

UFPA

PPGEC

**Universidade Federal
do Pará**



Fernando Felipe Soares Almeida

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA NA DISPOSIÇÃO FINAL DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO
ESTADO DO PARÁ**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

BELÉM – PA
2023



FERNANDO FELIPE SOARES ALMEIDA

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ESTADO DO PARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Sanitária.

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

BELÉM/PA
2023

**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)**

A447e Almeida, Fernando Felipe Soares.
Emissões de Gases de Efeito Estufa na Disposição Final de
Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Pará / Fernando Felipe
Soares Almeida. — 2023.
120 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Belém, 2023.

1. Resíduos Sólidos. 2. Efeito Estufa. 3. Disposição Final.
I. Título.

CDD 620.8

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ESTADO DO PARÁ

AUTOR:

FERNANDO FELIPE SOARES ALMEIDA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADO EM: 20 / 04 / 2023

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
JOSE ALMIR RODRIGUES PEREIRA
Data: 25/04/2023 08:29:19-0300
Verifique em <https://validar.j5.gov.br>

Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira
Orientador (UFPA)

Documento assinado digitalmente
RISETE MARIA QUEIROZ LEÃO BRAGA
Data: 26/04/2023 09:33:29-0300
Verifique em <https://validar.j5.gov.br>

Profa. Dra. Risete Maria Queiroz Leão Braga
Membro Interno (UFPA)

Valdinei Mendes da Silva
Assinado de forma digital por Valdinei Mendes da Silva
Dados: 2023.04.26 10:00:02 -03'00'

Prof. Dr. Valdinei Mendes da Silva
Membro Externo (UFPA)

Documento assinado digitalmente
ELISANGELA MARIA RODRIGUES ROCHA
Data: 25/04/2023 14:22:55-0300
Verifique em <https://validar.j5.gov.br>

Profa. Dra. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Membro Externo (UFPB)

Visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

A Deus por sua infinita misericórdia e sempre guiar os meus caminhos. Aos meus familiares pelo incentivo e amor incondicional. A minha namorada Larissa Rocha pelo carinho e apoio emocional nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, que nunca abandona seus filhos e nunca desiste de trazê-los para perto de si, sendo modelo de caminho, verdade e vida.

Aos meus pais José Elias e Maria de Lurdes, aos meus queridos avós, e demais familiares pelo estímulo e torcida para a conclusão e sucesso deste mestrado acadêmico e demais conquistas profissionais.

A minha parceira no amor e na vida, Larissa Rocha, por estar sempre ao meu lado me mantendo forte, feliz e confiante com a paz e o carinho que nunca me faltaram nos momentos em que mais precisei.

Ao meu Professor orientador e amigo José Almir pelas oportunidades, conselhos e ensinamentos que, sempre de boa vontade e disposto a ajudar, me concedeu durante todo o mestrado acadêmico.

Agradeço ainda a parceria dos meus colegas do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento – GPHS, em especial aos amigos Jorge Fernando e Jéssica Cristina, pela sempre boa companhia e conhecimentos compartilhados durante o período do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa concedida durante a execução deste trabalho.

Por fim, também agradeço aos demais amigos, colegas e Professores que passaram pela minha vida acadêmica e profissional e que contribuíram de alguma forma com a experiência que me permitiu chegar até o presente momento.

RESUMO

ALMEIDA, Fernando Felipe Soares. **EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ESTADO DO PARÁ.** 2023. 120 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Belém. 2023.

A crescente geração dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU no mundo e a consequente emissão dos Gases de Efeito Estufa – GEE oriundos da atividade de disposição final tem influenciado na gestão dos resíduos e desafia as administrações municipais a adotarem procedimentos e métodos de gerenciamento dos resíduos que minimizem a emissão de GEE nesta atividade. Assim, esta pesquisa estuda a emissão de GEE resultante da disposição final de RSU, no Estado do Pará. A pesquisa foi quali-quantitativa, de natureza aplicada e objetivos de aspecto exploratório e descritivo, tendo como objeto de estudo o setor de resíduos sólidos no Estado do Pará. As atividades desenvolvidas foram divididas em 4 etapas, sendo verificada a contribuição do setor de RSU nas emissões de GEE no Estado do Pará (Etapa 1), observada a situação da disposição final dos RSU nos municípios do estado (Etapa 2), estimada a geração dos GEE na disposição final de RSU (Etapa 3) e analisadas oportunidades de redução da emissão de GEE no setor de RSU (Etapa 4). Os resultados da pesquisa mostram que o Pará é o estado que mais emite GEE no Brasil (447.927.368 ton. de CO₂e). Apesar do setor de RSU responder por próximo de 1% dos GEE, foi verificado que 138 dos 144 municípios paraenses ainda encaminham os RSU para lixões e aterros controlados. Considerando o valor total dos RSU coletados nos municípios paraenses em 2021 (1.016.874,64 ton.), a emissão estimada de GEE para este mesmo ano foi de 952.901,86 ton. de CO₂e, situação que indica impacto ao meio ambiente. Com a pesquisa foi constatado a necessidade de adequação da destinação final ambientalmente adequada dos RSU, como alternativa para reduzir a emissão dos GEE no Estado do Pará.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos, Efeito Estufa, Disposição Final.

ABSTRACT

ALMEIDA, Fernando Felipe Soares. **GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE FINAL DISPOSAL OF URBAN SOLID WASTE IN THE STATE OF PARÁ.** 2023. 117 f. Dissertation presented to the Graduate Program in Civil Engineering at the Federal University of Pará, Belém. 2023.

The growing generation of Urban Solid Waste in the world and the consequent emission of Greenhouse Gases - GHG originated from the final disposal activity has influenced waste management and challenges municipal administrations to adopt waste management procedures and methods that minimize the GHG emission in this activity. This study examines GHG emissions resulting from the final disposal of urban solid waste in the state of Pará. The research was qualitative-quantitative with exploratory and descriptive objectives, focusing on the solid waste sector in the state of Pará. The activities were divided into four stages, verifying the contribution of the solid waste sector to GHG emissions (Stage 1), observing the situation of the final disposal of solid waste in the municipalities of the state (Stage 2), estimating the generation of GHG emissions from the final disposal of solid waste (Stage 3), and analyzing opportunities to reduce GHG emissions in the solid waste sector (Stage 4). The results of the research show that Pará is the state with the highest GHG emissions in Brazil (447,927,368 tons of CO₂e). Although the solid waste sector accounts for only 1% of GHG emissions, it was found that 138 out of 144 municipalities in Pará still send their solid waste to open dumps and controlled landfills. Considering the total amount of solid waste collected in the municipalities of Pará in 2021 (1,016,874.64 tons), the estimated GHG emissions were 952,901.86 tons of CO₂e, indicating an impact on the environment. The research showed the need for the environmentally appropriate final disposal of solid waste as an alternative to reducing GHG emissions in the state of Pará.

Keywords: Solid Waste, Greenhouse Effect, Final Disposal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hierarquização da gestão dos resíduos segundo o 5º relatório de avaliação do clima do IPCC.....	28
Figura 2: Representação do sistema de coleta seletiva de RSU em Estocolmo.	44
Figura 3: Tendências da UE na destinação final dos resíduos sólidos.	56
Figura 4: Tipos de destinações finais aplicadas em diferentes regiões do mundo.	56
Figura 5: Esquema do processo da reciclagem mecânica do plástico.	59
Figura 6: Fluxograma das principais etapas envolvidas no processo de logística reversa.....	61

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1: Projeto de aproveitamento do biogás resultante da compostagem dos resíduos orgânicos do restaurante universitário da UFRA.....	104
Fotografia 2: Termelétrica movida a RSU instalada no Aterro Sanitário de Marituba.	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Geração de RSU no Brasil entre 2014 e 2022.	48
Gráfico 2: Composição média gravimétrica dos RSU gerados no Brasil.	49
Gráfico 3: Gráfico do avanço da disposição final dos RSU no Brasil.	51
Gráfico 4: Comparação estimada das emissões de GEE em disposição final e outras destinações, em 2020, no Brasil.	52
Gráfico 5: Percentual dos GEE gerados na etapa de disposição final de RSU, em 2020, no Brasil.	53
Gráfico 6: Crescimento populacional e econômico no Estado do Pará entre 2015 e 2020.	70
Gráfico 7: Extensão anual do desmatamento no Estado do Pará em km ² , entre os anos de 2002 a 2022.	86
Gráfico 8: Temperatura média (°C) do Estado do Pará nas três séries históricas.	87
Gráfico 9: Emissões de GEE (ton./ano) no setor de resíduos/efluentes entre os estados brasileiros e o distrito federal em 2021.	88
Gráfico 10: Emissão <i>per capita</i> de GEE (kg/hab.ano) do setor de resíduos/efluentes entre os estados brasileiros e o distrito federal em 2021.	89
Gráfico 11: Estimativa da dinâmica de coleta de RSU (RDO + RPU) no Pará entre 2012 e 2021.	90
Gráfico 12: Percentuais dos tipos de materiais recicláveis recuperados nos municípios paraenses, no ano de 2021.	96
Gráfico 13: Diferença percentual entre as DFAA e DFI no Estado do Pará, no ano de 2021.	97

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1: Estimativa da emissão nacional de GEE e as contribuições estaduais às emissões brasileiras, no ano de 2021.....	30
Ilustração 2: Ordem de prioridade para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, de acordo com a Lei 12.305.	33
Ilustração 3: Linha do tempo dos principais instrumentos legais brasileiros do setor de resíduos sólidos.	36
Ilustração 4: Etapas comuns e alternativas do gerenciamento dos RSU.....	41
Ilustração 5: Etapas metodológicas da pesquisa para atendimento dos objetivos específicos .	73
Ilustração 6: Estimativa das emissões de GEE no Estado do Pará, no ano de 2021.	85
Ilustração 7: Municípios com coleta seletiva e iniciativas de recuperação de materiais recicláveis.	95
Ilustração 8: Estimativa da emissão de GEE por tipo de disposição final no Estado do Pará no ano de 2021.....	100
Ilustração 9: Valores comparativos da emissão de GEE oriundas da disposição final de RSU no Pará.....	101
Ilustração 10: Estimativa da redução das emissões de GEE com a aplicação das oportunidades sugeridas pelo trabalho.....	106

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Mapa de Localização do Estado do Pará.	69
Mapa 2: Tipos de disposição final aplicada nos municípios paraenses.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição dos principais setores emissores de GEE no Brasil.	29
Quadro 2: Classificação dos resíduos perigosos e não perigosos, de acordo com a NBR 10.004/2004.....	37
Quadro 3: Classificação dos resíduos quanto à origem, de acordo com a PNRS.....	38
Quadro 4: Responsabilidades dos agentes envolvidos no gerenciamento dos RSU.	42
Quadro 5: Resíduos passíveis da implantação obrigatória de sistemas de logística reversa....	45
Quadro 6: Resumo dos principais processos de geração de energia térmica existentes	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição percentual média dos gases que compõem o biogás de aterros sanitários	26
Tabela 2: Valores utilizados para cálculo da estimativa de GEE emitidos.....	79
Tabela 3: Dados comparativos da emissão de GEE.....	80
Tabela 4: Análise das emissões médias e do potencial de redução de GEE das oportunidades.	82
Tabela 5: Prognóstico dos cenários com os percentuais de aplicação de cada destinação/oportunidade.....	82
Tabela 6: Análise da massa coletada de RSU nos municípios paraenses, a partir de escalas populacionais, em 2021.....	91

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública
- ADHB – Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- APAs – Áreas de Proteção Ambiental
- CF – Constituição Federal
- CH₄ – Gás Metano
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- CO_{2e} – Equivalente ao Dióxido de Carbono
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- COVs – Compostos Orgânicos Voláteis
- DFAA – Disposições Finais Ambientalmente Adequadas
- DFI – Disposições Finais Inadequadas
- FAPESPA – Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas
- GEE – Gases de Efeito Estufa
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
- IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
- MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
- MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional
- N₂O – Óxido Nitroso
- NBR – Norma Brasileira
- ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PEVs – Pontos de Entrega Voluntária
- PIB – Produto Interno Bruto
- PLANARES – Plano Nacional de Resíduos Sólidos
- PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRODES – Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite
RCC – Resíduos de Construção Civil
RCPS – Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços
RDO – Resíduos Domiciliares
RLPU – Resíduos de Serviços de Limpeza Pública
RSA – Resíduos Agrossilvopastoris
RSB – Resíduos de Serviços de Saneamento Básico
RSI – Resíduos Industriais
RSM – Resíduos de Serviços de Mineração
RSS – Resíduos de Serviços de Saúde
RST – Resíduos de Serviços de Transporte
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SINIR – Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SIRENE – Sistema de Registro Nacional de Emissões
SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
TMBs – Tratamentos Mecânico-Biológicos
UCs – Unidades de Conservação
UE – União Europeia
UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia
WtE – Waste-to-Energy

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	20
1.1.	PROBLEMA DA PESQUISA.....	21
1.2.	OBJETIVOS	21
1.2.1.	Geral	21
1.2.2.	Específicos	21
2.	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1.	A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO URBANO.....	22
2.2.	IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS	25
2.3.	LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICADAS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS	32
2.3.1.	Classificação e Caracterização dos Resíduos Sólidos	36
2.3.2.	Resíduos Sólidos Urbanos	39
2.4.	GERENCIAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	40
2.4.1.	Tratamento/Destinação Final	44
2.5.	PANORAMA DO SETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL....	47
2.6.	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA	52
2.6.1.	Tendências para a Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos	54
2.6.2.	Oportunidades para Redução dos Gases de Efeito Estufa no Brasil	57
3.	METODOLOGIA.....	68
3.1.	TIPO DE ESTUDO	68
3.2.	OBJETO DE ESTUDO	68
3.3.	ÁREA DE ESTUDO	68
3.4.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	72
3.4.1.	Etapa 1: Análise da Geração de Gases de Efeito Estufa no Estado do Pará.....	74
3.4.2.	Etapa 2: Diagnóstico Situacional das Destinações Finais de RSU Aplicadas no Estado do Pará.....	75
3.4.3.	Etapa 3: Estimativa da Geração de Gases de Efeito Estufa Oriundos da Disposição Final dos RSU no Estado do Pará.....	77
3.4.4.	Etapa 4: Análise das Oportunidades para Redução da Geração de Gases de Efeito Estufa na Destinação Final de RSU.....	80
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	84
4.1.	RESULTADO REFERENTE AO PRIMEIRO OBJETIVO ESPECÍFICO.....	84

4.1.1. Análise da Geração de Gases de Efeito Estufa no Estado do Pará.....	84
4.2. RESULTADOS REFERENTES AO SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO	89
4.2.1. Diagnóstico Situacional das Destinações Finais de RSU Aplicadas no Estado do Pará	90
4.2.2. Estimativa da Geração de Gases de Efeito Estufa Oriundos da Disposição Final dos RSU no Estado do Pará	98
4.3. RESULTADOS REFERENTES AO TERCEIRO OBJETIVO ESPECÍFICO.....	102
4.3.1. Oportunidades para Redução da Geração de Gases de Efeito Estufa na Destinação Final de RSU, no Estado do Pará	102
5. CONCLUSÃO	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
APÊNDICE	115

1. INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos é atualmente um dos grandes desafios mundiais a serem superados pela humanidade, integrando parte dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, mais especificamente os ODS 11 e 12 (MDR, 2021). Estima-se que todos os anos sejam gerados aproximadamente dois bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no mundo, os quais precisam ser tratados e dispostos de modo adequado para que não representem ameaça à saúde das pessoas e ao meio ambiente (BANCO MUNDIAL, 2018).

As projeções mundiais apontam para o crescimento do consumo nos próximos anos acompanhado do aumento populacional, que, apesar de menor intensidade que nas décadas passadas, ainda prospecta um cenário de ascensão. Essa situação alerta para o consequente aumento da geração de resíduos sólidos, em especial nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, os quais costumam possuir maior dificuldade para garantir a sustentabilidade da gestão integrada dos resíduos sólidos e, conseqüentemente, destiná-los de modo ambientalmente adequado (TISI, 2019).

No Brasil, a partir da instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) com o advento da Lei nº 12.305/2010, várias disposições passaram a regular a gestão dos resíduos em território nacional. Todavia, nota-se que após uma década da promulgação da referida Lei, muitas diretrizes ainda não alcançaram o efeito esperado, como é o caso da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a efetivação da logística reversa e a diretriz que estabelece a ordem prioritária de não geração, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Nesse sentido, a gestão dos resíduos sólidos brasileiros tem priorizado a disposição final e, conseqüentemente, negligenciado a necessidade explicitada na PNRS de tratamento prévio aos diferentes tipos de resíduos gerados antes do aterramento dos materiais, comportamento que vem sendo majoritariamente tomado pelos municípios apenas para o cumprimento dos prazos estabelecidos na referida política (PRATES, PIMENTA E RIBEIRO, 2019).

Adicionalmente a isto, a urgência internacional que tem sido dada às questões climáticas tem pressionado os países a adotarem práticas menos nocivas ao clima, fomentando em todas as atividades humanas a redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), dessa vez, conforme aponta o ODS nº 13, que visa: “Tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos” (ONU, 2023).

Este cenário resulta em problemas de ordem ambiental, social e econômica, uma vez que os resíduos sólidos são tratados como rejeitos, desprezando-se todo o potencial de aproveitamento e valor agregado contido neles. Desse modo, um grande desafio para a gestão dos RSU é o de realizar de fato o tratamento desses, tornando mais ampla a atividade de destinação final, bem como mais rentável e sustentável, reduzindo a quantidade de resíduos destinados à disposição final e, conseqüentemente, diminuindo os impactos ambientais oriundos das emissões de GEE.

1.1.PROBLEMA DA PESQUISA

- ❖ Como a disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Estado do Pará contribui para as emissões de GEE?
- ❖ Quais são as principais oportunidades no setor de resíduos sólidos para a redução das emissões de GEE no Estado do Pará?

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. **Geral**

Analisar a contribuição do setor de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU para a emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE, considerando as diferentes alternativas de disposição final dos RSU e oportunidades de redução de GEE no Estado do Pará.

1.2.2. **Específicos**

- i. Identificar os principais setores emissores de GEE no Estado do Pará e analisar a contribuição do setor de RSU;
- ii. Classificar as práticas de disposição final de RSU adotadas nos municípios paraenses de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS e estimar as emissões de GEE nessas atividades;
- iii. Prognosticar a redução de GEE no Estado do Pará, a partir de melhores práticas de aproveitamento e de destinação final ambientalmente adequada dos RSU.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para a melhor compreensão dos temas abordados pela pesquisa e das fontes utilizadas para a construção da metodologia e discussão dos resultados, na presente revisão de literatura são abordados os seguintes assuntos: 1. A Gestão dos Resíduos Sólidos no Contexto do Desenvolvimento Urbano; 2. Impactos Ambientais Associados aos Resíduos Sólidos; 3. Legislação e Normas Aplicadas aos Resíduos Sólidos; 4. Gerenciamento e Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos; 5. Panorama do Setor de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil; 6. Resíduos Sólidos Urbanos e a Emissão de Gases de Efeito Estufa.

2.1.A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO URBANO

O descarte de materiais inservíveis sempre acompanhou o desenvolvimento humano, passando a se intensificar proporcionalmente ao convívio social e ao aprimoramento intelectual e tecnológico. Desse modo, o desenvolvimento das comunidades é visto como um ponto crucial para as noções coletivas de bem-estar e para o surgimento das primeiras políticas sanitárias relacionadas a gestão do lixo. A revolução industrial é um retrato dessa tendência, uma vez que moldou o atual sistema econômico mundial consolidando o comportamento consumista das sociedades com a grande disponibilização de produtos no mercado e, conseqüentemente, ocasionando na geração exacerbada do “lixo” (DEUS, BASTIELLE e SILVA, 2015; PINHO, 2017; TISI, 2019).

De acordo com Souto e Povinelli (2013), a gestão do “lixo” iniciou básica e majoritariamente com o simples afastamento dos materiais inutilizados das áreas de convívio público, depositando-os em determinados espaços não habitados, ocasionando assim no surgimento e predomínio dos lixões, que, Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013, p. 335) definem como “locais onde o lixo é depositado a céu aberto, sem qualquer proteção ao ambiente ou à saúde pública”. Essa percepção e os grandes impactos ambientais e sociais oriundos da deposição e acumulação indiscriminada de lixo a céu aberto tornaram esta uma atividade proibida na maior parte do mundo, ideia promovida principalmente nos encontros e debates internacionais sobre o meio ambiente (DEUS, BASTIELLE e SILVA, 2015).

