2025.

VIEIRA, Beatriz da Costa. Rotas tecnológicas dos resíduos sólidos domiciliares na comunidade quilombola de São Bernardo, Oeiras-PA. Tucuruí: Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental).

VIEIRA, Leonardo da Silva. Investigação dos efeitos poluidores do lixão sobre o ecossistema local no município de Quixelô-CE. 2025. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2025.

ZAVARISE, L.; **et al.** Estimativa das emissões de metano em aterros sanitários no Brasil e métodos de quantificação do biogás. **Revista Latino-Americana de Energia**, Vitória, v. 8, n. 2, p. 45–60, 2021.

ZHANG, Chengliang; XU, Tong; FENG, Hualiang; CHEN, Shaohua. **Greenhouse Gas Emissions from Landfills: A Review and Bibliometric Analysis.** *Sustainability*, v. 11, n. 8, 2019.

**APÊNDICE A – Estimativa total de emissão de CO<sub>2</sub>e/ano em toneladas**

Municípios do estado do Pará	Tipo de Disposição Final	Quantidade total de RDO e RPU coletada por todos os agentes (t/ano)	Ano do dado (SNIS)	Estimativa da quantidade de orgânicos na massa de RDO + RPU (t/ano)	Emissão de CO <sub>2</sub> em toneladas	Emissão de CH <sub>4</sub> em toneladas	Emissão de CO <sub>2</sub> e em toneladas
Água Azul do Norte	Lixão	17300,00	2022	7836,9	191533,836	368334,3	7926554,136
Bannach	Lixão	332,74	Estimado	150,730852	3683,862024	7084,350046	152455,213
Conceição do Araguaia	Lixão	10835,60	2022	4908,5268	119964,395	230700,7596	4964680,347
Cumaru do Norte	Lixão	2211,90	2022	1001,9907	24488,65271	47093,5629	1013453,474
Floresta do Araguaia	Aterro controlado	216,00	2022	97,848	2391,40512	4598,856	98967,38112
Ourilândia do Norte	Lixão	2679,99	Estimado	1214,035865	29671,03655	57059,68567	1227924,436
Pau D'Arco	Lixão	380,00	2022	172,14	4207,1016	8090,58	174109,2816
Redenção	Lixão	54792,00	2022	24820,776	606619,7654	1166576,472	25104725,68
Rio Maria	Lixão	6350,00	2022	2876,55	70302,882	135197,85	2909457,732
Santa Maria das Barreiras	Lixão	4317,00	2022	1955,601	47794,88844	91913,247	1977973,075
Santana do Araguaia	Aterro controlado	5562,30	2022	2519,7219	61582,00324	118426,9293	2548547,519
São Félix do Xingu	Aterro controlado	14000,00	2022	6342	154998,48	298074	6414552,48
Sapucaia	Lixão	2101,30	2022	951,8889	23264,16472	44738,7783	962778,509
Tucumã	Lixão	8321,00	2022	3769,413	92124,45372	177162,411	3812535,085
Xinguara	Aterro controlado	16000,00	2022	7248	177141,12	340656	7330917,12
Alenquer	Lixão	21467,00	2022	9724,551	237668,0264	457053,897	9835799,863
Almeirim	Aterro controlado	3579,00	2022	1621,287	39624,25428	76200,489	1639834,523
Belterra	Lixão	3006,00	2022	1361,718	33280,38792	64000,746	1377296,054
Curuá	Lixão	2310,00	2022	1046,43	25574,7492	49182,21	1058401,159