O termo “lixão” deriva da palavra “lixo” conceituada tecnicamente como restos, sobras ou detritos de atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou

descartáveis, podendo se apresentar no estado sólido, semissólido ou líquido, desde que não sejam passíveis de reaproveitamento (ABNT, 2004; BARBOSA E IBRAHIN, 2014). Posteriormente, após a maior percepção pública do valor agregado aos materiais descartáveis, o “lixo” seria elevado ao conceito de “resíduo sólido”, termo técnico consagrado atualmente e que traz consigo um sentido mais amplo do que apenas materiais descartáveis (MDR, 2021).

Assim como a palavra “lixo” vem do latim “*lix*”, que significa lixívia ou cinzas, o termo resíduo também tem origem do latim “*residuu*”, porém com sentido de sobra ou algo que restou de um processo. Tecnicamente, os resíduos sólidos podem ser classificados como: material, substância, objeto ou bem descartado, geralmente nos estados sólido ou semissólido, que resultam das atividades humanas, dentre as quais, as de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 2004; BRASIL, 2010; PINHO, 2017).

Souza, Chaves e Alvim (2015, p. 52) complementam que “o que antes era chamado de lixo passa a ser identificado como resíduos e materiais recicláveis, capazes de devolver à sociedade valor econômico, sustentabilidade ambiental e até mesmo dignidade às pessoas que fazem deles um meio de geração de trabalho e renda”. Assim, os tomadores de decisão dos setores público e privado responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos, necessitam tomar medidas assertivas na busca da sustentabilidade para gerir os resíduos, minimizando os impactos ambientais, econômicos e sociais (MATTOS, *et al.*, 2022).

Outrossim, vale ressaltar ainda o conceito de rejeitos, os quais podem ser definidos como: resíduos sólidos para os quais não existem, ou deixaram de existir possibilidades de tratamento e/ou recuperação técnica e economicamente viáveis (BRASIL, 2010).

A exemplo das conferências de Estocolmo, em 1972, e da ECO 92, no Rio de Janeiro, os encontros mundiais sobre o meio ambiente também abordaram conceitos que impactaram diretamente na forma que a humanidade administrava os resíduos sólidos. Dentre eles está o de sustentabilidade, o qual traz uma ideia de consumo moderado e da noção de esgotamento dos recursos naturais, contribuindo para a visão dos resíduos sólidos como um recurso potencial a ser explorado (DEUS, BASTIELLE e SILVA, 2015; TISI, 2019).

Contudo, os resíduos sólidos compreendem uma grande variedade de materiais que tem sua qualidade e quantidade alterada em função do tempo, da atualização tecnológica, da cultura e do comportamento social (SOUTO e POVINELLI, 2013). Dessa forma, as características da geração dos resíduos sólidos possuem relação direta com o local onde estão sendo

desenvolvidas as atividades humanas que os produzem, uma vez que o descarte dos materiais envolve o processo de aquisição e consumo de bens e produtos dos mais variados tipos (ABRELPE, 2015).

Nesse sentido, dada a infinidade de materiais que podem estar contidos nas massas de resíduos sólidos geradas, faz-se imprescindível, em qualquer sociedade, o planejamento e a gestão desses materiais para garantir a segurança humana, o aproveitamento eficiente e o descarte adequado desses materiais.

A gestão dos resíduos sólidos deve ser prevista levando em conta a necessidade de aproveitamento do ciclo de vida dos materiais descartados, semelhante aos processos naturais, no intuito de evitar desperdícios de matéria e energia. O conceito de gestão sustentável dos resíduos sólidos origina dos preceitos da gestão ambiental aplicados a gestão dos resíduos sólidos, podendo ser considerada também como gestão integrada dos resíduos sólidos (COSTA, 2011). Nesse sentido, Berticelli, Pandolfo e Korf (2017) afirmam que o termo “integrado” expressa a ideia da defesa de uma visão holística de controle, que inclui todos os fluxos de resíduos sólidos.

Nesse sentido, uma gestão sustentável ou integrada dos resíduos sólidos seria o mesmo que “um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2010, Art. 3). Adicionalmente, para Mattos *et al.* (2022) e Berticelli, Pandolfo e Korf (2017), a gestão integrada dos resíduos sólidos pode variar de acordo com o local, sendo descritas como as tecnologias, políticas e comportamentos que as cidades utilizam para minimizar os impactos negativos dos resíduos sólidos sobre o meio ambiente, a economia e a sociedade.

Sabe-se, no entanto, que para a gestão ser implementada de modo eficiente, é necessário a disponibilização de recursos suficientes. Silva *et al.* (2020) cita que no Brasil é comum a ocorrência da falta de recursos financeiros, o que leva a má qualidade na prestação do serviço de manejo dos resíduos sólidos, estimulando a destinação inadequada, canalizando esforços para ações emergenciais, como a eliminação de lixões; e negligenciando ações fundamentais, como a minimização da geração e o tratamento prévio.

Todavia, Souza, Chaves e Alvim (2015) lembram que as ações para a gestão adequada dos rejeitos, apesar de idealmente precisarem ser vistas por último, devido a ordem de

prioridade estabelecida na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), são fundamentais para minimizar os impactos negativos de curto prazo decorrentes do atual padrão produtivo e de consumo, altamente gerador de resíduos.

2.2.IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A problemática envolvendo os resíduos sólidos extrapola a questão ambiental e de saúde, uma vez que também se trata de um entrave comportamental da sociedade aliado a um sistema econômico que ainda busca o seu ponto de equilíbrio na relação de produção, consumo e descarte. Isso faz com que a gestão dos resíduos sólidos se torne um tema muito importante quando se trata de proteção ambiental. Conforme já abordado, se esses resíduos não forem geridos corretamente, podem acarretar impactos ambientais significativos.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 01/1986, impacto ambiental pode ser definido como:

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

Desse modo, ao entrarem em contato com o meio ambiente, os resíduos sólidos, em especial os resíduos classe I e os não inertes, podem alterar as características ambientais do solo, da água e do ar de onde são dispostos, ocasionando em impactos ambientais.

O primeiro impacto ambiental proveniente da gestão inadequada dos resíduos é a poluição do solo, já que o descarte dos resíduos sólidos sem o devido tratamento altera as características ambientais do local. Além disso, a decomposição da matéria orgânica, produtos químicos e metais pesados podem contaminar o solo, tornando-o impróprio para a agricultura e outras atividades (PEJON, RODRIGUES e ZUQUETE, 2013).

Esse material descartado irregularmente tem poluentes e contaminantes que podem infiltrar no solo para as águas subterrâneas ou podem escoar direto do solo para as águas superficiais. Essas situações podem contribuir para o aumento excessivo de compostos na água, com redução do oxigênio dissolvido, morte de peixes e risco de doenças na utilização da água para o consumo humano (WENDLAND e MARIN, 2013).

A decomposição e/ou a queima dos resíduos sólidos provoca a poluição do ar. Quando queimados a céu aberto ou em incineradores sem o devido controle de emissão, os resíduos podem liberar poluentes atmosféricos, como gases tóxicos e partículas finas, que podem afetar a saúde das pessoas (SOUTO e POVINELLI, 2013).

Outro impacto ambiental associado à gestão dos resíduos sólidos é o desperdício de recursos naturais, já que os resíduos sólidos dispostos sem a observância a ordem de prioridade estabelecida na PNRS acabam não podendo mais ser reutilizados ou reciclados, ou seja, recursos com valor econômico são perdidos ao não serem adequadamente geridos de forma integrada e sustentável para processos de reciclagem e transformação de novos produtos, o que reduz a necessidade de utilização de recursos naturais (COSTA, 2011).

Além desses impactos ambientais, a gestão inadequada dos resíduos também pode contribuir para as mudanças climáticas, pois a decomposição da matéria orgânica resulta na liberação de GEE como o Dióxido de Carbono (CO₂) e o gás metano (CH₄), principais componentes do biogás (KOBİYAMA, 2022). Além desses, alguns outros gases comuns liberados na disposição final também compõem o biogás, incluindo o nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂) e sulfeto de hidrogênio (H₂S), este último responsável pelo odor desagradável. O percentual de cada gás depende de diversos fatores, como a origem da matéria orgânica e as condições de fermentação, com composição média conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Composição percentual média dos gases que compõem o biogás de aterros sanitários

Composições	Percentual
Metano (CH ₄)	55% – 75%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25% – 45%
Nitrogênio (N ₂)	0% – 3%
Hidrogênio (H ₂)	0% – 2%
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0% – 2%
Oxigênio (O ₂)	0% – 2%

Fonte: Marca Ambiental (2019).

O biogás é a mistura de gases oriundos da decomposição da matéria orgânica, composto principalmente pelo CH₄ e CO₂, com alguns outros gases presentes em concentrações menores. O percentual de metano no biogás de aterros sanitários geralmente varia de 55 a 75%, enquanto o CO₂ pode compor de 25 a 45% (MARCA AMBIENTAL, 2019).

Zhang *et al.* (2019), por sua vez, ao realizar um levantamento bibliográfico acerca do assunto das emissões de GEE emitidos em aterros de disposição de resíduos, afirmou que a emissão média de metano em um aterro é de cerca de 40% – 60%. Já outros autores consideram, de acordo com as características dos resíduos sólidos no Brasil, que a emissão do biogás no país concentra mais de 55% de metano, bem como níveis acima de 30% para o dióxido de carbono.

Desse modo, dentre os gases emitidos a partir da decomposição anaeróbia das massas de resíduos nas instalações de disposição final, o CH₄ se destaca como o principal produto gasoso da degradação da matéria orgânica e também o que possui maior potencial de intensificação do efeito estufa. O CH₄ tem um potencial de aquecimento global 21 vezes maior do que o CO₂, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas. De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), caso as emissões de metano não sejam reduzidas de 40 a 45% até 2030, não será possível alcançar a meta de limitar o aquecimento global até 1,5°C (PNUMA, 2023).

Em resumo, o alto volume de CH₄ é gerado por conta do grande volume orgânico que passa pelo processo de decomposição nas disposições finais, sejam elas ambientalmente adequadas ou inadequadas. Entretanto, nas DFAA representadas pelos aterros sanitários, existem sistemas inerentes a essas instalações para a coleta dos gases gerados, que são destinados a queima para transformação do CH₄ em CO₂, reduzindo o impacto na contribuição para as mudanças climáticas (ABNT, 1992).

TISI (2019) afirma que o 5º relatório de avaliação do clima do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) traz relevantes informações sobre como a má gestão dos resíduos sólidos agrava o problema da emissão de metano na atmosfera e na produção dos GEE e propõe uma hierarquização para a gestão dos resíduos, baseado em ações de redução, recuperação e reaproveitamento energético, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Hierarquização da gestão dos resíduos segundo o 5º relatório de avaliação do clima do IPCC.



Fonte: TISI (2019).

A grande disposição direta dos resíduos sólidos indica que a gestão dos resíduos deve priorizar ações que tenham menor impacto na contribuição para o aumento da temperatura média global, as quais devem seguir uma hierarquia de tratamento, começando pelas mais favoráveis, como a prevenção e a redução da geração de resíduos; seguidas pela recuperação direta de materiais por meio de reciclagem, recuperação energética e tratamento sem aproveitamento energético. Além disso, a disposição final dos resíduos sólidos deve ser considerada das instalações com a queima do metano até a pior medida para o clima, no caso, os lixões.

Em resumo, os impactos ambientais e as mudanças climáticas precisam ser observados na gestão dos resíduos sólidos, por serem significativos e precisam ser abordados nos planejamentos estaduais e municipais de resíduos sólidos.

As convenções internacionais sobre o clima têm cada vez mais discutido o tema resíduos sólidos e a importância da redução das emissões dos GEE como forma de cooperação global para atenuar os impactos a longo prazo promovidos pelo aquecimento global intensificado com as ações humanas. Esse assunto tem ganhado, cada vez mais, notoriedade pública e política no cenário mundial e brasileiro, principalmente pela necessidade de redução dos GEE.

Os GEE são definidos como “substâncias atmosféricas que causam o aquecimento global e a mudança climática” (PNUMA, 2023). Já o efeito estufa em si, de acordo com Oliveira e Vecchia (2013) é um processo natural do planeta responsável pela manutenção do clima que tem sido amplificado após a elevação das concentrações dos GEE na atmosfera.

Internacionalmente, o Brasil possui pontos positivos e negativos no tocante as contribuições para o fenômeno do aquecimento global. Dentre os pontos positivos está sua robusta legislação ambiental e a matriz energética majoritariamente limpa, oriunda de fontes renováveis, com destaque a hidroeletricidade (EPE, 2022). Contudo, o país também tem pontos negativos, como o grande volume de desmatamento e queimadas na Amazônia e a desestruturação do setor de resíduos sólidos em muitos municípios brasileiros, em especial das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (INPE, 2023; SNIS, 2022).

Ainda assim, o Brasil é um dos principais emissores de GEE do mundo, ocupando a 12ª posição no ranking mundial em 2021 (GCA, 2022). Os principais setores responsáveis pelas emissões estão listados no Quadro 1.

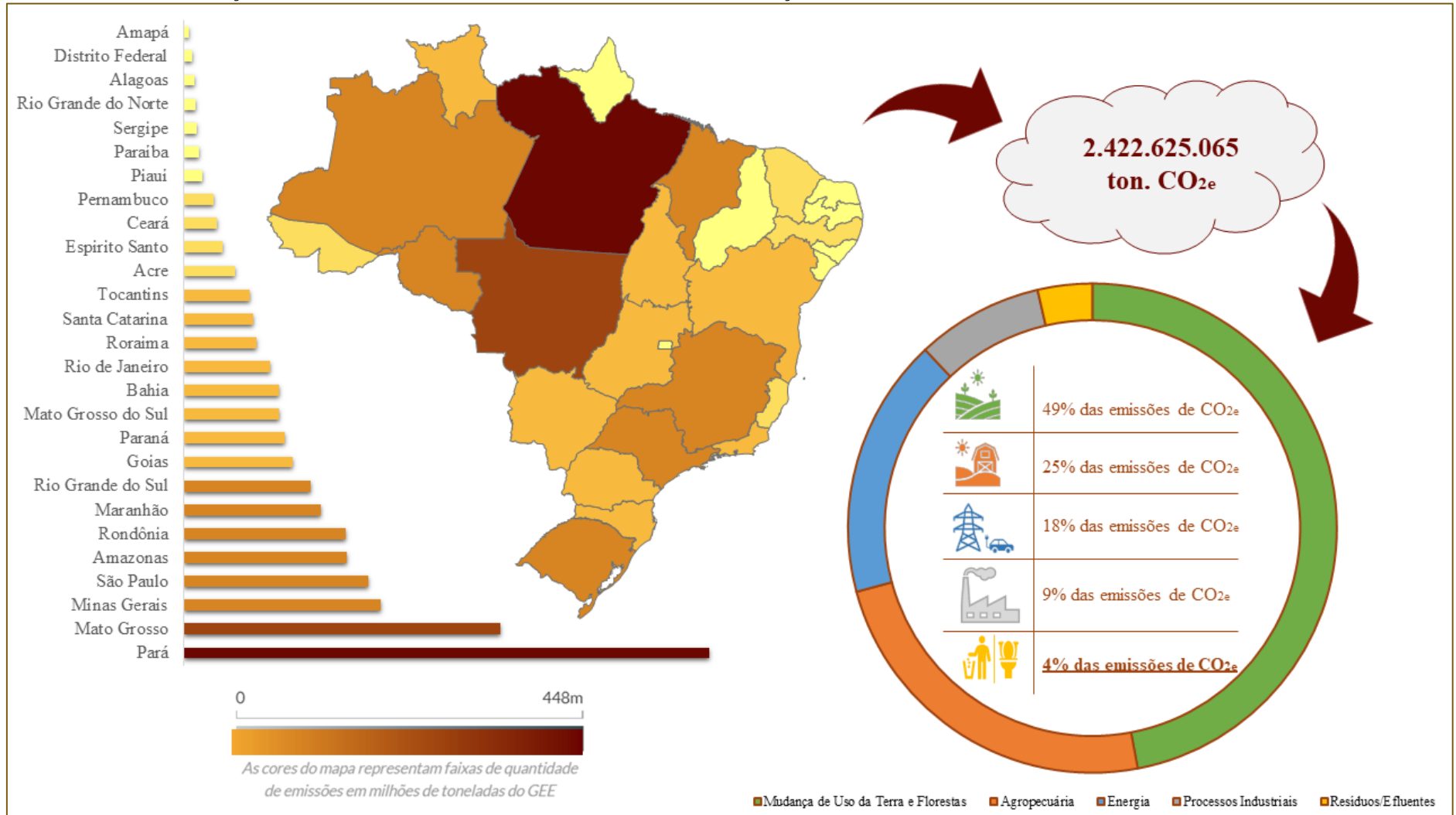
Quadro 1: Descrição dos principais setores emissores de GEE no Brasil.

Principais Setores Emissores	Descrição dos Setores
1. Mudança de Uso da Terra e Florestas	É o setor responsável pela maior parte dos desmatamentos e queimadas, fator que o torna uma das principais fontes de emissão de CO ₂ e na atmosfera, juntamente com a degradação florestal que pode resultar em emissões de CH ₄ e N ₂ O. Além disso, as atividades mencionadas provocam a interrupção do sequestro de carbono realizado pela matéria vegetal, o que contribui com a concentração de gases na atmosfera.
2. Agropecuária	O setor relativo à agropecuária é o que reúne as emissões oriundas das atividades de produção animal e vegetal. Na produção animal, a fermentação entérica (processo digestivo) dos ruminantes, suínos e aves é responsável pela liberação da maior quantidade de CH ₄ .
3. Energia	Este setor refere-se ao consumo de energia elétrica em prédios públicos, residências e atividades produtivas que são diretamente responsáveis pela demanda de eletricidade gerada nas usinas do sistema elétrico nacional.
4. Processos Industriais	As atividades industriais podem gerar emissões atmosféricas pela queima de combustíveis (geração de calor ou energia elétrica), pela disposição de resíduos (tratamento de efluentes industriais e incineração de resíduos) e por processos de transformação química e/ou física de materiais.
5. Resíduos/Efluentes	O setor inclui a estimativa de emissões de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O provenientes do tratamento intermediário e disposição final de RSU, lodos oriundos de estações de tratamento de efluentes; incineração de resíduos de serviços de saúde e queima a céu aberto de resíduos sólidos; e, tratamento e afastamento de efluentes líquidos domésticos e industriais.

Fonte: SEEG (2022).

Com isso, as principais informações a respeito das emissões de GEE no Brasil, para o ano de 2021, estão destacadas na Ilustração 1.

Ilustração 1: Estimativa da emissão nacional de GEE e as contribuições estaduais às emissões brasileiras, no ano de 2021.



Fonte: SEEG (2022).

De acordo com dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), a gestão dos resíduos sólidos, juntamente com o tratamento de efluentes, integrou as atividades humanas responsáveis pelas emissões de GEE no cenário nacional no ano de 2021, correspondendo a 4% do total as emissões, a qual foi contabilizada em aproximadamente 2,42 bilhões de toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂e), que é a unidade adotada para a normalização da quantidade de GEE emitidos por diferentes fontes em termos de seu potencial de aquecimento global, tornando-os equivalentes a emissão do CO₂.

Nesse caso, o gás utilizado como ponto de referência para a medição das demais emissões de GEE é o CO₂, assumindo o valor de 1. Assim, outros gases, como o CH₄ e o N₂O, que possuem potencial de aquecimento global maior do que o CO₂, são convertidos em CO₂e com base em sua capacidade de aquecimento global (SEEG, 2022). O uso dessa medida ajuda a comparar as emissões de diferentes GEE e identificar áreas onde as emissões podem ter o maior na contribuição com as mudanças climáticas.

No sentido de reduzir as emissões bem como os demais impactos ambientais que podem ser provocados com a disposição final dos rejeitos, os aterros sanitários podem ser definidos como uma obra de engenharia que se faz de barreira a poluição do solo, dos corpos d'água e do ar, por meio do confinamento seguro dos rejeitos dispostos, evitando riscos à saúde pública e ao meio ambiente (SOUTO e POVINELLI, 2013). Essa instalação contempla medidas de segurança ambiental que impedem o extravasamento de substâncias poluentes oriundas da decomposição dos rejeitos (chorume e gases), como a impermeabilização da área de disposição, sistema de drenagem de líquidos percolados e sistema de drenagem de gases (ABNT, 1992).