Faro	Lixão	838,00	2022	379,614	9277,76616	17841,858	383956,7842
Juruti	Lixão	6625,81	Estimado	3001,489998	73356,41554	141070,0299	3035827,043
Mojuí dos Campos	Lixão	2104,98	Estimado	953,5567993	23304,92817	44817,16957	964465,489
Monte Alegre	Lixão	12410,00	2022	5621,73	137395,0812	264221,31	5686042,591
Óbidos	Lixão	50740,30	2022	22985,3559	561762,0982	1080311,727	23248308,37
Oriximiná	Lixão	39000,00	2022	17667	431781,48	830349	17869110,48
Prainha	Lixão	6000,00	2022	2718	66427,92	127746	2749093,92
Santarém	Aterro controlado	79199,60	2022	35877,4188	876844,1155	1686238,684	36287856,47
Terra Santa	Lixão	2500,00	2022	1132,5	27678,3	53227,5	1145455,8
Castanhal	Lixão	131460,00	2022	59551,38	1455435,727	2798914,86	60232647,79
Colares	Lixão	207,00	2022	93,771	2291,76324	4407,237	94843,74024
Curuçá	Lixão	10836,00	2022	4908,708	119968,8235	230709,276	4964863,62
Igarapé-Açu	Lixão	18215,00	2022	8251,395	201664,0938	387815,565	8345790,959
Inhangapi	Lixão	859,00	2022	389,127	9510,26388	18288,969	393578,6129
Magalhães Barata	Lixão	669,85	Estimado	303,4435287	7416,159842	14261,84585	306914,9227
Maracanã	Lixão	2143,78	Estimado	971,1314707	23734,45314	45643,17912	982241,2147
Marapanim	Lixão	2193,47	Estimado	993,6420072	24284,61066	46701,17434	1005009,272
Santo Antônio do Tauá	Lixão	2160,00	2022	978,48	23914,0512	45988,56	989673,8112
Santa Maria do Pará	Lixão	4500,00	2022	2038,5	49820,94	95809,5	2061820,44
Santa Izabel do Pará	Lixão	17568,00	2022	7958,304	194500,9498	374040,288	8049346,998
São Caetano de Odivelas	Lixão	2280,00	2022	1032,84	25242,6096	48543,48	1044655,69
São Domingos do Capim	Lixão	2525,80	Estimado	1144,185895	27963,90327	53776,73705	1157275,381
São Francisco do Pará	Lixão	1229,43	Estimado	556,9301191	13611,37211	26175,7156	563301,3997
São João da Ponta	Lixão	421,60	2022	190,9848	4667,668512	8976,2856	193169,6661
São Miguel do Guamá	Lixão	11620,00	2022	5263,86	128648,7384	247401,42	5324078,558
Terra Alta	Lixão	6336,00	2022	2870,208	70147,88352	134899,776	2903043,18
Vigia	Aterro controlado	13402,00	2022	6071,106	148377,8306	285341,982	6140559,453
Abaetetuba	Aterro controlado	35112,00	2022	15905,736	388736,1878	747569,592	16087697,62
Acará	Lixão	7520,00	2022	3406,56	83256,3264	160108,32	3445531,046

Baião	Lixão	14235,00	2022	6448,455	157600,2402	303077,385	6522225,325
Barcarena	Lixão	27910,00	2022	12643,23	309000,5412	594231,81	12787868,55
Cametá	Lixão	29200,00	2022	13227,6	323282,544	621697,2	13378923,74
Igarapé-Miri	Lixão	15500,00	2022	7021,5	171605,46	330010,5	7101825,96
Limoeiro do Ajuru	Lixão	1095,00	2022	496,035	12123,0954	23313,645	501709,6404
Mocajuba	Lixão	3171,00	2022	1436,463	35107,15572	67513,761	1452896,137
Moju	Lixão	7158,00	2022	3242,574	79248,50856	152400,978	3279669,047
Oeiras do Pará	Lixão	4450,00	2022	2015,85	49267,374	94744,95	2038911,324
Tailândia	Lixão	6156,00	2022	2788,668	68155,04592	131067,396	2820570,362
Aveiro	Lixão	1509,75	Estimado	683,9164683	16714,91849	32144,07401	691740,4727
Itaituba	Lixão	16660,00	2022	7546,98	184448,1912	354708,06	7633317,451
Jacareacanga	Lixão	1590,00	2022	720,27	17603,3988	33852,69	728509,8888
Novo Progresso	Lixão	19898,00	2022	9013,794	220297,1254	423648,318	9116911,803
Rurópolis	Lixão	7500,00	2022	3397,5	83034,9	159682,5	3436367,4
Trairão	Lixão	1258,15	Estimado	569,9428546	13929,40337	26787,31416	576463,0008
Ananindeua	Aterro sanitário	134025,90	2022	60713,7327	1041847,653	2003553,179	43116464,41
Belém	Aterro sanitário	492787,40	2022	223232,6922	3830672,998	7366678,843	158530928,7
Benevides	Lixão	12775,00	2022	5787,075	141436,113	271992,525	5853279,138
Marituba	Aterro sanitário	18850,00	2022	8539,05	146530,098	281788,65	6064091,748
Santa Bárbara do Pará	Lixão	4128,00	2022	1869,984	45702,40896	87889,248	1891376,617
Bom Jesus do Tocantins	Aterro sanitário	550,00	2022	249,15	4275,414	8221,95	176936,364
Brejo Grande do Araguaia	Lixão	1551,00	2022	702,603	17171,61732	33022,341	710640,7783
Canaã dos Carajás	Aterro controlado	29750,00	2022	13476,75	329371,77	633407,25	13630924,02
Curionópolis	Lixão	14046,00	2022	6362,838	155507,7607	299053,386	6435628,867
Eldorado dos Carajás	Lixão	9036,00	2022	4093,308	100040,4475	192385,476	4140135,444
Marabá	Aterro controlado	52000,00	2022	23556	575708,64	1107132	23825480,64
Palestina do Pará	Lixão	568,32	Estimado	257,4502397	6292,083859	12100,16127	260395,4705
Parauapebas	Aterro controlado	65625,00	2022	29728,125	726555,375	1397221,875	30068214,75
Piçarra	Lixão	2500,00	2022	1132,5	27678,3	53227,5	1145455,8