Nesse cenário, leis e normas foram estabelecidas para garantir a gestão dos resíduos sólidos de maneira segura, eficiente e sustentável, minimizando os impactos negativos na saúde pública e no meio ambiente. Para isso, são estabelecidos incentivos e responsabilidades para os diferentes atores envolvidos na gestão dos resíduos, desde o gerador até o responsável pela disposição final, promovendo a participação da sociedade e a responsabilidade compartilhada na gestão dos resíduos sólidos.

2.3.LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICADAS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS

As políticas voltadas à gestão dos resíduos sólidos tiveram origem na crescente preocupação da humanidade com as intervenções humanas no meio ambiente, ocasionando em impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana. No Brasil, não foi diferente, estando presente na Constituição Federal (CF) de 1988, a garantia do direito dos brasileiros ao “[...] meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988, Art. 225).

Baseado nisso, diversos instrumentos legais surgiram posterior a CF, no intuito de promover a minimização da geração, bem como a necessidade de reutilização dos materiais, visando a sua reintrodução na cadeia produtiva, por meio de um sistema integrado e participativo de gestão (COSTA, 2011; SILVA *et al.*, 2020).

Os resíduos sólidos passaram a receber maior atenção legal em 2007 com a Lei 11.445, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, considerando a atividade de limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos como um de seus quatro componentes, incluindo ainda o abastecimento de água, o esgotamento sanitário e a drenagem e manejo das águas pluviais. Dentre os pontos de destaque referentes a gestão dos resíduos sólidos estão: a universalização do acesso, eficiência e sustentabilidade econômica e a prestação do serviço de forma adequada à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2007; MDR, 2021).

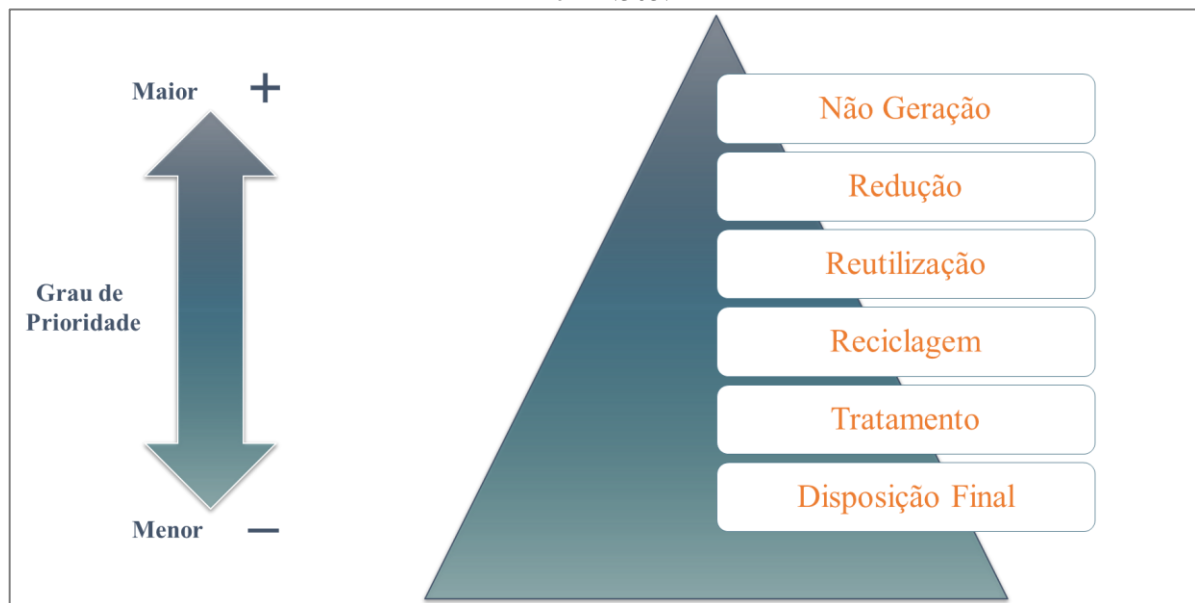
O setor de resíduos sólidos passou a ser regido também pela Lei 12.305/2010, que institui a PNRS “[...] fruto de negociações de longos anos entre os vários atores envolvidos em seu processo” (BESEN, JACOBI e FREITAS, 2017, p. 24). Com isso, princípios, objetivos, diretrizes, instrumentos e metas foram estabelecidos com o propósito de estimular a responsabilidade compartilhada e implementar no país a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, os quais devem nortear o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), com horizonte de 20 anos e atualização quadrienal (BRASIL, 2010; SILVA *et al.*, 2020).

Não obstante, a PNRS também ratificou a responsabilidade de estados e municípios para a elaboração dos Planos Estaduais e Municipais de Resíduos Sólidos, respectivamente, como condição para o acesso a recursos da União destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos (no caso dos estados) e de serviços relacionados à

limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, este último de responsabilidade exclusiva dos municípios (BRASIL, 2010; SOUZA, CHAVES e ALVIM, 2015; SILVA *et al.*, 2020).

Outro assunto importante preconizado na PNRS foi a ordem de prioridade para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, a qual deve seguir o grau de prioridade, conforme detalhado na Ilustração 2.

Ilustração 2: Ordem de prioridade para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, de acordo com a Lei 12.305.



Fonte: BRASIL (2010).

A primeira prioridade é evitar a geração de resíduos e, caso isso não seja possível, reduzir a quantidade gerada. Se ainda assim houver resíduos gerados, a próxima prioridade é reutilizá-los e, em seguida, reciclá-los. Caso ainda existam resíduos que não possam ser reciclados ou reutilizados, eles devem ser tratados e, por fim, dispostos de maneira ambientalmente adequada.

No entanto, Prates, Pimenta e Ribeiro (2019) afirmam que, em virtude dos limites temporais para adequação das disposições finais, inicialmente prevista na PNRS para ocorrer até o ano de 2014, a ordem de prioridade foi muitas vezes negligenciada pelas gestões municipais, que passaram a gerir todo e qualquer tipo de resíduo sólido como rejeito, dispondo-os em aterros controlados e sanitários, sem a possibilidade de aproveitamento (BRASIL, 2010; BESEN, JACOBI e FREITAS, 2017).

Outro problema recorrente na gestão dos resíduos é a falta da capacidade de investimento dos municípios pequenos na aplicação da ordem de prioridade, bem como na implantação de instalações de disposição final. Nesse sentido, Silva *et al.* (2020) apontam como solução o

fomento ao consorciamento de soluções, em que as gestões que optarem por soluções consorciadas intermunicipais e implantarem coleta seletiva, incluindo as associações de catadores de materiais recicláveis, terão acesso prioritário à recursos Federais, tornando esta, uma oportunidade aos municípios com dificuldades financeiras para o cumprimento da lei (ABRELPE, 2018).

Contudo, observa-se que apesar dos avanços legislativos alcançados, na prática muitos pontos importantes da gestão dos resíduos não avançaram tanto quanto o necessário, dentre eles a logística reversa, a reciclagem, a compostagem e o aproveitamento energético, métodos fundamentais que agregam valor ambiental, social e econômico à atividade de destinação final (SZIGETHY e ANTENOR, 2020). Não obstante, no intuito de aumentar a efetividade das disposições estabelecidas na PNRS, outras diretivas legais foram criadas visando a atualização de alguns pontos da Lei 12.305/2010 que se mostraram pouco eficazes ao longo do tempo. Destaca-se nesse cenário o advento da Lei 14.026/2020, atualizando dispositivos que tratam sobre os resíduos sólidos, dentre eles:

- ▮ A antiga Agência Nacional de Águas passa a se chamar Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), atribuindo a função de agência reguladora dos serviços de saneamento nacionalmente, logo, incumbindo a responsabilidade de instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento, respeitado os princípios da universalização do acesso e a efetiva prestação do serviço (BRASIL, 2020);
- ▮ O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) passa a assumir a periodicidade máxima de revisão de 10 anos (BRASIL, 2020);
- ▮ Os prazos para cumprimento da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos foram prorrogados para os municípios que tenham elaborado o plano municipal ou intermunicipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, sendo:

I - até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;

II - até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

III - até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e

IV - até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010 (BRASIL, 2020, Art. 54).

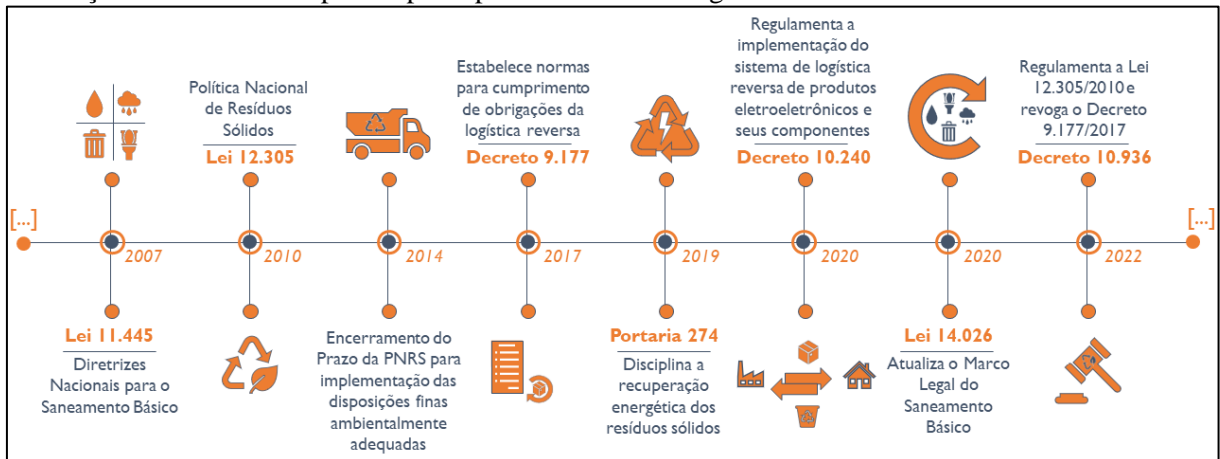
- ☰ A implantação da cobrança pela prestação do serviço de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos para garantia da sustentabilidade econômico-financeira, “[...] na forma de taxas, tarifas e outros preços públicos, conforme o regime de prestação do serviço ou das suas atividades” (BRASIL, 2020, Art. 29).

Além disso, a Lei 14.026/2020 também estabelece que os planos de saneamento básico poderão ser feitos no formato regionalizado, atendendo um conjunto de municípios visando a prestação de serviços de um ou mais componentes do saneamento. Ademais, na existência de um plano regional de saneamento básico, a necessidade de elaboração do plano municipal passa a ser dispensada (BRASIL, 2020);

Outros importantes instrumentos legais que surgiram posteriormente a PNRS são: a Portaria Interministerial n.º 274/2019, que disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos; o Decreto n.º 10.240/2020, que regulamenta a implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico; e o Decreto n.º 10.936/2022, que regulamenta a Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a PNRS.

Esses instrumentos, resumidamente, objetivam não só atualizar, mas também complementar e especificar determinações da PNRS, inclusive com relação ao aproveitamento dos resíduos sólidos, fomentando alternativas de destinação final como a recuperação energética e o aproveitamento comercial dos resíduos sólidos, por meio da logística reversa, que além dos benefícios econômicos promovem também a redução dos impactos ambientais e das emissões de GEE. Em síntese, na Ilustração 3 são representados cronologicamente os principais instrumentos legais do setor de resíduos sólidos.

Ilustração 3: Linha do tempo dos principais instrumentos legais brasileiros do setor de resíduos sólidos.



Fonte: Autor (2023).

Observa-se por meio da ilustração que, no período de 15 anos, 3 leis, 3 decretos e 1 portaria interministerial foram implementadas para a regulação de diversas áreas que envolvem o serviço de manejo dos resíduos sólidos. Também é possível notar que, após 7 anos da instituição da PNRS e a falta de efetividade em algumas de suas determinações, surgiram instrumentos legais no intuito de aprimorar e tentar surtir efeito nos objetivos e diretrizes estabelecidos pela política citados anteriormente.

Por fim, os instrumentos legais, bem como normas técnicas implantadas no Brasil também foram importantes para a classificação e organização dos resíduos quanto as suas características específicas. Essa medida é importante porque não só permite identificar os riscos potenciais que os resíduos podem apresentar ao meio ambiente e à saúde pública, como também colabora com a gestão sustentável dos resíduos, evitando que sejam descartados de forma inapropriada e causem danos ao meio ambiente.

2.3.1. Classificação e Caracterização dos Resíduos Sólidos

No Brasil, os resíduos sólidos são classificados quanto a sua periculosidade ou quanto à origem (BARBOSA e IBRAHIN, 2013; SINIR, 2022). No tocante a periculosidade, a PNRS e a Norma Brasileira (NBR) 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), classifica os resíduos sólidos em: perigosos e não perigosos. Resíduos perigosos podem ser definidos como aqueles que possuem características com significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica. Algumas das características que podem ser encontradas em um resíduo sólido tornando-o perigoso são: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, dentre outras (ABNT, 2004; BRASIL, 2010).

No meio técnico, os resíduos perigosos e não perigosos são normalmente identificados pelas classes estabelecidas na norma ABNT n.º 10.004/2004, as quais organizam-se conforme explicitado no Quadro 2:

Quadro 2: Classificação dos resíduos perigosos e não perigosos, de acordo com a NBR 10.004/2004.

Classes de Resíduos		Descrição	Exemplos
Classe I – Resíduos Perigosos		Constituem-se de uma ou mais das características de periculosidade citadas anteriormente	resíduos químicos como solventes, tintas e óleos lubrificantes; resíduos hospitalares, a exemplo de agulhas, seringas e medicamentos vencidos; resíduos eletroeletrônicos, tal como computadores, celulares e televisores e; resíduos radioativos, normalmente provenientes de atividades nucleares, industriais e médicas
Classe II – Resíduos Não Perigosos	Classe II A – Não Inertes	Não apresentam risco à saúde humana e ambiental, porém possuem propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água	resíduos biodegradáveis, como restos de alimentos, folhagens e resíduos de poda, capina ou roçagem
	Classe II B – Inertes	Não apresentam risco à saúde humana e ambiental e que quando submetidos ao contato com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não alterem os padrões de potabilidade	alguns materiais recicláveis do tipo: latas de alumínio, vidro, pedra e areia, sucatas, madeira e isopor

Fonte: Adaptado de ABNT (2004) e Barbosa e Ibrahim (2013).

Além da classificação exemplificada no Quadro 2, a Lei 12.305/2010, que institui a PNRS, adota classificação baseada na origem dos resíduos, a qual tem sido mais amplamente utilizada, juntamente com a NBR 10.004, nos planos de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. A referida classificação é dividida em 11 categorias, conforme descritas no Quadro 3:

Quadro 3: Classificação dos resíduos quanto à origem, de acordo com a PNRS.

RESÍDUOS	DESCRIÇÃO
 RDO:	Resíduos Domiciliares: originados das atividades domésticas e podem incluir: restos de alimentos, papel, papelão, plásticos, vidros, metais, tecidos, entre outros;
 RLPU:	Resíduos de Serviços de Limpeza Pública: oriundos das atividades de limpeza urbana, como varrição de ruas, coleta de entulhos e podas de árvores, limpeza de praias, entre outras;
 RSU:	Resíduos Sólidos Urbanos: esses resíduos podem incluir, dentre outros, materiais orgânicos (restos de alimentos, folhas, galhos), papéis, plásticos, metais, vidros, tecidos, produtos eletrônicos e perigosos;
 RCPS:	Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços: são compostos por materiais gerados nas atividades desenvolvidas nesses locais, como embalagens, papelão, plásticos, metais, vidros, resíduos alimentares, entre outros;
 RSB:	Resíduos de Serviços de Saneamento Básico: aqueles gerados nas atividades de abastecimento de água, tratamento de esgoto, e manejo de águas pluviais;
 RSI:	Resíduos Industriais: são oriundos dos processos de produção, manutenção e limpeza durante as atividades industriais;
 RSS:	Resíduos de Serviços de Saúde: São os resíduos gerados em atividades relacionadas à prestação de serviços de saúde, como hospitais, clínicas veterinárias, consultórios de especialidades médicas, entre outros;
 RCC:	Resíduos da Construção Civil: são aqueles provenientes de atividades de construção, reforma, reparos e demolições de edificações e estruturas, como casas, prédios, pontes, estradas, entre outras;
 RSA:	Resíduos Agrossilvopastoris: são gerados pela atividade agropecuária e florestal, sendo compostos por materiais orgânicos e inorgânicos;
 RST:	Resíduos de Serviços de Transporte: gerados pelas atividades de transporte de pessoas e de cargas. Esses resíduos podem incluir borracha, vidro, metal, óleo lubrificante, pneus e outros materiais;
 RSM:	Resíduos de Mineração: provenientes das atividades de mineração podendo variar com o tipo de minério e o processo utilizado, mas geralmente incluem rochas, terra, lama, poeira, escória e cinzas.

Fonte: BRASIL (2010).

No contexto de grande parte dos municípios brasileiros, os RSU tem sido a categoria de resíduos que mais tem recebido atenção das administrações públicas, em especial, por conta dos seus impactos afetarem diretamente o ambiente urbano, que abriga cerca de 86,5% da população brasileira (IBGE, 2022).

2.3.2. Resíduos Sólidos Urbanos

Os RSU podem ser definidos como os resíduos produzidos pelas atividades humanas em áreas urbanas. De acordo com a PNRS, os RSU são considerados como aqueles compreendidos pelos RDO e RLPU. Todavia, a própria legislação abre espaço para outras interpretações, como estabelece a Instrução Normativa nº 13/2012, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que publicou a lista brasileira de resíduos sólidos, que equipara os RSU aos oriundos do comércio, indústria, serviços e das frações provenientes da coleta seletiva (IBAMA, 2012).

Complementarmente, a Lei nº 14.026/2020 também considera como RSU os resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços, excetuados aqueles em que a responsabilidade pelo manejo seja atribuída ao gerador, caso assim deseje o poder público (BRASIL, 2020; SINIR, 2022).

A gestão dos RSU no Brasil é de responsabilidade dos municípios, que devem elaborar o PMGIRS para organizar e planejar a gestão dos resíduos em seu território. A implementação adequada deste plano pode garantir a destinação correta dos resíduos e, conseqüentemente, a redução dos impactos ambientais negativos. Além disso, a elaboração deste documento é posta na PNRS como condição para o Distrito Federal e municípios acessarem recursos da União, ou por ela controlados (TELLES, 2022).

No entanto, muitos municípios brasileiros ainda enfrentam desafios na gestão e no gerenciamento dos RSU. Entre os principais desafios estão a falta de recursos financeiros e técnicos, a falta de conscientização da população em relação à importância da gestão adequada dos resíduos e a falta de infraestrutura para a coleta seletiva e a Destinação Final Ambientalmente Adequada (DFAA) dos resíduos (TONETO JÚNIOR, SAIANI e DOURADO, 2014).

Outra classificação muito comum no meio técnico e de gerenciamento dos RSU é a divisão dos resíduos em secos e úmidos ou orgânicos e inorgânicos. Os resíduos sólidos secos ou inorgânicos são aqueles não constituídos de matéria orgânica, normalmente representados por tipos de plástico, papel, vidro e metal com suas variações. Já os resíduos úmidos ou orgânicos, são aqueles usualmente com características de degradabilidade, representados por restos de comida, podas de árvore e restos de animais.

Conforme determina o Decreto n° 10.936/2022, esta última classificação é tida como a mínima estabelecida pelos prestadores de serviço da coleta dos RSU para a execução da coleta seletiva (BRASIL, 2022).

Todos esses pontos abordados interferem diretamente no gerenciamento dos RSU que, independentemente da classificação, precisa atender ao bom manejo e controle dos resíduos, desde a geração até a disposição final dos rejeitos.

2.4.GERENCIAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Apesar de semelhante ao conceito de gestão, o gerenciamento se distingue principalmente no sentido de que as ações são exercidas de forma prática e não mais voltadas ao planejamento. Essas ações dizem respeito a limpeza urbana e ao manejo dos resíduos sólidos, integrando um dos quatro componentes do saneamento básico brasileiro, fazendo-se fundamentais para a promoção da saúde pública, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental no meio urbano e rural (SNIS, 2022; TELLES, 2022). Assim, conforme a PNRS, o gerenciamento dos RSU pode ser definido como:

conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010, Art. 3).

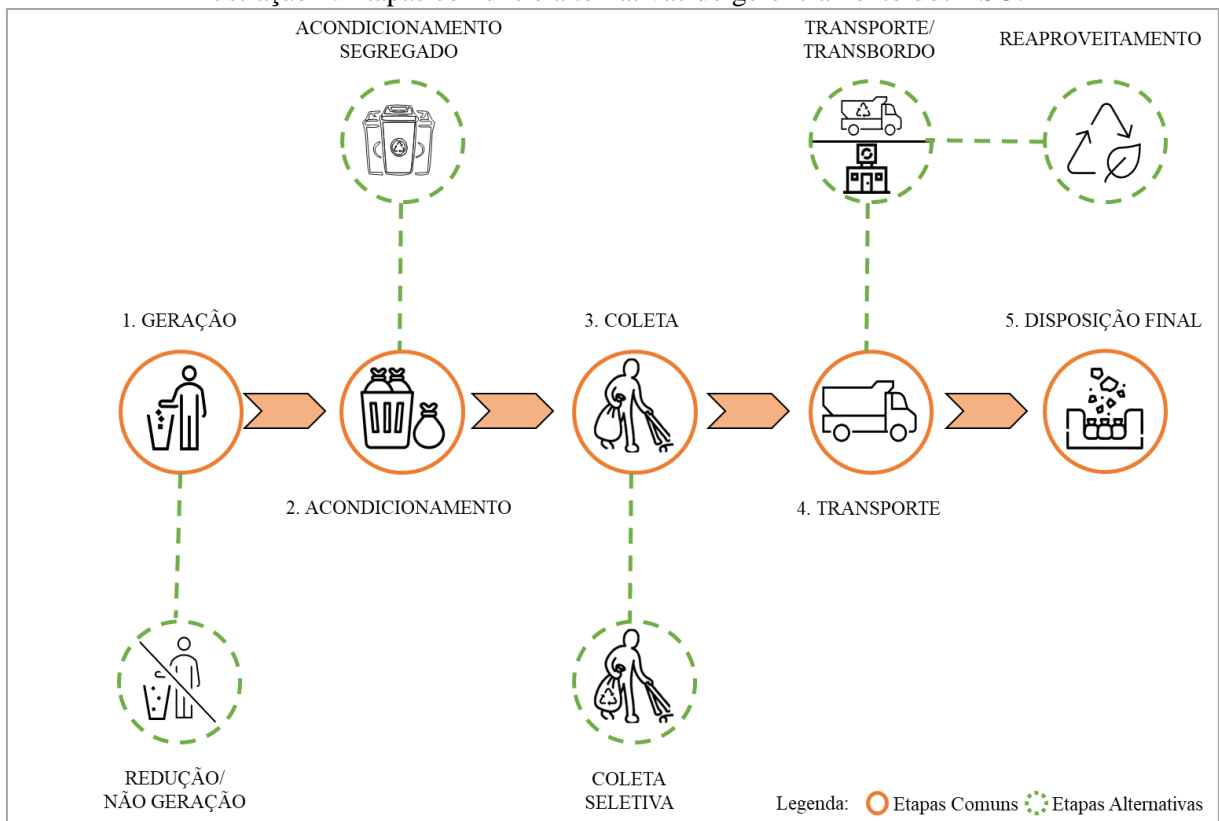
De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), os sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos podem apresentar diferentes formas e soluções tecnológicas, variando de acordo com a realidade de cada município, uma vez que as alternativas precisam levar em consideração os custos de implantação, manutenção e os tipos de benefícios mais adequados para cada região (MDR, 2021). Mattos *et al.* (2022) apontam ainda para o fato de que o gerenciamento dos resíduos sólidos é fortemente influenciado no âmbito social, ambiental, político e econômico, fazendo-se necessário a análise destes aspectos na tomada de decisão para a escolha das alternativas tecnológicas de gerenciamentos dos RSU.

Vale ressaltar ainda que para atingir maior efetividade no gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, o mesmo deve envolver diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil, a fim de que todas as etapas sejam bem exercidas e monitoradas até a destinação

final, dando-se importância ainda para o entendimento e contribuição da população através de ações de educação ambiental (SILVA, *et al.*, 2020).

O gerenciamento dos RSU é normalmente dividido em etapas, as quais nem sempre são as mesmas ou possuem a mesma ordem em todos os lugares. As etapas usualmente aplicadas nos municípios, são: a geração; o acondicionamento; a coleta; o transporte e a destinação final, conforme representado na Ilustração 4.

Ilustração 4: Etapas comuns e alternativas do gerenciamento dos RSU.



Fonte: Autor (2023).

Além das cinco “etapas comuns”, existem “etapas alternativas” que podem ser implementadas para alcançar a sustentabilidade na prestação do serviço, no caso, redução/não geração, acondicionamento segregado, coleta seletiva, transporte/transbordo e reaproveitamento dos resíduos.

A primeira etapa do gerenciamento dos resíduos sólidos diz respeito à sua geração, que, segundo Silva *et al.* (2020), deve ser vista separadamente da coleta, dado que na ocorrência da disposição irregular, coleta informal ou insuficiência do sistema de coleta regular, pode nem chegar a ser coletada pelo serviço público. Vale ressaltar a importância do incentivo a redução da geração, no intuito de reduzir a pressão sobre o sistema e os impactos ambientais.

A segunda etapa refere-se ao acondicionamento dos resíduos, esta etapa nada mais é que a forma com que os resíduos são preparados para a posterior coleta. De acordo com o MDR (2021) da mesma forma que os produtos se encontram ordenados, classificados e bem embalados nos estabelecimentos comerciais para a venda, também é necessário que, após utilizados, os resíduos oriundos desse consumo estejam semelhantemente organizados pelo gerador facilitando a etapa seguinte (coleta) e, conseqüentemente, a sua DFAA (MDR, 2021).

Portanto, a segregação dos materiais acondicionados é de fundamental importância para o aproveitamento do valor agregado dos resíduos sólidos, sendo uma das formas de segregação mais utilizada a separação “tripla” entre resíduos úmidos, secos e rejeitos (ABRELPE, 2015). Não obstante, Mattos *et al.* (2022) revelam que muitos estudos têm constatado que, nos países em desenvolvimento, a separação dos resíduos na fonte de geração ocasiona notável redução dos impactos ambientais negativos provenientes do gerenciamento dos RSU.

Segundo Souto e Povinelli (2013, p. 569), “a coleta é o ponto-chave no gerenciamento dos resíduos sólidos [...]”, pois é a partir dela que a qualidade da gestão é avaliada, podendo ser classificada em coleta regular, coleta especial e coleta seletiva. A coleta regular é a majoritária no Brasil, realizada porta a porta e seguida da compactação dos resíduos em caminhões compactadores. Já a coleta especial refere-se à coleta dos resíduos que não podem ser misturados aos RSU, como os RSS e os RCC.

A coleta seletiva é definida como “coleta de resíduos sólidos previamente separados de acordo com sua constituição e composição” (BRASIL, 2010, Art. 3), na qual é fundamental a participação dos geradores de RSU no sentido de cumprir a sua parte na responsabilidade compartilhada, referente à segregação e acondicionamento, de acordo com o estabelecido pelo titular do serviço. No Quadro 4 são listadas as responsabilidades que envolvem a gestão e o gerenciamento dos RSU.

Quadro 4: Responsabilidades dos agentes envolvidos no gerenciamento dos RSU.

Agente	Responsabilidade
Setor Público	Planejamento, execução e controle do sistema de gerenciamento dos RSU
Cidadão	Separação e disponibilização dos materiais descartados para coleta
Indústria	Estruturação e viabilização do sistema de logística reversa e sua eventual interface com o sistema de coleta seletiva

Fonte: ABRELPE (2015).

A coleta seletiva pode ser executada porta a porta ou ponto a ponto, reunindo resíduos de um conjunto de domicílios. Segundo a ABRELPE (2015), os programas de coleta seletiva de resíduos secos no Brasil e no mundo, em geral, apresentam duas modalidades básicas que são:

- Porta a porta: coleta realizada em dias específicos da semana, com equipamentos adequados, coletando os materiais pré-separados nos domicílios. O poder público responsável trafega pelas vias das cidades, recolhendo os resíduos disponibilizados;
- Postos de Entrega Voluntária (PEVs): consiste no uso de caçambas ou contêineres, instalados, geralmente, em pontos estratégicos para onde a população possa levar os materiais previamente segregados.

O sistema de coleta deve ser bem planejado, com vistas a diminuição dos custos com o transporte dos resíduos, bem como de prejuízos ao tratamento e a disposição final, além de evitar reclamações por parte da população. Nesse sentido, de acordo com Silva *et al.* (2020), a coleta de RSU, quando bem executada e abrangente, torna-se interessante a administração pública no aspecto político, uma vez que as ações desse serviço público municipal possuem grande visibilidade para a sociedade civil e, sabidamente, impedem o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças, melhorando a saúde pública.

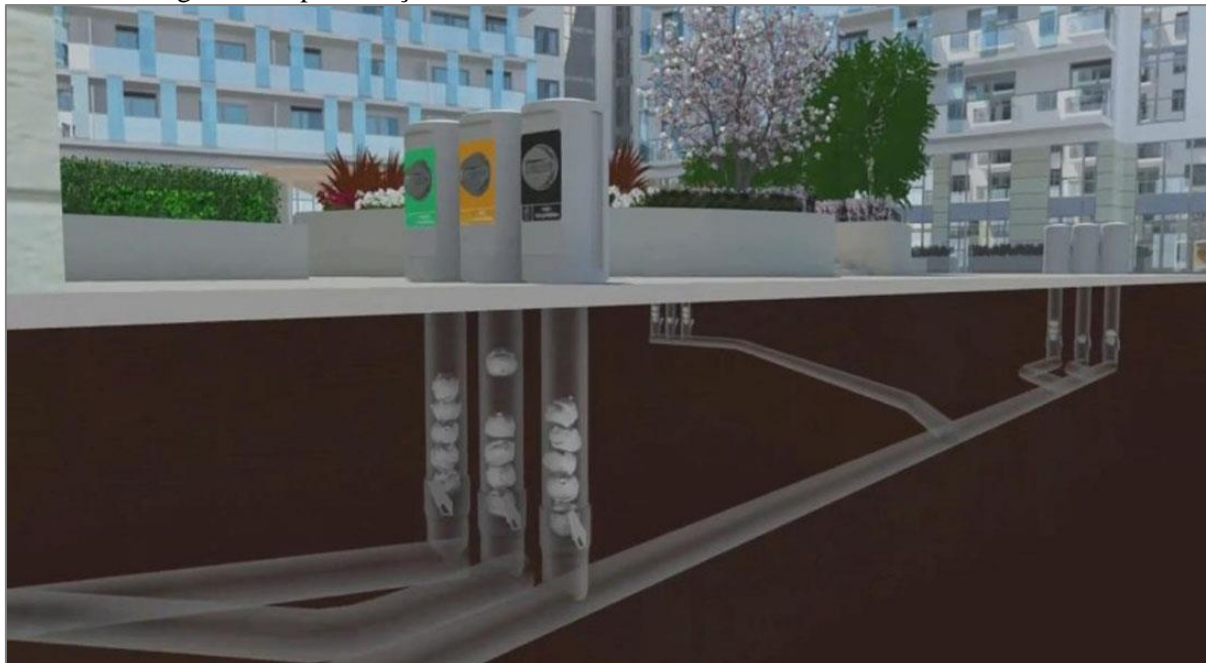
Em suma, a execução dos serviços de coleta e transporte dos RSU pode ser realizada diretamente pelo município ou através de terceiros, por meio de licitação e contrato de prestação de serviços, e seus preços e custos distinguem-se nas diversas regiões do Brasil, dependendo das quantidades e das características dos resíduos coletados, o que também influenciam nos custos do serviço (SINIR, 2022).

A finalidade da etapa de transporte dos RSU é de locomover os resíduos das fontes geradoras até a destinação final prevista. Em conformidade, no panorama do saneamento básico elaborado pelo MDR (2021, p. 101), consta que essa etapa “exige um grande planejamento para que os veículos tenham acesso, de maneira periódica, aos pontos de coleta, às casas, aos comércios, entre outros estabelecimentos”.

Atualmente, metodologias mais sofisticadas de coleta e transporte também são possíveis e já estão em funcionamento em alguns locais do mundo, como é o caso de Estocolmo, na Suécia, em que 100% das residências são conectadas a um sistema de coleta seletiva (Figura 2), por meio de uma rede de tubulações subterrâneas que encaminha os resíduos até grandes

centros de triagem para, posteriormente, seguirem a uma destinação final adequada (SZIGETHY e ANTENOR, 2020).

Figura 2: Representação do sistema de coleta seletiva de RSU em Estocolmo.



Fonte: STYLOURBANO (2020).

No decorrer da 3ª etapa do gerenciamento (transporte), os resíduos podem ou não passar pela etapa de transbordo, a qual, quando oportuna e relevante para o sistema de gerenciamento, deve ser implementada visando a separação e o armazenamento dos materiais a serem reaproveitados. Desse modo, normalmente, a etapa de transbordo é aplicada quando há o aproveitamento dos resíduos, antecedendo a última etapa de disposição final. Assim, após o transbordo, esses materiais são novamente transportados, já segregados, para às indústrias de transformação, visando o seu reaproveitamento (MDR, 2021).

2.4.1. Tratamento/Destinação Final

A PNRS determina que os resíduos sólidos devam ser tratados e recuperados por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, previamente à sua disposição final ambientalmente adequada. Nesse sentido, a DFAA, conforme nomeia a própria PNRS, pode ser conceituada da seguinte forma:

destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Desse modo, entende-se que o tratamento, como destinação final de determinada parcela dos RSU, deve constituir-se de tecnologias que estejam desenvolvidas em escala comercial e que desse modo, permita sua aplicação em diferentes localidades, levando-se em conta a segurança socioambiental e o custo-benefício da solução (ABRELPE, 2015).

Atualmente, existem inúmeras formas de destinação final que visam o aproveitamento econômico dos resíduos sólidos aliado a redução dos impactos ambientais. A primeira delas e mais conhecida é a reciclagem, atividade que varia entre uma escala manual até industrial e que objetiva aproveitar os valores agregados a constituição de resíduos sólidos secos, reinserindo-os como matéria-prima em processos produtivos ou mesmo artesanais, como ocorre com o plástico, vidro, papel, metal, dentre outros (TELLES, 2022).

Com a reciclagem é possível a venda direta dos materiais às indústrias por pessoas físicas e jurídicas, a exemplo das associações de catadores de materiais recicláveis, que usualmente além da venda, desenvolvem projetos sociais e comerciais de manufatura utilizando os materiais coletados para criação de novos produtos dos mais variados tipos, promovendo a geração de renda.

Aliado a reciclagem, a logística reversa é um dos instrumentos da PNRS “caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010, Art. 3º). Ademais, a logística reversa torna-se obrigatória para os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos produtos e seus resíduos perigosos listados no Quadro 5:

Quadro 5: Resíduos passíveis da implantação obrigatória de sistemas de logística reversa.

Tipos de produtos/resíduos	Possíveis categorias quanto à origem
Resíduos e embalagens de produtos agrotóxicos	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Agrossilvopastoris • Resíduos Industriais • Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços
Pilhas e baterias	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Industriais • Resíduos Sólidos Urbanos • Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços • Resíduos de Serviços de Transporte
Pneus	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Industriais • Resíduos Sólidos Urbanos • Resíduos de Serviços de Transporte
Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Industriais • Resíduos Sólidos Urbanos

	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços • Resíduos de Serviços de Transporte
Lâmpadas fluorescentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Industriais • Resíduos Sólidos Urbanos • Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviço
Produtos eletroeletrônicos e seus componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Industriais • Resíduos Sólidos Urbanos • Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviço

Fonte: Adaptado de BRASIL (2010).

Em relação ao aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos, a forma de tratamento mais comum é a compostagem, pela qual é possível obter benefícios financeiros com a produção para uso ou venda de produtos agrícolas, como adubos orgânicos e biofertilizantes que potencializam a produção de bens agroecológicos aumentando a compensação econômica nesse setor (TJAM, 2020).

Outra forma de aproveitamento dos resíduos orgânicos é através do tratamento por meio de biodigestores anaeróbios. Essa solução tecnológica permite não só a geração de subprodutos como o adubo e biofertilizantes oriundos da compostagem, mas também permite o aproveitamento do gás metano emitido durante o processo de compostagem anaeróbia, o qual pode ser utilizado na produção de energia térmica e elétrica, aumentando ainda mais a capacidade de geração de renda para esse tipo de resíduo e reduzindo as emissões de GEE (ABRELPE, 2015).

Ainda no quesito de recuperação energética, o tratamento térmico é outra possibilidade para o tratamento dos RSU, os quais tem como vantagem as poucas condicionantes para recebimento de tipos de resíduos, podendo ser orgânicos ou secos, bastando possuir um teor baixo de umidade que não interfira na eficiência do processo. Nessa alternativa a redução do volume dos materiais ultrapassa os 80%. Hoje em dia, existem diferentes projetos em escala para esse tipo de tratamento, cada um com sua particularidade, e que podem gerar diferentes produtos além da geração de energia, com diferentes níveis de emissões de GEE (TISI, 2019).

Para todos esses tipos de tratamento citados, a regularidade de entrega e a qualidade dos materiais são muito importantes, uma vez que após separados os resíduos devem seguir cada qual destinados rumo aos respectivos processos capazes de utilizá-los como matéria-prima novamente (MDR, 2021).

Vale ressaltar que a disposição final também é uma das alternativas de DFAA, prevista na PNRS, no entanto devendo ser respeitada a ordem de prioridade estabelecida para gestão dos resíduos e observadas as normas operacionais específicas, para assim se evitar danos ambientais e econômicos, bem como riscos à saúde pública (BRASIL, 2010; MARCA AMBIENTAL, 2019). Desse modo, tudo o que não pode ser aproveitado por meio de algum tipo de tratamento, ocasionado muitas vezes pelo descarte não segregado dos RSU, deve seguir para a disposição final ambientalmente adequada, representada pelos aterros sanitários.

Visando o embasamento das discussões propostas na pesquisa, faz-se necessário a compreensão do atual cenário brasileiro da gestão e gerenciamento dos RSU. Para isso, serão explorados a seguir os principais sistemas de informações que disponibilizam dados sobre os serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos no Brasil, bem como, posteriormente, será apresentada a situação de algumas das principais etapas do gerenciamento de resíduos nas cinco regiões do país.

2.5.PANORAMA DO SETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

O Brasil é sabidamente um país que ainda tem muito a avançar no setor do saneamento. No caso da limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, muitos desafios precisam ser vencidos, principalmente no que tange as determinações regidas pela PNRS, em especial a observância das prioridades de ações na gestão integrada e o cumprimento das destinações finais ambientalmente adequadas (DEUS, BASTIELLE e SILVA, 2015; SOUZA, CHAVES e ALVIM, 2015; PRATES, PIMENTA e RIBEIRO, 2019; SILVA *et al.*, 2020; MATTOS *et al.*, 2022).

A PNRS possui como um de seus principais instrumentos o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), que tem como objetivo coletar dados sobre a gestão de resíduos sólidos dos municípios brasileiros. O SINIR é coordenado e articulado pelo Ministério do Meio Ambiente do Governo Federal, e a organização e manutenção são compartilhadas entre os governos municipais, estaduais e do Distrito Federal (BRASIL, 2010; SINIR, 2022).