São Domingos do Araguaia	Lixão	7768,4	2022	3519,0852	86006,44229	165397,0044	3559343,535
São Geraldo do Araguaia	Lixão	2002,13	Estimado	906,9652236	22166,23006	42627,36551	917340,9057
São João do Araguaia	Lixão	1127,90	Estimado	510,9368301	12487,29613	24014,03102	516781,9475
Breu Branco	Lixão	20000,00	2022	9060	221426,4	425820	9163646,4
Goianésia do Pará	Lixão	3668,00	2022	1661,604	40609,60176	78095,388	1680612,75
Itupiranga	Lixão	15125,00	2022	6851,625	167453,715	322026,375	6930007,59
Jacundá	Lixão	7800,00	2022	3533,4	86356,296	166069,8	3573822,096
Nova Ipixuna	Lixão	3711,00	2022	1681,083	41085,66852	79010,901	1700314,59
Novo Repartimento	Lixão	50000,00	2022	22650	553566	1064550	22909116
Tucuruí	Lixão	47330,00	2022	21440,49	524005,5756	1007703,03	21685769,21
Afuá	Lixão	2730,00	2022	1236,69	30224,7036	58124,43	1250837,734
Anajás	Lixão	5588,80	2022	2531,7264	61875,39322	118991,1408	2560689,35
Bagre	Lixão	750,00	2022	339,75	8303,49	15968,25	343636,74
Breves	Lixão	50000,00	2022	22650	553566	1064550	22909116
Cachoeira do Arari	Lixão	1979,51	Estimado	896,7195641	21915,82615	42145,81951	906978,0359
Chaves	Lixão	4300,00	2022	1947,9	47606,676	91551,3	1970183,976
Curralinho	Lixão	3051,00	2022	1382,103	33778,59732	64958,841	1397914,258
Gurupá	Lixão	2592,00	2022	1174,176	28696,86144	55186,272	1187608,573
Melgaço	Lixão	2301,44	Estimado	1042,551944	25479,96951	48999,94136	1054478,738
Muaná	Lixão	16068,10	2022	7278,8493	177895,0769	342105,9171	7362119,336
Ponta de Pedras	Lixão	5475,00	2022	2480,175	60615,477	116568,225	2508548,202
Portel	Lixão	5000,00	2022	2265	55356,6	106455	2290911,6
Salvaterra	Lixão	4480,00	2022	2029,44	49599,5136	95383,68	2052656,794
Santa Cruz do Arari	Lixão	3260,00	2022	1476,78	36092,5032	69408,66	1493674,363
São Sebastião da Boa Vista	Lixão	4347,00	2022	1969,191	48127,02804	92551,977	1991718,545
Soure	Lixão	14400,00	2022	6523,2	159427,008	306590,4	6597825,408
Abel Figueiredo	Lixão	5000,00	2022	2265	55356,6	106455	2290911,6
Aurora do Pará	Lixão	1962,43	Estimado	888,9792301	21726,65238	41782,02381	899149,1524
Bujaru	Lixão	2304,00	2022	1043,712	25508,32128	49054,464	1055652,065