Com isso, as principais fonte de dados do Brasil sobre limpeza urbana e manejo dos RSU são advindas da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública – ABRELPE e dos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). De acordo com Besen, Jacobi e Freitas (2017), a pesquisa sobre o manejo dos RSU publicada anualmente pelo SNIS

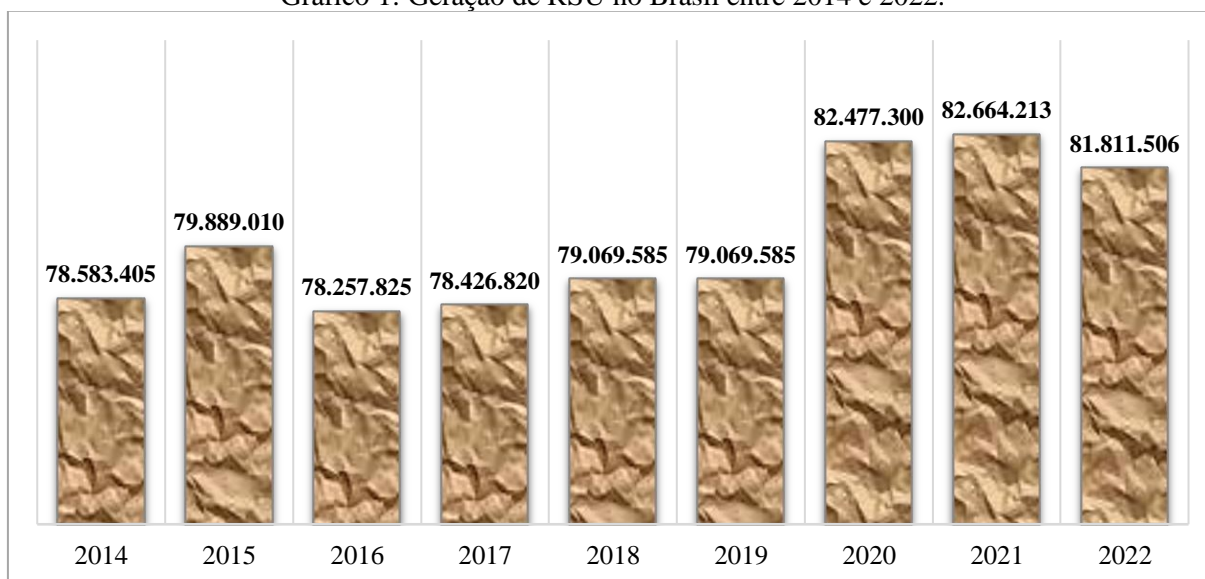
na forma de diagnósticos pode ser considerada como a mais importante compilação de informações do setor no país, sendo respondida pelos órgãos gestores dos serviços municipais: autarquia, departamento ou secretaria municipal, com dados de cunho declaratório.

No que diz respeito a ABRELPE, além de dados oficiais como os fornecidos pelo próprio SNIS, a entidade reúne também outras informações obtidas em referências técnicas e pesquisas diretas junto ao mercado do setor de resíduos sólidos, tentando trazer uma compilação mais abrangente e atualizada dos serviços para uma visão mais ampla e menos detalhada do serviço no âmbito nacional (ABRELPE, 2023).

Desse modo, nesse tópico, optou-se pela utilização dessas duas fontes para construção do atual cenário nacional dos RSU. Com a finalidade de entendimento da situação do manejo dos RSU no Brasil, serão abordados os dados mais recentemente publicados sobre as características de geração dos RSU, seus índices de coleta, bem como a conjuntura em que se encontra as etapas de destinação e disposição final no país.

Em relação a geração dos RSU, no “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022” da ABRELPE (2023), é estimado a geração de aproximadamente 81,81 milhões de toneladas de RSU, o que resultou em geração *per capita* de cerca de 380 kg/habitante/ano ou 1,04 kg/habitante/dia. Comparando-se com anos anteriores, a geração dos RSU se encontra ligeiramente acima da média, mas com tendência de queda em 2022, conforme ilustrado no Gráfico 1.

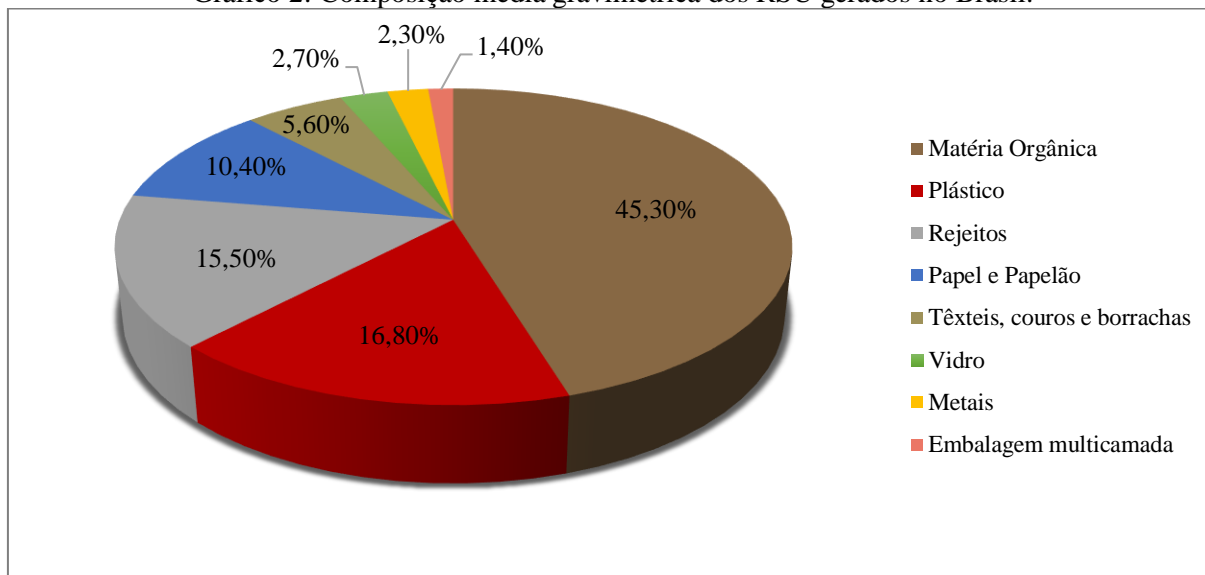
Gráfico 1: Geração de RSU no Brasil entre 2014 e 2022.



Fonte: ABRELPE (2023).

A caracterização desses resíduos é importante para determinar a melhor forma de gerenciamento. De todo esse montante gerado, a maior parte é composta por resíduos orgânicos, cerca de 45,30%, e o restante subdividindo-se em demais frações de resíduos secos e rejeitos, conforme ilustrado no Gráfico 2.

Gráfico 2: Composição média gravimétrica dos RSU gerados no Brasil.



Fonte: SINIR (2022).

É possível observar que, além do destaque à grande parcela orgânica, a composição dos RSU também apresenta grande variedade de materiais recicláveis, com destaque para os plásticos, papel, metais e vidros, que juntos representam mais de 32% da massa total gerada no Brasil (ABRELPE, 2023; SINIR, 2022).

Desse total, o valor médio da coleta de RSU no país foi de aproximadamente 93%, índice considerado alto em comparação aos demais serviços de saneamento, corroborado pelo fato de que nenhuma região do país apresentou cobertura de coleta inferior a 82%, destacando-se mais positivamente as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste com percentuais acima de 95% (ABRELPE, 2023).

Todavia, no tocante a coleta seletiva, apesar dos primeiros programas terem iniciado na década de 1980, ainda hoje são muito poucas as iniciativas desenvolvidas no Brasil. Silva et al. (2020) consideram que o baixo desempenho da coleta seletiva é resultado da falta de informação da população sobre o assunto, fazendo com que no ano de 2021, por exemplo, apenas 2,7% da parcela total dos resíduos fossem recolhidos por coleta seletiva, e apenas 1,7% tratados e recuperados (SNIS, 2022).

Em contrapartida, já é possível observar tendência positiva para a coleta seletiva no país. De acordo com a ABRELPE (2023), no ano de 2022, 75,1% das gestões municipais apresentaram alguma iniciativa de coleta seletiva, desde as mais pontuais até as mais abrangentes. Novamente, neste quesito, se destacaram as regiões Sul e Sudeste, com mais de 91% dos municípios com iniciativas para este tipo de coleta.

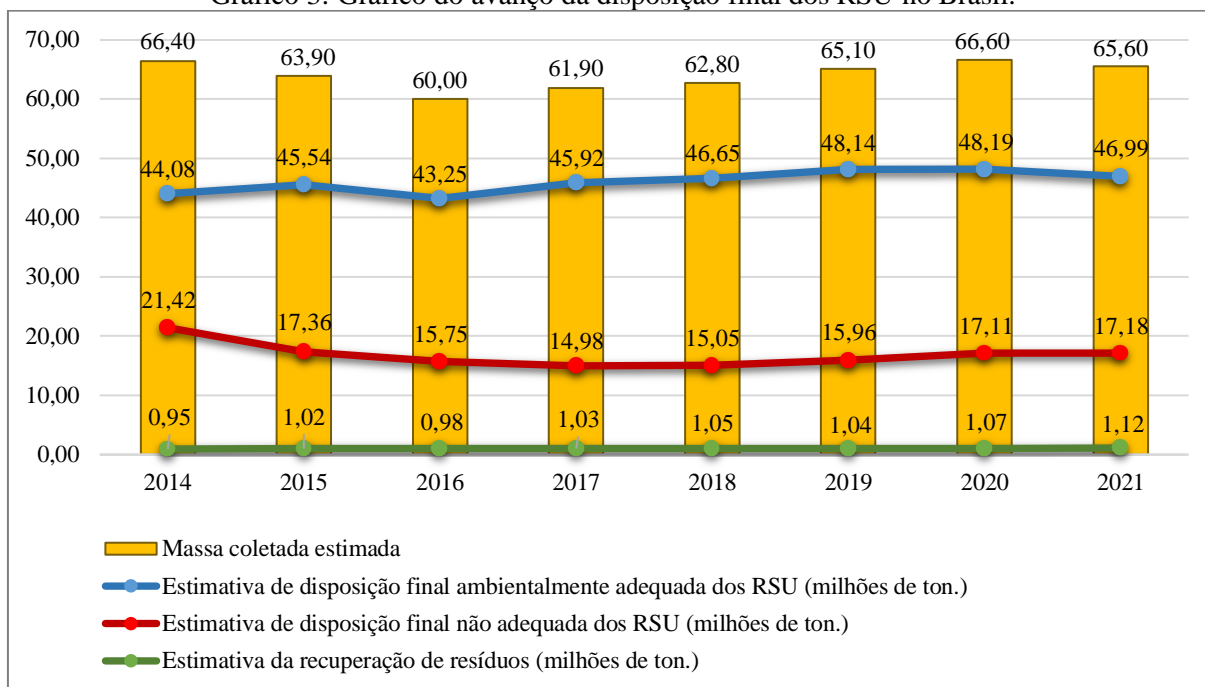
Contudo, apesar dos esforços representados pelas iniciativas de coleta seletiva para o tratamento e possível reaproveitamento dos resíduos gerados por todo o Brasil, esta atividade continua incipiente pois o país ainda encaminha a imensa maioria dos RSU diretamente para a disposição final, ignorando as possibilidades de reaproveitamento (PRATES, PIMENTA E RIBEIRO, 2019).

Além disso, do total de resíduos sólidos enviados à disposição final, boa parte ainda são direcionados a lixões e aterros controlados, ou seja, tipos de disposição inadequadas, de acordo com a PNRS (BRASIL, 2010; ABRELPE, 2023).

O cenário da destinação e disposição final dos RSU sem sombra de dúvidas é o mais preocupante em relação ao manejo dos resíduos sólidos, principalmente nos municípios das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Nestas regiões, menos da metade dos rejeitos são destinados para uma disposição final ambientalmente adequada, como prevê a PNRS, ocasionando em diversos problemas ambientais, sociais e econômicos (ABRELPE, 2023).

No Gráfico 3 é apresentado a quantidade de RSU destinados adequadamente, inadequadamente e recuperados ao longo dos sete anos após o término da primeira data limite estabelecida pela PNRS, quanto à adequação das disposições finais (ano de 2014). Ao analisar-se os índices da qualidade das disposições finais ao longo do tempo, observa-se uma tendência de melhora muito pequena para o período analisado.

Gráfico 3: Gráfico do avanço da disposição final dos RSU no Brasil.



Fonte: SNIS (2022)

Conforme é possível observar no gráfico, a quantia de RSU destinados de forma ambientalmente adequada avançou ligeiramente alcançando uma evolução percentual de apenas 1,5% quando comparado do primeiro ao último ano de análise, o equivalente a aproximadamente três milhões de toneladas de resíduos. No tocante a disposição final inadequada, houve redução de pouco mais de 4 milhões de toneladas, enquanto a recuperação dos resíduos cresceu quase que de modo insignificante.

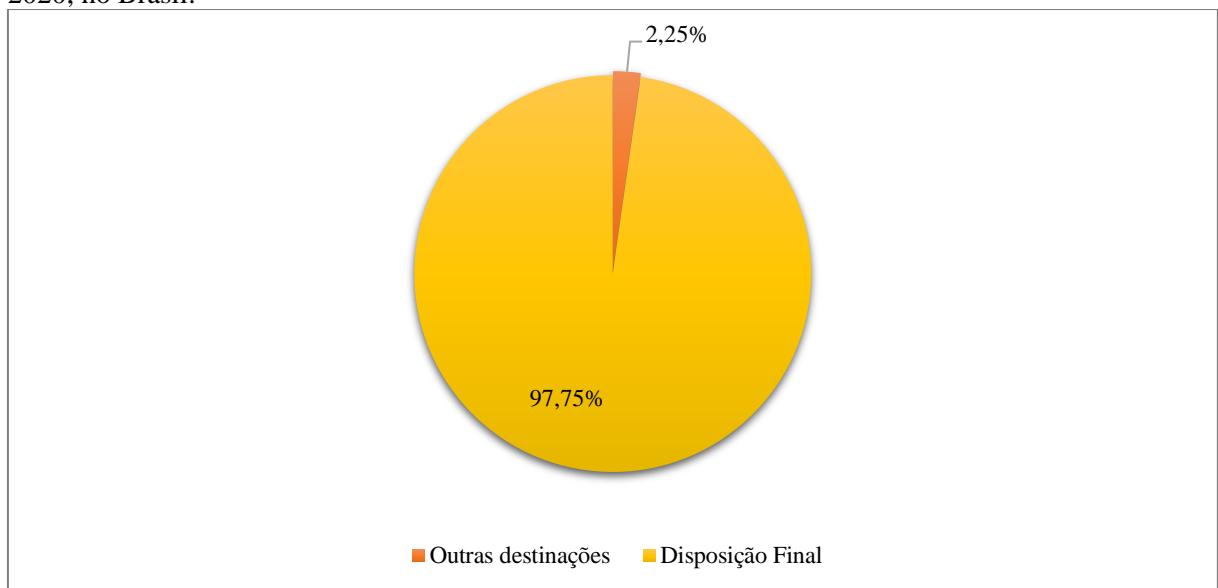
Para Silva et al. (2020) um dos motivos que leva ao descumprimento da PNRS pelos municípios é a falta de recursos para a implantação e gerenciamento adequado dos aterros sanitários. Assim, a capacidade financeira e operacional dos municípios acaba tendo papel decisivo para implantação das destinações e disposições finais, em que o tamanho da população a ser atendida torna-se um indicador importante para capacidade de decisão (MDR, 2021).

No tocante a falta de recursos, Szigethy e Antenor (2020) chamam atenção para a grande necessidade do investimento privado, no intuito de que através de uma coalizão com o poder público, seja possível alcançar o montante financeiro necessário para a universalização das destinações e disposições finais ambientalmente adequadas. Ainda segundo os mesmos autores, a PNRS prevê incentivos fiscais Federais para o investimento em soluções de tratamento e aproveitamento dos RSU, considerando-os como um novo mercado emergente, onde o resíduo reutilizável e reciclável torna-se um bem econômico, de valor social e gerador de renda.

2.6.RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

No setor de resíduos sólidos do Brasil, as emissões de GEE estão relacionadas principalmente às emissões de CH₄ decorrentes do processo de decomposição dos resíduos orgânicos nos aterros e lixões. Essa situação pode ser constatada ao se observar os dados disponibilizados pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), conforme detalhado no Gráfico 4.

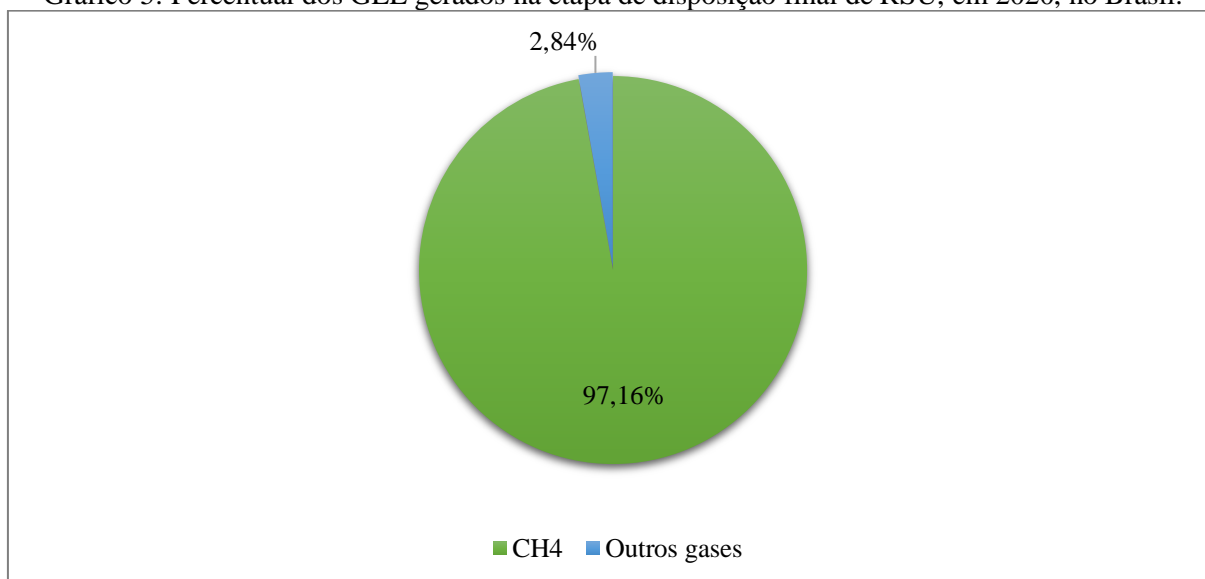
Gráfico 4: Comparação estimada das emissões de GEE em disposição final e outras destinações, em 2020, no Brasil.



Fonte: MCTI (2022).

Já no tocante ao tipo de gás emitido, o SIRENE apontou que, estimativamente, o CH₄ foi intensamente o mais significativo em 2020, equivalendo a mais de 97% das emissões de GEE nas disposições finais, conforme ilustrado no Gráfico 5.

Gráfico 5: Percentual dos GEE gerados na etapa de disposição final de RSU, em 2020, no Brasil.



Fonte: MCTI (2022).

Portanto, constata-se com o observado nos Gráfico 4 e 4 que, no Brasil, o maior problema relacionado a emissão de GEE na destinação dos RSU tem sido a liberação do metano oriundo da decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos na disposição final. Todavia, vale ressaltar que GEE também são emitidos durante a etapa de transporte e outros tratamentos dos resíduos, principalmente em relação ao consumo de combustíveis fósseis, como o diesel.

No entanto, é importante ressaltar que existem alternativas para a redução das emissões de GEE no setor de resíduos sólidos, como a adoção de práticas de coleta seletiva, reciclagem e compostagem, que podem reduzir significativamente a quantidade de resíduos destinados aos aterros e, conseqüentemente, as emissões de metano. Além disso, a utilização de tecnologias de tratamento de resíduos que permitam a recuperação de energia, como a geração de biogás a partir da decomposição dos resíduos, pode contribuir para a redução das emissões de CO₂.

Contudo, na contramão das tendências mundiais, as gestões municipais brasileiras ainda priorizam a disposição final, negligenciando o tratamento prévio, previsto pela PNRS, preocupando-se apenas em dispor os RSU de maneira ambientalmente adequada (PRATES, PIMENTA e RIBEIRO, 2019). Para Silva *et al.* (2020), o fato de o Brasil ser um país em desenvolvimento e rico em recursos naturais faz com que ainda possua muitas áreas disponíveis para a disposição final, o que favorece esta atividade e, conseqüentemente, as emissões de GEE. Ademais, Fernández-González *et al.* (2017) também destacam que os baixos custos do aterramento dos resíduos em comparação com outras alternativas desincentivam ações para a aplicação de novos tipos de tratamento.

2.6.1. Tendências para a Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos

A preocupação ambiental com a destinação inadequada ocorre também pela grande emissão de GEE nas diferentes etapas do sistema de RSU. Cada vez mais, os gestores públicos são cobrados para o encerramento dos lixões e, com isso, para o emprego de alternativas de aproveitamento/recuperação dos RSU. Isso faz com que as atenções dos atores envolvidos passem a investigar as soluções praticadas em outros locais.

A gestão dos resíduos sólidos no mundo vem mudando radicalmente, a partir do momento em que as discussões sobre o assunto têm concluído que o foco no envio dos RSU às disposições finais, contribuem significativamente para as emissões de GEE (BRASIL, 2019a). Nessa perspectiva, a tendência mundial tem apontado para o grau com que as soluções de destinação final estão adequadas aos ODS da ONU.

Na União Europeia (UE), por exemplo, a construção de novos aterros sanitários está limitada por conta da necessidade de ocupação de grandes áreas e quanto as suas contribuições ao aquecimento global (TISI, 2019). Nesse sentido, o papel da destinação final tem estado cada vez mais atrelado aos impactos ambientais, em especial àqueles relacionados às mudanças climáticas (BANCO MUNDIAL, 2018).

Esse cenário tem estimulado a nível mundial estudos que buscam investigar os métodos de tratamento dos RSU e suas associações que mais se adequam ao conceito da sustentabilidade. Desse modo, quase que como um consenso, as pesquisas mais recentes têm mostrado que o uso dos aterros sanitários para disposição de RSU não tem obtido vantagens frente aos demais métodos de tratamento. Na China, constatou-se que a incineração tem apresentado melhor desempenho ambiental do que os aterros sanitários, por conta principalmente da recuperação de energia (MATTOS et al., 2022).

Da mesma forma, já no Brasil, outros estudos também obtiveram para a disposição final o pior desempenho em termos de impactos ambientais. Nesse cenário, estudos que utilizaram métodos de incineração, tratamento mecânico-biológico e coprocessamento de resíduos mostraram-se promissores frente aos aterros sanitários, em relação ao nível de impactos ambientais, todavia fazendo-se necessária uma melhor avaliação da viabilidade técnica e financeira dessas tecnologias para o contexto brasileiro, o qual enfrenta ainda barreiras econômicas, políticas e sociais (TISI., 2019).

Quanto as questões ambientais que têm influenciado a redução da destinação exclusiva dos RSU à disposição final, estão: o risco de contaminação do solo, da água e do ar a longo prazo; a emissão de GEE associados às técnicas de aterramento dos resíduos sólidos, além das questões sociais quanto a ocupação de áreas próximas a comunidades e também a questão da ocupação de grandes áreas para o desenvolvimento dessas atividades (BRASIL, 2019a).

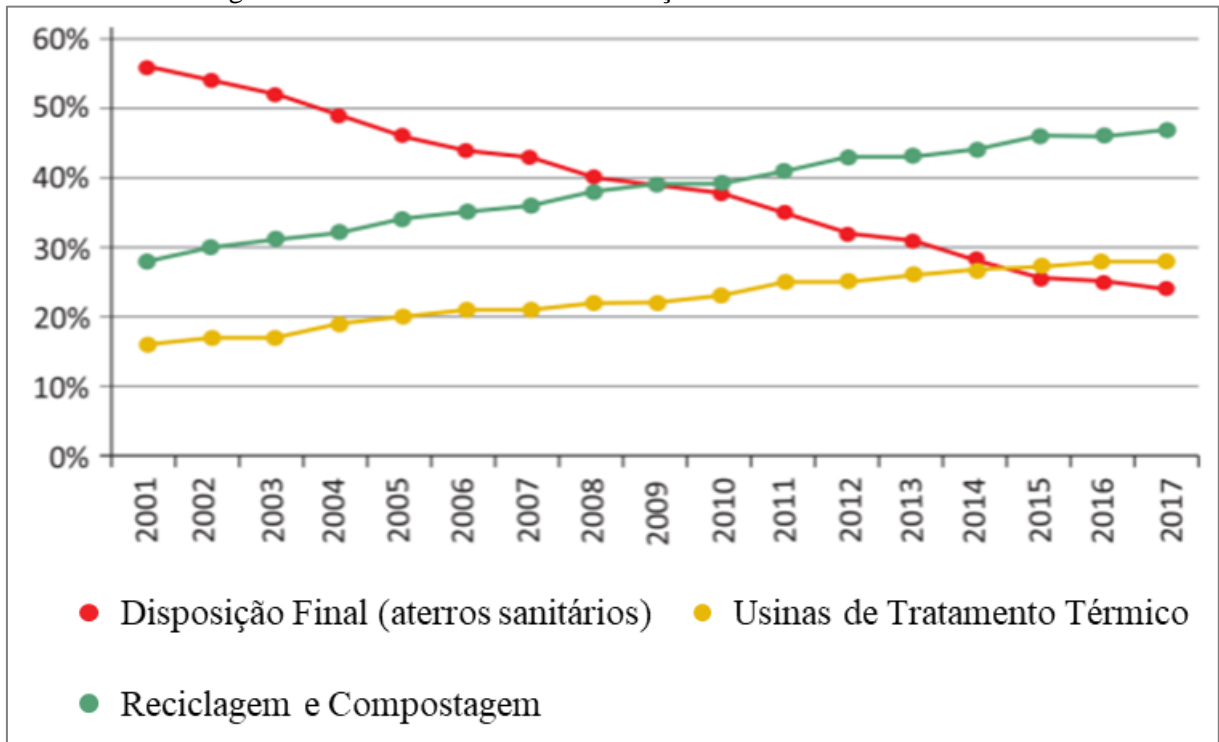
Não obstante, do ponto de vista técnico e econômico, a utilização das disposições finais como principal método de destinação final também tem se tornado obsoleto com o avanço tecnológico dos últimos anos. É nesse sentido que Mattos *et al.* (2022) reforçam que os estudos envolvendo resíduos sólidos tem tido cada vez mais o intuito de promover ações para implementação de métodos alternativos que visem a valorização da fração orgânica, a melhoria da eficiência nas etapas do gerenciamento e a redução dos impactos ambientais.

Souza, Chaves e Alvim (2015) trazem como exemplo, o estudo de caso sobre a evolução da destinação final dos RSU nos Estados Unidos. De acordo com os autores, esse país simplesmente descartava seus resíduos sólidos por meio de incineração e disposição em aterros até a década de 1990, na qual foram estabelecidos incentivos legais para a produção de energia a partir do tratamento térmico dos resíduos. Desta data em diante, a reciclagem e a produção de energia passaram a fazer parte da gestão dos RSU, chegando em 2005 a quase 50% dos resíduos reaproveitados, seja com a reciclagem, compostagem e aproveitamento de energia.

Já na Alemanha, desde 2005 é proibido o envio de resíduos sólidos domiciliares aos aterros sanitários sem antes passarem por tratamento prévio. Ademais, nesse país, em 2012, foi aprovada a lei de incentivo a economia circular, fazendo com que 13% dos insumos adquiridos pelas indústrias sejam originados de materiais recicláveis, além de propiciar a inserção de 250 mil trabalhadores no mercado de trabalho (SZIGETHY e ANTENOR, 2020).

Em 2015, aproximadamente 90 milhões de toneladas de rejeitos foram tratados em 495 plantas de Waste-to-Energy (WtE) na Europa e 255 milhões toneladas em 2.200 plantas no mundo (Eurostat, 2016). O termo WtE pode ser definido como “a geração de energia elétrica a partir da biodigestão ou tratamento térmico de resíduos, sejam eles orgânicos ou inorgânicos, através do uso de diversas tecnologias disponíveis [...]” (TISI, 2019, p. XI). As tecnologias de WtE tem crescido mundo afora devido ao aumento de sua aceitação ambiental e por conta do seu custo-benefício e capacidade de tratamento de resíduos. No Figura 3 é apresentada a dinâmica da tendência na UE para o tratamento de resíduos, por tipo.

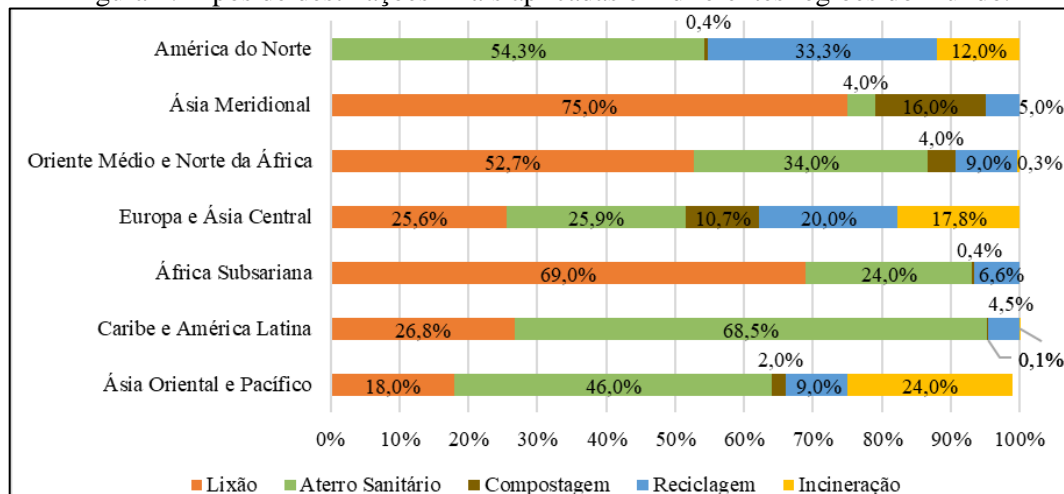
Figura 3: Tendências da UE na destinação final dos resíduos sólidos.



Fonte: TISI (2019).

Desse modo, conforme exposto na Figura 3, a disposição final em aterros sanitários tem perdido espaço na UE entre as demais alternativas de destinação final, inseridas nas categorias de “Reciclagem e Compostagem” e “Usinas de Tratamento Térmico”. Adicionalmente, de acordo com dados do Banco Mundial (2018), é possível observar que não só a UE tem as tecnologias de destinação final voltadas para a reciclagem, compostagem e incineração, como também outras regiões do mundo, principalmente as mais desenvolvidas, como a América do Norte, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4: Tipos de destinações finais aplicadas em diferentes regiões do mundo.



Fonte: Banco Mundial (2019).

Portanto, a compostagem, reciclagem e incineração representam aproximadamente 48,5% dos tratamentos aplicados aos resíduos sólidos no grupo contendo os países da Europa e Ásia Central, 46% na América do Norte e 35% na Ásia Oriental e Pacífico. Outro dado que chama atenção é que os lixões ainda representam parcela significativa das destinações finais ao redor do mundo, em especial na Ásia Meridional (75%), África Subsaariana (69%) e Oriente Médio e Norte da África 52,7%.

Já no agrupamento em que se situa o Brasil (América Latina e Caribe), a disposição final em aterros sanitários é muito mais consolidada que as demais alternativas analisadas, representando o destino final de 68,5% dos rejeitos desse continente.

Nesse contexto mundial é que precisam ser observadas as oportunidades para redução das emissões de GEE no Brasil, naturalmente, avaliando a aplicabilidade em relação as características e condições de cada local.

2.6.2. Oportunidades para Redução dos Gases de Efeito Estufa no Brasil

O sistema linear de produção, que ainda é majoritário ao redor do mundo, impossibilita um crescimento permanente e duradouro, dada a finitude dos recursos naturais. Silva *et al.* (2020) complementam que esse sistema, ao permitir um grande padrão de consumo, também promove a geração exacerbada de resíduos sólidos, conseqüentemente, aumentando as pressões sobre a qualidade do meio ambiente e a conservação dos recursos naturais. Assim sendo, questões de cunho ambiental, social e econômico têm sido decisivas para a implementação de novas formas de destinação final dos RSU.

A referida limitação dos recursos naturais, faz com que os materiais extraídos diretamente da natureza tendem a se valorizar economicamente, reforçando o mercado de recursos secundários, ou seja, oriundo do aproveitamento dos resíduos sólidos (BRASIL, 2019a). Logo, quando não utilizados, os RSU nada mais são que potenciais contaminantes ao meio ambiente, entretanto, quando bem aproveitados, podem gerar grandes benefícios ambientais e econômicos (ODUM, 1987 apud. COSTA, 2011).

Não obstante, atualmente, projetos que visam tratar e aproveitar os RSU têm se destacado no mercado internacional, pois podem gerar insumos e matéria-prima para diversos setores industriais, o que torna essa atividade economicamente atrativa devido à valorização dos recursos naturais primários (BRASIL, 2019a). É importante destacar que a coleta seletiva é a

principal atividade do gerenciamento dos RSU que permite um aproveitamento mais eficiente, tornando-se fundamental para que se alcance uma maior escala de aproveitamento econômico.

Assim, tendo em vista a crescente importância ambiental do aproveitamento econômico dos resíduos sólidos, esses materiais distanciam-se ainda mais do conceito de lixo, tornando-se recursos com valor agregado e com potencial de se integrar em processos produtivos, os quais acabam contribuindo diretamente no balanço das emissões de GEE.

O aproveitamento dos RSU pode ocorrer de diversas formas, dependendo do tipo e das características dos mesmos, podendo ser através de um valor natural agregado ou da inserção do resíduo em um processo para obtenção de um novo produto. Todavia, a eficiência desse aproveitamento depende de alguns fatores importantes, como as capacidades técnica e econômica dos municípios, vontade política e da governança pública, bem como a contribuição dos geradores de resíduos, representados pela indústria, comércio e população no cumprimento da responsabilidade compartilhada (SILVA *et al.*, 2020; MDR, 2021).

“A variedade de sistemas de valorização possibilita o uso do resíduo como insumo para diversas atividades produtivas, dispondo somente o rejeito nos aterros sanitários” (BRASIL, 2019a). Portanto, a análise dos meios para o aproveitamento econômico dos RSU deve levar em conta, fundamentalmente, as características dos resíduos gerados e as tecnologias disponíveis para o tratamento específico desses, além das capacidades estruturantes do município em implementá-los e das formas de subprodutos e ganhos econômicos que se almejam alcançar.

Conforme já comentado anteriormente, muitas das matérias-primas importantes para o mercado têm se valorizado economicamente cada vez mais, por conta da finitude desses recursos, bem como de outras externalidades ambientais e sociais que provocam (BRASIL, 2019a). Essa tendência fomenta cada vez mais a reutilização de materiais descartados para reinserção no mercado e na indústria, uma vez que isto reduz o uso de certas matérias-primas tanto exauríveis, quanto renováveis, reduzindo, em alguns casos, o custo de produção (SOUZA, CHAVES E ALVIM, 2015).

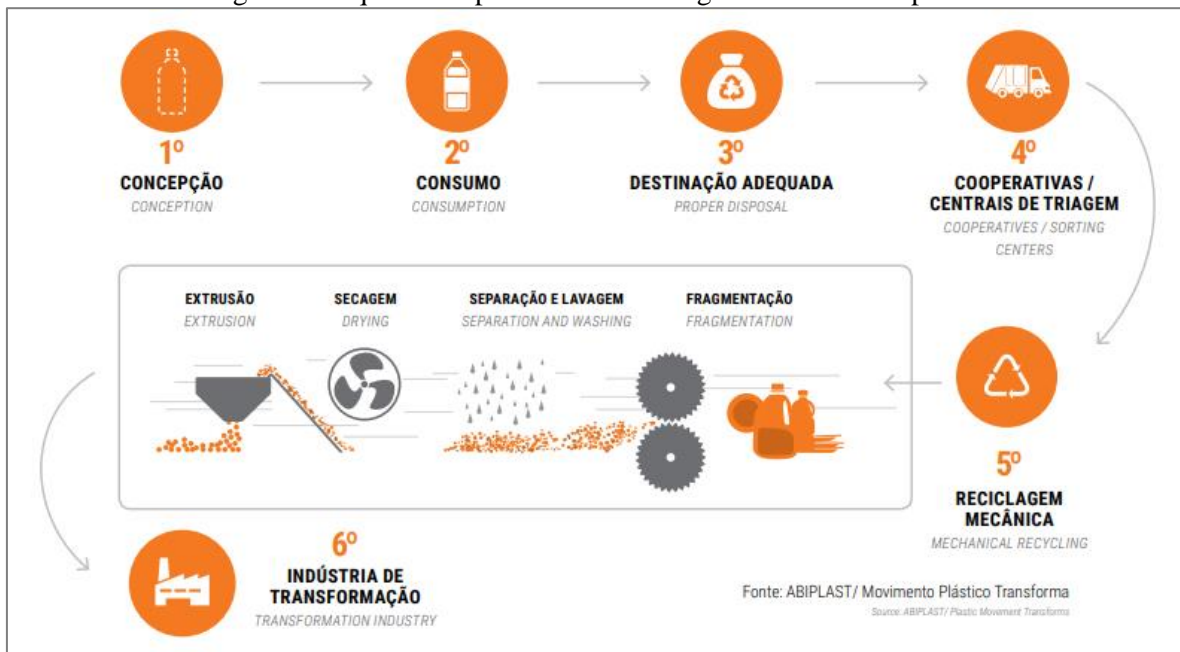
Dentre os métodos mais conhecidos de aproveitamento dos RSU para reinserção nos processos produtivos está a reciclagem, a qual é conceituada pela PNRS como:

processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à

transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa (BRASIL, 2010, Art. 3).

Não obstante, esse método visa absorver os resíduos sólidos recuperados como matéria prima nos ciclos produtivos, substituindo os recursos primários extraídos da natureza. Os resíduos secos são os principais alvos da reciclagem, oriundos das indústrias petroquímicas (plásticos), metalmecânicas (metal), de minerais não metálicos (vidro), além do papel e celulose (MDR, 2021). A Figura 5 apresenta um resumo esquemático do processo de reciclagem dos materiais plásticos, o segundo tipo de resíduo mais recuperado no Brasil (ABRELPE, 2023).

Figura 5: Esquema do processo da reciclagem mecânica do plástico.



Fonte: ABIPLAST (2017).

Assim como no exemplo do plástico ilustrado na Figura 5, os resíduos secos coletados seletivamente podem ser encaminhados para processos intermediários, tais como indústrias recicladoras (conforme ilustrado na Figura 5), aparistas e sucateiros. Estes compram ou recebem de catadores independentes e/ou organizados os materiais a serem reciclados. Os materiais triados dessa forma ganham escala de produção, melhoram a qualidade da separação e promovem a regularidade de entrega dos resíduos às indústrias da transformação, responsáveis pela reciclagem (MDR, 2021).

A prática da utilização de RSU como matéria-prima para diversos segmentos industriais e comerciais não é recente, e já ocorre a muito tempo e em grande escala em diversos países do mundo, em especial, os países mais desenvolvidos (FOSTER, ROBERTO e IGARI, 2016; TISI,

2019). Todavia, para que a reciclagem alcance um ganho de escala e torne-se eficiente, a coleta seletiva dos resíduos sólidos, que é fundamental, acaba, por vezes sendo desestimulada devido ao maior custo inicial para implantação, que pode possuir um valor até quatro vezes maior, quando comparado à coleta sem segregação, dado aos gastos mais elevados com logística, pessoal, caminhões adaptados e recipientes de coleta (ABRELPE, 2015).

Para Souza, Chaves e Alvim (2015), a implementação da coleta seletiva não deve ser analisada somente sob a ótica econômica, uma vez que as vantagens associadas a esse método como a geração de emprego e renda, economia de recursos naturais, dentre eles água e energia, além dos benefícios à saúde pública, superam as diferenças de valor, quando observada a gestão a longo prazo.

De modo complementar, Mattos *et al.* (2022) afirmam que a coleta seletiva tem uma tendência de diminuição do custo ao longo do tempo de sua implementação, por conta do aumento gradual da quantidade de resíduos separados na fonte e submetidos à tratamentos, diferentemente da coleta indiferenciada, que neste cenário, tende apenas a aumentar os custos.

É nesse sentido que Motta e Chermant (1996 *apud.* SOUZA, CHAVES e ALVIM, 2015) lembram que a comprovação da eficiência econômica e ambiental da reciclagem é fundamental para que seja objeto de incentivo por políticas governamentais. Entretanto, quanto às políticas de incentivo, assim como estabelece o art. 31 da PNRS, Foster, Roberto e Igari (2016) apontam que a reciclagem deve ser planejada desde a confecção dos produtos, sendo projetados de modo a garantir a qualidade necessária para tornar a reutilização e a reciclagem ainda mais eficientes.