Capitão Poço	Lixão	20075,00	2022	9093,975	222256,749	427416,825	9198010,074
Concórdia do Pará	Lixão	4137,00	2022	1874,061	45802,05084	88080,867	1895500,258
Dom Eliseu	Lixão	54750,00	2022	24801,75	606154,77	1165682,25	25085482,02
Garrafão do Norte	Lixão	5936,00	2022	2689,008	65719,35552	126383,376	2719770,252
Ipixuna do Pará	Lixão	6400,00	2022	2899,2	70856,448	136262,4	2932366,848
Irituia	Lixão	2555,18	Estimado	1157,497773	28289,24558	54402,39535	1170739,548
Mãe do Rio	Lixão	12000,00	2022	5436	132855,84	255492	5498187,84
Nova Esperança do Piriá	Lixão	4790,60	2022	2170,1418	53038,26559	101996,6646	2194968,222
Ourém	Lixão	5704,40	2022	2584,0932	63155,23781	121452,3804	2613655,226
Paragominas	Aterro controlado	45112,90	2022	20436,1437	499459,352	960498,7539	20669933,18
Rondon do Pará	Aterro controlado	18154,10	2022	8223,8073	200989,8504	386518,9431	8317887,656
Tomé-Açu	Lixão	31855,00	2022	14430,315	352676,8986	678224,805	14595397,8
Ulianópolis	Lixão	13360,00	2022	6052,08	147912,8352	284447,76	6121315,795
Altamira	Aterro sanitário	30652,00	2022	13885,356	238272,709	458216,748	9860824,417
Anapu	Aterro controlado	6000,00	2022	2718	66427,92	127746	2749093,92
Brasil Novo	Lixão	8150,00	2022	3691,95	90231,258	173521,65	3734185,908
Medicilândia	Lixão	5000,00	2022	2265	55356,6	106455	2290911,6
Pacajá	Lixão	3900,00	2022	1766,7	43178,148	83034,9	1786911,048
Placas	Lixão	3437,50	2022	1557,1875	38057,6625	73187,8125	1575001,725
Porto de Moz	Lixão	7300,00	2022	3306,9	80820,636	155424,3	3344730,936
Senador José Porfírio	Lixão	2800,00	2022	1268,4	30999,696	59614,8	1282910,496
Uruará	Lixão	3595,50	Estimado	1628,760718	39806,91194	76551,75373	1647393,74
Vitória do Xingu	Aterro sanitário	998,00	2022	452,094	7757,93304	14919,102	321059,075
Augusto Correa	Lixão	12692,00	2022	5749,476	140517,1934	270225,372	5815250,005
Bonito	Lixão	246,00	2022	111,438	2723,54472	5237,586	112712,8507
Bragança	Lixão	47353,00	2022	21450,909	524260,216	1008192,723	21696307,4
Cachoeira do Piriá	Lixão	3986,00	2022	1805,658	44130,28152	84865,926	1826314,728
Capanema	Lixão	31000,00	2022	14043	343210,92	660021	14203651,92
Nova Timboteua	Lixão	2800,00	2022	1268,4	30999,696	59614,8	1282910,496

Peixe-Boi	Lixão	889,00	2022	402,717	9842,40348	18927,699	407324,0825
Primavera	Lixão	895,70	Estimado	405,7505521	9916,543493	19070,27595	410392,3384
Quatipuru	Lixão	1600,00	2022	724,8	17714,112	34065,6	733091,712
Salinópolis	Lixão	3695,71	Estimado	1674,15572	40916,3658	78685,31884	1693308,061
Santa Luzia do Pará	Lixão	5199,00	2022	2355,147	57559,79268	110691,909	2382089,882
Santarém Novo	Lixão	504,85	Estimado	228,6950859	5589,307898	10748,66904	231311,3576
São João de Pirabas	Lixão	2820,00	2022	1277,46	31221,1224	60040,62	1292074,142
Tracuateua	Lixão	2360,38	Estimado	1069,250487	26132,48191	50254,7729	1081482,713
Viscu	Lixão	15337,50	2022	6947,8875	169806,3705	326550,7125	7027371,333
	Total	2364086,98	Total				990668182,3