A lógica da reciclagem muitas vezes é confundida com o conceito de logística reversa, no entanto, possuem sentidos e objetivos diferentes. Desse modo, a logística reversa não pode ser considerada uma forma de reciclagem em si, mas é uma estratégia que pode contribuir para a reciclagem de resíduos, que de acordo com o art. 3º da PNRS é conceituada como:

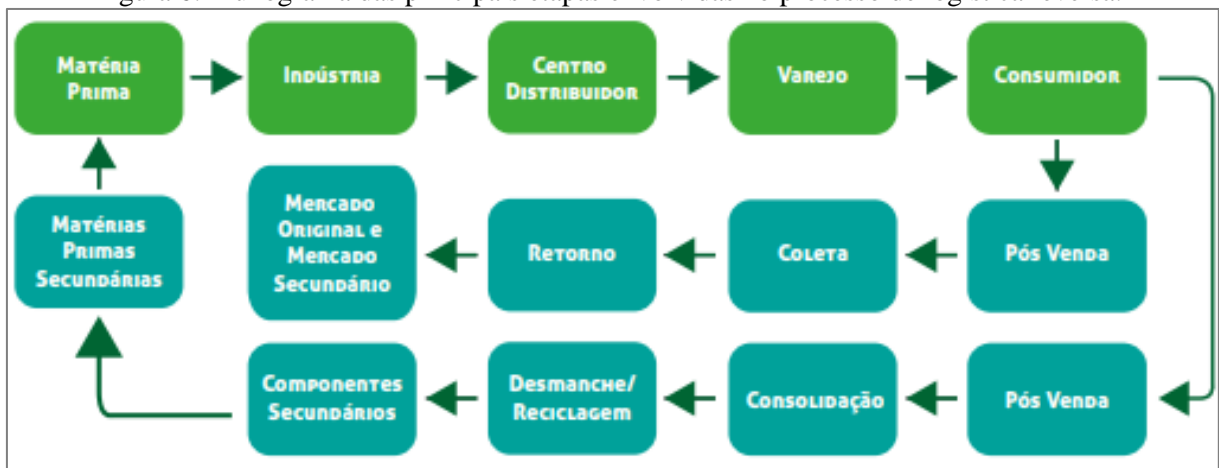
[...] um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Assim, a logística reversa se refere ao conjunto de ações que visam a coleta e a destinação adequada de produtos e embalagens pós-consumo, incluindo a devolução desses materiais aos seus ciclos produtivos ou a outros processos de reciclagem. Em outras palavras, a logística reversa nada mais é que um instrumento de desenvolvimento econômico e social que consiste

no retorno de subprodutos descartados oriundos do consumo humano ao setor de origem, possibilitando o aproveitamento das características que lhe imputam algum valor agregado, fazendo valer a responsabilidade compartilhada pela geração, prevista na PNRS (BRASIL, 2010; ABRELPE, 2015).

A seguir, na Figura 6, é ilustrado um fluxograma com as principais etapas envolvidas na logística reversa.

Figura 6: Fluxograma das principais etapas envolvidas no processo de logística reversa.



Fonte: ABRELPE (2015).

Logo, a logística reversa permite implementação das práticas de reutilização, reciclagem e recuperação pelas indústrias, visando não só o cumprimento das determinações legais, como também o alcance de melhores desempenhos econômicos e ambientais nas empresas, colocando o produtor (indústria e intermediários) como responsáveis pelos resíduos, juntamente com seus consumidores (FOSTER, ROBERTO E IGARI, 2016).

Contudo, apesar da contribuição da reciclagem e da logística reversa na destinação correta dos RSU, somente essas ações ainda não são capazes de tratar todo o volume gerado em sua totalidade, dada a fração muitas vezes predominante dos resíduos úmidos ou orgânicos. Para esses, atualmente existem tecnologias específicas que buscam reduzir seu volume através do aproveitamento das características biológicas e minerais intrínsecas a esses materiais (SOUTO E POVINELLI, 2013).

Como já mencionado anteriormente, os RSU possuem características únicas que podem ser reaproveitadas em diversos segmentos produtivos. Os resíduos orgânicos, por sua vez, não fogem a regra e também podem ter propriedades reaproveitadas por meio de processos biológicos. O tratamento desses resíduos ocorre por meio de sistemas que promovem a

decomposição natural, também chamada de compostagem, transformando o material orgânico em diferentes subprodutos com potencial agrícola, como por exemplo, o adubo orgânico (MDR, 2021).

A compostagem é considerada uma DFAA e a amplitude de seus benefícios vão depender da escala de implementação desta técnica. De acordo com Bosco (2017), em escala local, o processo resulta em um composto final rico em matéria orgânica, com principal uso como adubo orgânico e fertilizante para o plantio de diversas espécies vegetais. Já em âmbito municipal, além da geração dos subprodutos agrícolas, esse método ajuda a prolongar a vida útil da disposição final, uma vez que a matéria orgânica constitui uma fração significativa dos RSU brasileiros (Gráfico 2), a qual deixaria de ser destinada ao aterro sanitário.

Ademais, a compostagem também apresenta como benefício em grande escala a redução das emissões de GEE pelas disposições finais, já que o CO₂ evoluído do processo aeróbio de compostagem é bem menos poluente que o metano presente no biogás lançado pelos processos convencionais de aterros sanitários (BOSCO, 2017).

De acordo com Foster, Roberto e Igari (2016), os processos biológicos de tratamento dos resíduos orgânicos respeitam o ciclo natural de nutrientes, citando como exemplo a reinserção dos resíduos orgânicos oriundos das atividades agrossilvopastoris no processo de produção agrícola, por meio da transformação dos resíduos em biofertilizantes que voltam a ser consumidos pelas mesmas atividades que os geraram. Sobre esse ponto, Bosco (2017) aponta que a análise da demanda pelos subprodutos dos processos biológicos deve ser fator fundamental para a decisão de implementá-los.

Todavia, assim como para os materiais inorgânicos recicláveis, a eficiência dos processos biológicos de tratamento dos resíduos orgânicos, como a compostagem, depende do bom desempenho da coleta seletiva, o que traz alguns desafios, principalmente nos países em desenvolvimento, onde esta modalidade de coleta ainda é tipicamente baixa. Para esses casos, Mattos *et al.* (2022) apontam que Tratamentos Mecânico-Biológicos (TMBs) seriam mais recomendados, uma vez que realizam a separação dos resíduos recicláveis a partir de resíduos indiferenciados, apesar de serem menos vantajosos economicamente que outras opções, a exemplo da incineração que consome todo tipo de resíduo.

Os TMBs são capazes de aproveitar resíduos que não foram segregados anteriormente através dos processos intrínsecos a este método que utiliza, esteiras magnéticas e peneiras para

triagem mecânica dos resíduos misturados. Desse modo, boa parte dos resíduos com valor agregado consegue ser recuperado e destinado a um processo subsequente de aproveitamento (AMBIENTAL PIRACICABA, 2017).

Contudo, conforme já destacado, tanto na fração orgânica quanto na fração seca, existem os resíduos que não podem ser aproveitados por processos biológicos ou mecânicos, dada a sua qualidade ou alguma característica que impossibilite o reaproveitamento por meio dos métodos vistos até aqui. Para esses, destaca-se ainda a possibilidade da recuperação energética, antes de seu encaminhamento ao aterro sanitário (ABRELPE, 2015).

O aproveitamento dos RSU por meio da recuperação energética se traduz em proteção ambiental e climática, reduzindo de modo significativo as emissões de GEE ao promover a substituição da matéria-prima fóssil na geração de energia térmica pelos resíduos sólidos. Ademais, as emissões também são reduzidas indiretamente com o tratamento e desvio de massa orgânica do aterro, evitando também a contaminação do solo e da água (BRASIL, 2019a).

Dentre as formas de recuperação energética dos resíduos mais difundidas, estão: o tratamento térmico, que resulta da destruição dos resíduos por meio da sua submissão a altas temperaturas e a digestão anaeróbia que produz biologicamente grande quantidade de gás com alto poder calorífico, capaz de alimentar usinas como combustível para produção de energia (SOUTO E POVINELLI, 2013).

Os materiais constituintes dos RSU, dependendo de certas características intrínsecas a sua natureza, podem ser interessantes para produção de energia através da sua combustão. Dentre esses aspectos destacam-se o poder calorífico dos materiais e o teor de umidade. O poder calorífico representa o grau com que o material contribuirá com a geração de calor durante a combustão, enquanto o teor de umidade deverá ser o menor possível para facilitar a queima e promover maior eficiência ao processo (TISI, 2019).

Assim, a recuperação energética refere-se à produção de calor, em outras palavras, a geração de energia térmica por meio da queima dos resíduos. A energia térmica produzida pode ser utilizada diretamente em outros processos que consumam essa tipologia energética, bem como pode ser transformada em energia elétrica convencional, prática que nos últimos anos tem sido largamente utilizada, tanto pelo evidente avanço no potencial de geração, quanto em relação a geração de subprodutos (BRASIL, 2019a).

Atualmente existem diversas tecnologias, algumas mais consolidadas do que outras, que permitem esse tipo de aproveitamento energético, dentre as tecnologias citadas, a incineração, gaseificação e pirólise consistem primordialmente na geração de energia térmica, e secundariamente, na disponibilização de alguns subprodutos com alto poder de combustão que também podem resultar em aproveitamento econômico por meio da geração energética.

Quadro 6: Resumo dos principais processos de geração de energia térmica existentes

Processo	Potencial de geração de energia	Potencial de emissão de GEE	Subprodutos gerados
Incineração	Alta	Alta	Cinzas e gases
Gaseificação	Alta	Baixa	Síntese de gases
Pirólise	Média	Média	Bio-óleo e gases

Fonte: PNUMA (2023).

De acordo com o quando acima é possível afirmar que a incineração é um processo térmico que queima o resíduo a altas temperaturas, gerando energia na forma de calor. É um processo com alto potencial de geração de energia, mas também emite uma quantidade significativa de CO₂e e outros gases tóxicos. Os subprodutos gerados são cinzas e gases.

A gaseificação é um processo que converte o resíduo em um gás combustível, que pode ser utilizado para gerar energia. Tem alto potencial de geração de energia, mas emite menos CO₂e e outros gases tóxicos do que a incineração. Os subprodutos gerados são síntese de gases.

A pirólise é um processo térmico que decompõe o resíduo na ausência de oxigênio, gerando um bio-óleo, que pode ser utilizado como combustível, e gases. Tem potencial médio de geração de energia e emite menos CO₂e e outros gases tóxicos do que a incineração. Os subprodutos gerados são bio-óleo e gases.

A digestão anaeróbia é um processo mecânico-biológico, no qual se manipulam as condições ideais para ocorrência da decomposição da matéria orgânica em um reator estanque chamado de biodigestor anaeróbio. Nesse sentido, os microrganismos presentes naturalmente e, por vezes, incrementados no processo, são induzidos a degradar os componentes orgânicos, produzindo uma mistura de diversos gases conhecida como biogás. Essa mistura é composta entre 50 a 75% de CH₄, altamente inflamável e passível de conversão em energia térmica (MDR, 2021).

No biodigestor anaeróbio, o fornecimento das condições ideais, dentre elas de temperatura, nutrientes e umidade, permitem que o desenvolvimento dos microrganismos que

consomem a matéria orgânica produza como resultados não só o biogás, mas também um material digerido que pode ser utilizado como fertilizante orgânico (ABRELPE, 2015).

Vale ressaltar que a eficiência operacional e financeira dos biodigestores anaeróbios em larga escala depende da segregação prévia dos RSU, de modo a assegurar a alimentação regular das frações orgânicas (SOUTO E POVINELLI, 2013). Logo, essa operação tende a ser mais difícil nos países em desenvolvimento, uma vez que estes não costumam realizar a segregação adequada dos resíduos.

Outra forma de digestão anaeróbia comumente utilizada é o processo chamado de gás de aterro, no qual o biogás é produzido nas células de aterros sanitários. Uma vez que a decomposição da matéria orgânica também ocorre em meio aos rejeitos, a digestão anaeróbia ocorre dentro das células e produzem os gases que são capturados pelo sistema de drenagem e encaminhados ao tratamento. Nesse caso, as células do aterro passam a ser vistas como grandes digestores anaeróbios, em que a biodegradação permite a redução do volume aterrado, otimizando áreas e reduzindo custos operacionais, além do aproveitamento energético do biogás (ReCESA, 2008 apud. MDR, 2021).

Um dos itens de controle ambiental obrigatório em aterros sanitários configura-se como a implantação e operação de sistemas de captação e drenagem dos gases gerados pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente nos RSU (ABNT, 1992). No Brasil, usualmente, esses gases são desperdiçados nos aterros sanitários com a sua simples queima, para conversão da parcela composta de metano (mais poluente) em CO₂ (menos poluente).

Uma unidade que utiliza o biogás como fonte renovável para geração de energia compreende, inicialmente, em linhas gerais, a implantação e operação de sistemas de captação e drenagem do gás deste o aterro sanitário até a planta processadora. Após passagem por processos que promovam redução de temperatura, compressão, limpeza e remoção de contaminantes (basicamente gases que podem causar danos a equipamentos mecânicos, como H₂S), o biogás é encaminhado para conjuntos moto-geradores que realizam a conversão da energia química presente no gás em mecânica, ativando um gerador que produz a energia elétrica (MARCA AMBIENTAL, 2019).

Foster, Roberto e Igari (2016) chamam a atenção para maior ocorrência de experiências envolvendo as indústrias siderúrgica e cimenteira, na utilização de resíduos de outros processos devido à alta demanda de calor nessas atividades. A utilização dos resíduos nesses casos é

chamada de coprocessamento e tem sido amplamente utilizado no Brasil. De acordo com a ABCP (2022), foram coprocessados no país 2.408.000 toneladas de resíduos sólidos no ano de 2021, quantidade esta que evitou emissão de 2.281.307 toneladas de CO₂ na atmosfera.

Ainda de acordo com a ABCP (2022), atualmente 26% do combustível utilizado na produção cimenteira são provenientes de resíduos que seriam descartados em aterros ou locais inadequados, dos quais se destacam carvão vegetal, blends (resíduos classe I), pneus, solos contaminados, SPL, areia de fundição, cavaco de madeira e substitutos do minério de ferro.

Outra oportunidade de mitigação das emissões de GEE que vem ganhando destaque são os créditos de carbono. A ideia surgiu como resultado do Protocolo de Kyoto, um acordo internacional firmado em 1997 com o objetivo de reduzir as emissões de GEE em todo o mundo. O mecanismo de crédito de carbono foi criado para incentivar empresas, países e outras organizações a reduzirem suas emissões de gases do efeito estufa, permitindo que vendam créditos de carbono para aqueles que excedem suas metas de emissões (IPAM, 2023).

Basicamente, uma empresa ou organização que reduz suas emissões de GEE abaixo de um limite pré-estabelecido pode solicitar créditos de carbono. Esses créditos podem então ser vendidos a outra empresa ou organização que não conseguiu cumprir suas metas de emissões, permitindo-lhes compensar suas emissões excessivas. No caso dos RSU, Souto e Povinelli (2013) afirmam que a queima e/ou o aproveitamento do CH₄ nos aterros sanitários podem gerar créditos de carbono, uma vez que esses processos reduzem o potencial dos GEE gerados.

Os créditos de carbono são medidos em toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂e) e o seu preço é determinado pelo mercado, que reflete a oferta e demanda por créditos. Os créditos de carbono são negociados em bolsas de valores em todo o mundo e podem ser comprados por empresas, países ou outras organizações que desejam compensar suas emissões de GEE (IPAM, 2023).

Os valores arrecadados pelos créditos de carbono podem ser usados para financiar projetos ambientais, como ações de reflorestamento, desenvolvimento de tecnologias limpas, projetos de energia renovável e outros programas que ajudam a reduzir as emissões de GEE. BNDES (2022), cita como exemplos de projetos que podem dar origem a créditos de carbono, a agricultura sustentável, o uso de biocombustíveis, eficiência energética, a preservação e o reflorestamento, energias renováveis e o reuso de resíduos sólidos.

Em suma, a geração de GEE decorrentes da disposição dos RSU está acarretando prejuízos ambientais, os quais precisam ser combatidos e bem controlados para a redução da poluição do meio ambiente. No caso específico das mudanças climáticas, é preciso entender a atual situação antes da proposta de alternativas, sendo está a contribuição pretendida no trabalho, que enfoca os RSU no Estado do Pará.

3. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa é para explicar, de maneira sucinta e específica, o detalhamento dos objetivos formulados, de modo a esclarecer as atividades que serão desenvolvidas para bem alcançá-los.

3.1. TIPO DE ESTUDO

A pesquisa é caracterizada como de abordagem quali-quantitativa, pois utilizará não só métodos e dados quantitativos, mas também avaliações por meio de conclusões subjetivas (SILVEIRA E CÓRDOVA, 2009). Já quanto à natureza, a presente pesquisa é identificada como aplicada, pois visa fornecer informações e soluções para um problema específico (NASCIMENTO E SOUZA, 2016).

Não obstante, em relação aos objetivos, a pesquisa possui característica exploratória e descritiva, uma vez que busca proporcionar maior familiaridade com o tema (GIL, 2007). E, por fim, em relação aos procedimentos da pesquisa, considera-se a mesma como sendo bibliográfica e de estudo de caso, já que se propõe a reunir informações literárias e identificar os fatores que influenciam o fenômeno a ser estudado em área de estudo bem definida (NASCIMENTO E SOUZA, 2016).

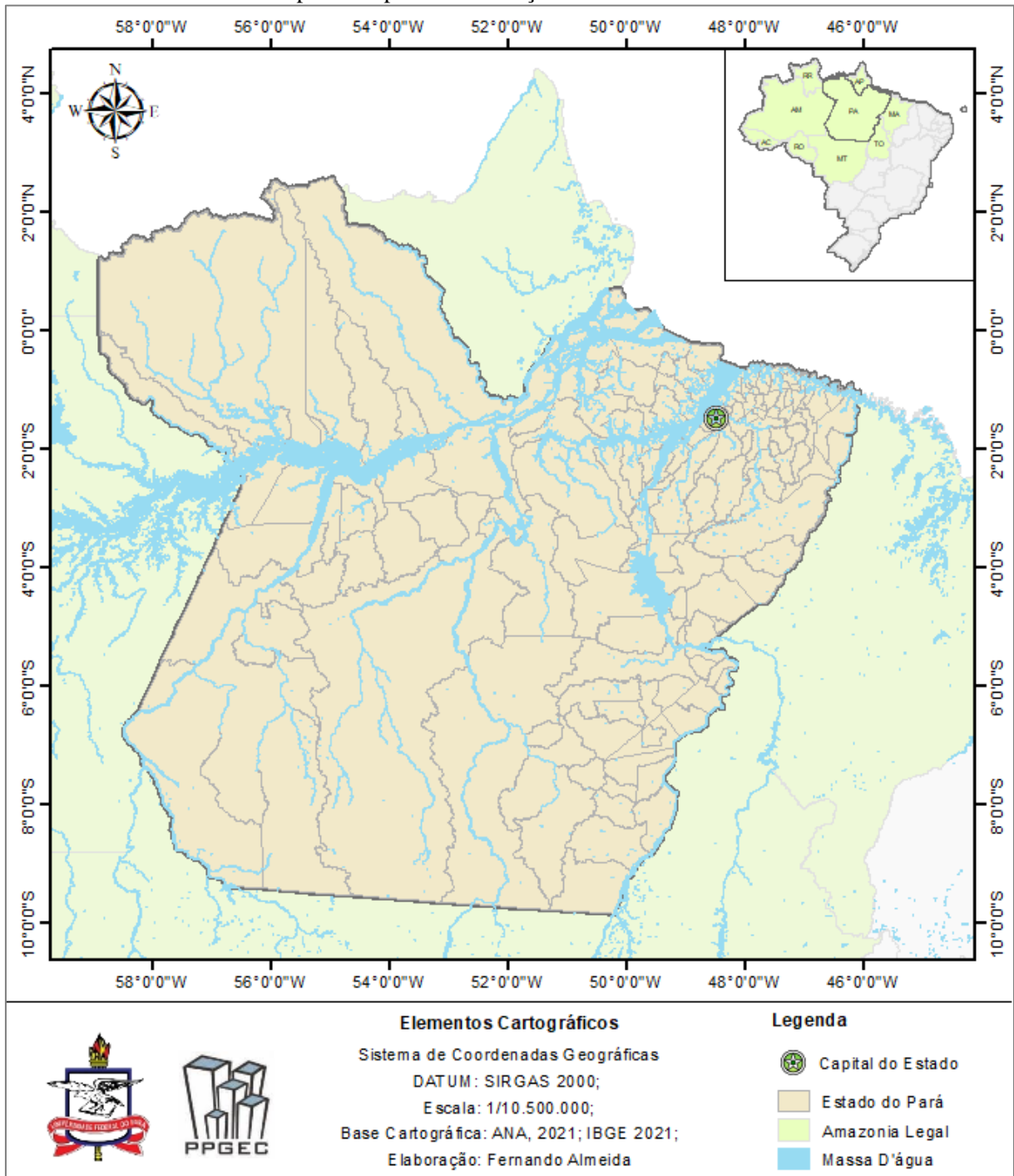
3.2. OBJETO DE ESTUDO

Análise da gestão e do gerenciamento dos RSU no Estado do Pará no contexto das emissões de GEE, com foco nas destinações finais dos resíduos sólidos e nas oportunidades de redução de emissões de GEE.

3.3. ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Pará é a segunda maior unidade federativa do Brasil em extensão e localiza-se na região Norte do país integrando a composição dos nove estados que constituem a Amazônia Legal e fazendo divisa com 6: Amapá ao Norte, Amazonas e Roraima a Leste, Mato Grosso ao Sul e Maranhão e Tocantins a Oeste. No Mapa 1 é representada a localização do estado inserida no território nacional.

Mapa 1: Mapa de Localização do Estado do Pará.



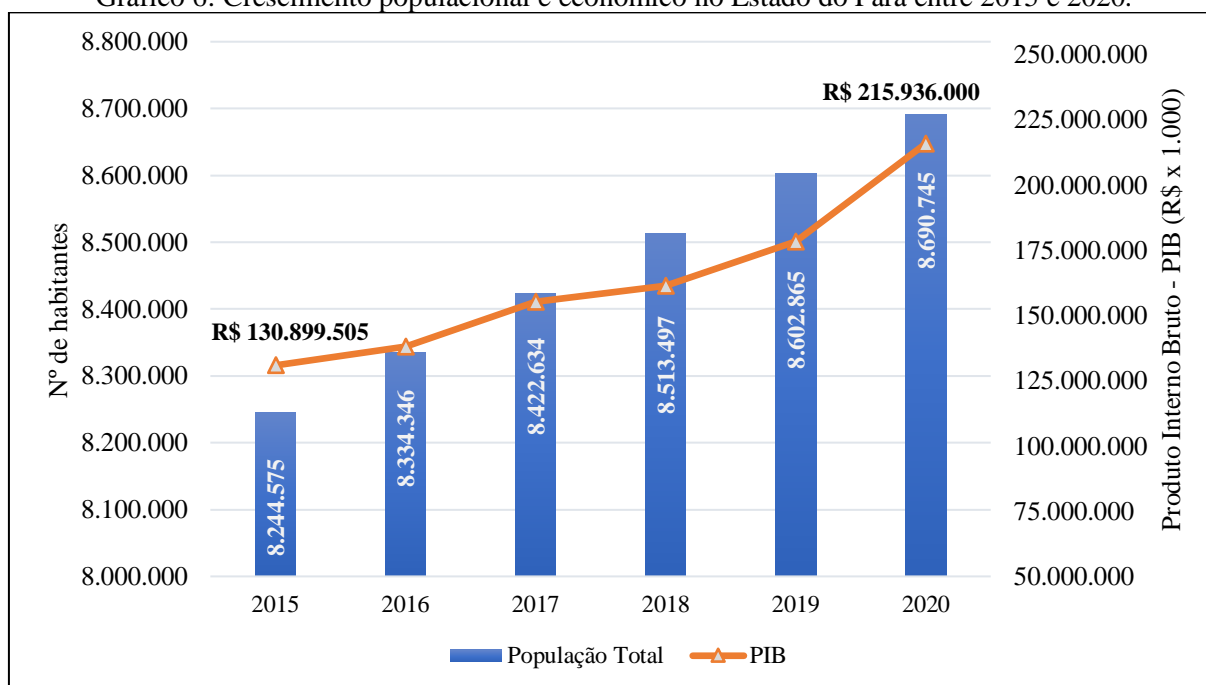
Fonte: Autor (2023).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Estado do Pará ocupa uma área de 1.245.870,7 km² e concentra um contingente populacional de 8.777.124 pessoas, o equivalente a aproximadamente 7 hab./km², classificando-se como o mais populoso da região Norte (IBGE, 2022). Além disso, o estado também detém a maior quantidade de municípios dessa região, somando 144, nos quais a média populacional se divide em 70% urbana e 30% rural (SNIS, 2022).

De acordo com a Fundação de Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), o Pará conta com 116 Unidades de Conservação (UCs), sendo UCs de proteção integral e uso sustentável entre administrações federais e estaduais, além de terras indígenas. Adicionalmente, também estão inseridos no território 93 Áreas de Proteção Ambiental (APAs), dessa vez entre administração federais, estaduais e municipais (FAPESPA, 2022).

No contexto socioeconômico brasileiro, o Estado do Pará possui o 10º maior Produto Interno Bruto (PIB) do país, atingindo no ano de 2020 um valor de aproximadamente 216 bilhões de reais, conforme ilustrado no Gráfico 6.

Gráfico 6: Crescimento populacional e econômico no Estado do Pará entre 2015 e 2020.



Fonte: FAPESPA (2022).

A indústria paraense em 2019 representou 34,3% do PIB do estado, sendo composta por diversos segmentos, dos quais se incluem: mineração (58,3%), utilidade pública como energia e saneamento (18,2%), construção civil (13,6%), alimentos e bebidas (3,9%), metalurgia (2,8%), madeira e móveis (0,8%), dentre outros. Alguns dos principais projetos industriais do estado são executados nos municípios de Barcarena (refinamento de bauxita e produção de cimento), Belém e Castanhal (alimentos, bebidas e outros), Capanema e Primavera (produção de cimento) (CNI, 2021; FAPESPA, 2022).

O setor de serviços tem grande importância na economia do estado, com destaque para as atividades de comércio, transporte, turismo, telecomunicações, serviços financeiros, educação e saúde. O grande centro comercial e de serviços do estado está na capital Belém, com o maior

efetivo de trabalhadores nesse setor. A balança comercial do estado tem crescido progressivamente desde 2017, alcançando em 2021 um valor aproximado de 28 bilhões de dólares (FAPESPA, 2022).

A extração de madeira, açaí, castanha, palmito, borracha e outros produtos da floresta é uma atividade importante para a economia do estado, especialmente na região amazônica. O Estado do Pará é o maior produtor de açaí e palmito e o 2º maior produtor de madeira do país (IBGE, 2022).

Apesar da grande variedade de atividades econômicas sendo desenvolvidas no estado, os municípios paraenses ainda possuem grande disparidade de recursos financeiros para a administração pública, devido, principalmente, as diferentes riquezas naturais entre as regiões do estado e a autonomia dos municípios na atração de investimentos e no desenvolvimento de suas potencialidades. Essa disparidade pode ser observada através da arrecadação municipal do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), que utiliza como critérios de cálculo a movimentação econômica, a população e a produção agropecuária (IBGE, 2022).

O Estado do Pará, por situar-se na região amazônica, possui características ambientais relativas ao bioma de mesmo nome, possuindo extensas áreas de florestas tropicais densas com grandes reservas hídricas superficiais e subterrâneas, bem como pluviosidade e umidade elevadas em relação ao restante do país.

O clima dessa região é classificado predominantemente como equatorial e tropical úmido, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano, alcançando média que varia entre 2.000 e 3.000 mm em grande parte do território com algumas regiões, como na ilha de Marajó, em que os índices pluviométricos podem chegar a mais de 4.000 mm anuais. Na área litorânea as temperaturas médias anuais ficam entorno de 25°C e 28°C, enquanto no interior do estado, há variações de temperatura de acordo com a altitude, assumindo temperaturas médias anuais entre de 22°C e 28°C (FAPESPA, 2022).

Apesar da população ser majoritariamente urbana, a área urbanizada do estado não chega a 14% do território, uma vez que boa parte é preenchida por áreas rurais e de floresta amazônica (IBGE, 2022).

De acordo com o último censo demográfico IBGE, em 2010, o Pará possuía o 3º pior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) entre os demais estados brasileiros, correspondendo

a um valor de 0,646, considerado um valor médio e equivalente a 24^o posição nacional. Já para o ano de 2021, o IDH do Pará permaneceu com a mesma classificação média, no entanto, conforme a estimativa do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB), o crescimento nos indicadores de educação elevou o valor do IDH do estado para 0,690, ocupando a 23^o junto com o Estado do Piauí (ADHB, 2022).

Além do IDH, outro dado importante de se analisar é o índice de GINI, responsável por indicar o grau de desigualdade social em uma região a partir de fatores como renda e população, em que, quanto mais próximo de 1 mais economicamente desigual é uma sociedade e, portanto, quanto mais próximo de 0, menos desigual ela é. No Estado do Pará o índice de GINI obtido a partir dos dados do censo demográfico de 2010 foi de 0,6260, valor acima da média brasileira de 0,6086 (IBGE, 2010).

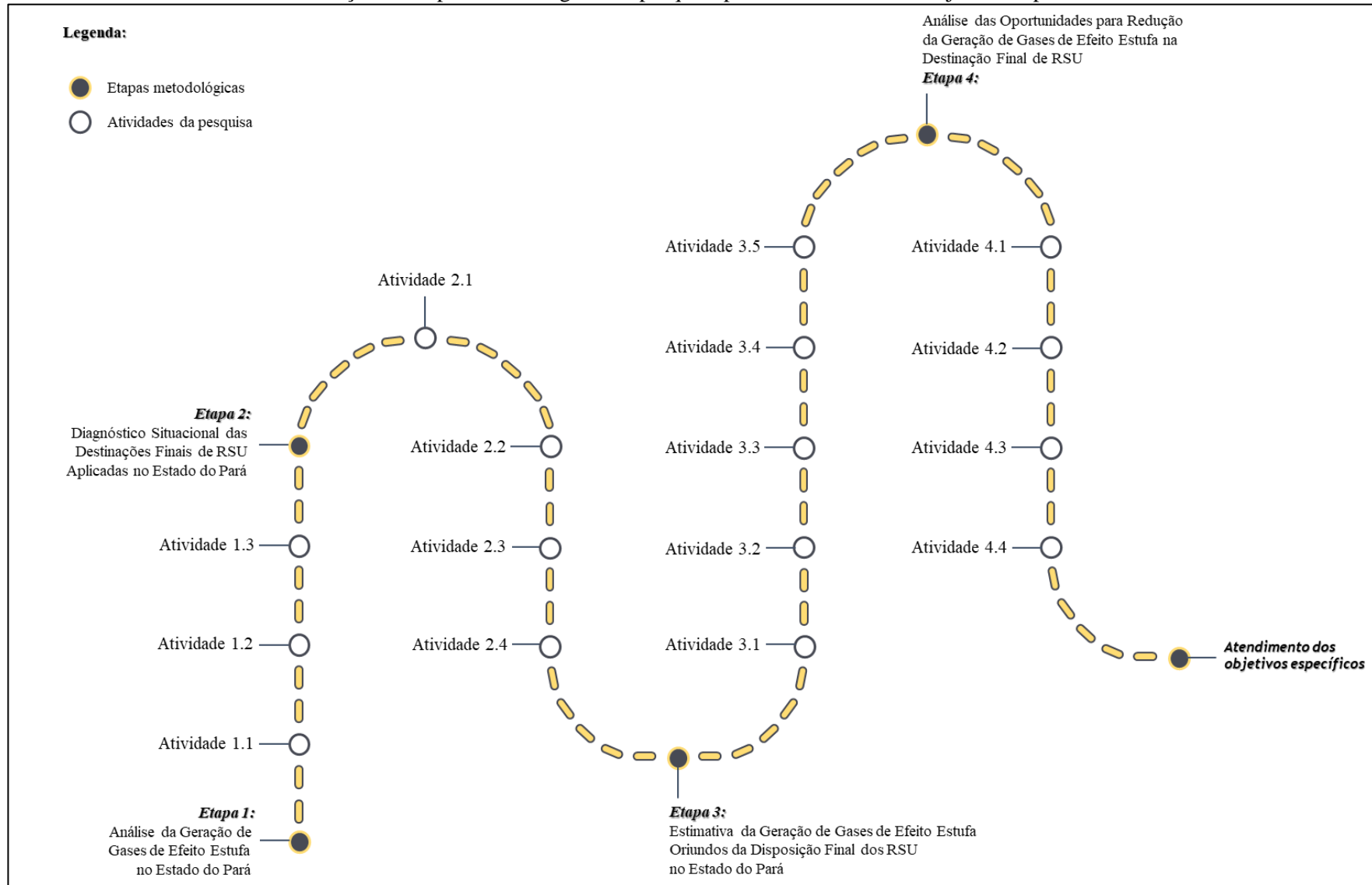
Com isso, pode-se afirmar que a população paraense no geral, assim como a brasileira, ainda enfrenta muitos problemas envolvendo a desigualdade social, o que é constatado inclusive ao se estudar o saneamento básico na região. A grande maioria da população paraense não tem acesso a sistemas de esgotamento sanitário (91,6%), o abastecimento de água ainda está longe da universalização no estado (48,5%), em especial nas áreas rurais (29,3%) e os sistemas de drenagem pluvial das cidades acumulam problemas de dimensionamento e manutenção, ocasionando em alagamentos constantes nos períodos chuvosos (SNIS, 2022).

Não obstante, a maioria dos resíduos sólidos gerados no estado ainda tem como destino os lixões à céu aberto, que ainda hoje servem de sustento para muitas famílias e catadores individuais que utilizam dos materiais descartados para sua subsistência, seja pela venda direta ou utilização própria.

3.4.PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os procedimentos metodológicos seguirão o objetivo geral, de modo a nortear a análise do atual cenário das destinações finais dos RSU e a sua relação com a emissão de GEE. Na Ilustração 5 estão descritas em ordem as etapas e atividades da pesquisa, de acordo com cada objetivo específico.

Ilustração 5: Etapas metodológicas da pesquisa para atendimento dos objetivos específicos



Fonte: Autor (2023).

As etapas metodológicas e suas respectivas atividades da pesquisa, ilustradas acima, apontam os procedimentos realizados para o atingimento dos objetivos específicos estipulados nesta pesquisa. Sendo assim, as quatro etapas estabelecidas deverão cumprir, por meio da realização de algumas atividades, os três objetivos específicos do trabalho. A Etapa 1 conta com três atividades para alcance do 1º objetivo específico, enquanto a Etapa II e III, para alcance do 2º objetivo específico, possuem quatro e cinco atividades, respectivamente. Por fim, a última etapa (Etapa 4) compreende 4 atividades para alcance do 3º objetivo específico.

A seguir, nos itens 3.4.1 a 3.4.4 serão descritas e mais bem detalhadas as etapas metodológicas estabelecidas e suas respectivas atividades.

3.4.1. Etapa 1: Análise da Geração de Gases de Efeito Estufa no Estado do Pará

Para alcance do 1º objetivo específico, na presente etapa, foram reunidas informações sobre a contribuição dos setores envolvidos na emissão de GEE no Estado do Pará, sendo identificados os municípios mais relevantes em relação ao montante de emissões de GEE no estado.

- Atividade 1.1: Levantamento do quantitativo total das emissões de GEE;

Para o levantamento quantitativo dos GEE emitidos no Estado do Pará foram extraídos dados secundários do SEEG, no qual constam as emissões estimadas de GEE gerados por todos os estados brasileiros, incluindo o Pará. Os dados levantados nessa pesquisa são referentes as emissões de GEE no ano de 2021.

Os dados extraídos são quantificados em toneladas de CO₂e, no intuito de normalizar as emissões de diferentes GEE com distintos potenciais de aquecimento global. Esta normalização é necessária para que os diferentes GEE que possuem potenciais de aquecimento global divergentes, ou seja, com diferentes capacidades de aquecer a atmosfera, possam ser comparados a um mesmo potencial de aquecimento.

- Atividade 1.2: Análise dos setores responsáveis pela emissão de GEE;

Além da quantidade total de GEE emitidos, foram extraídos ainda do SEEG dados acerca das emissões específicas dos principais setores emissores no Estado do Pará, que são: Mudança de uso da Terra e Florestas, Agropecuária, Energia e Resíduos/Efluentes. A descrição desses setores pode ser visualizada no Quadro 1. Para esses dados, além do SEEG, também foi consultado de modo complementar os dados do Sistema de Registro Nacional de Emissões

(SIRENE), vinculado ao MCTI, o qual disponibiliza dados mais específicos referente as emissões de subsetores.

- Atividade 1.3: Situação do Estado do Pará e dos municípios paraenses quanto as emissões de GEE.

Para finalização da Etapa 1, os municípios do Estado do Pará também foram alvo de análise quanto as suas emissões individuais de GEE convertidos em CO₂e. Assim sendo, também por meio de dados secundários do SEEG foram identificados os 10 municípios paraenses que mais contribuíram com o montante das emissões de GEE do estado, uma vez que representam os valores mais significativos e destoantes em relação aos demais municípios.

3.4.2. Etapa 2: Diagnóstico Situacional das Destinações Finais de RSU Aplicadas no Estado do Pará

Para alcance do 2º objetivo específico foram pontuados os assuntos que compõem as primeiras atividades da pesquisa visando a realização do diagnóstico da situação atual das disposições finais dos RSU no Estado do Pará. Os assuntos contemplados pelas atividades da pesquisa da Etapa 2 são:

a) Coleta de resíduos:

Conhecimento da quantidade total de resíduos sólidos urbanos coletados ao longo do tempo, mais especificamente no período de 10 anos, entre 2012 e 2021, associado ao crescimento populacional;

b) Tratamento e valorização:

Identificação de iniciativas de recuperação dos resíduos gerados no ano de 2021, bem como da existência de associações e/ou cooperativas de tratamento e valorização dos RSU antes da disposição final nos municípios paraenses;

c) Disposição final:

Análise dos tipos de instalações de disposição final utilizadas nos municípios do estado e classificação em Disposições Finais Ambientalmente Adequadas (DFAA) como os aterros sanitários e Disposições Finais Inadequadas (DFI) que incluem os lixões e aterros controlados.

Os assuntos descritos acima foram detalhados nos tópicos das atividades 2.1 a 2.4, as quais foram executadas para realização da Etapa 2 e, conseqüentemente, para o alcance do 2º objetivo específico.

- Atividade 2.1: Levantamento da quantidade de RSU coletados

Os dados da quantidade de RSU coletados no Estado do Pará foram obtidos dos relatórios técnicos anuais de 2012 a 2021, divulgados pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), vinculado ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), do Governo Federal.

A apresentação dos dados se deu de duas formas. A primeira apresentando graficamente a dinâmica na massa coletada ao longo do período de 2012 a 2021 e a segunda classificando a massa coletada dos municípios somente no ano mais atual analisado (2021) a partir de três níveis de escalas populacionais, sendo “até 50.000 habitantes”, “50.000 a 100.000 habitantes” e “mais de 100.000 habitantes”. Essas escalas populacionais foram adotadas para facilitar a análise da contribuição dos diferentes portes de municípios na disposição final total do estado.

Os valores quantitativos dos RSU levantados foram extraídos em tabelas de dados disponíveis no site eletrônico do SNIS por município paraense que respondeu ao processo de coleta de informações. Ao todo, dos 144 municípios do Estado do Pará, 117 responderam ao questionário do SNIS, em 2021, para o setor de resíduos sólidos, o equivalente a 81%. Ademais, também foram coletados dados de anos anteriores (2012 a 2021) para análise da evolução da geração dos RSU.

Os valores da quantidade de RSU coletados nas tabelas do SNIS estão identificados pelo código “CO-119”, referente a “quantidade total de RDO e RPU coletada por todos os agentes”, os quais possuem a unidade de tonelada/ano.

- Atividade 2.2: Levantamento quantitativo e qualitativo das destinações finais aplicadas.

Além do quantitativo de RSU, também foram coletadas informações sobre os tipos de disposição final adotados pelos 117 municípios que repassaram informações ao SNIS. Os dados das disposições finais são localizados na planilha “Unidades_Lixões_Aterros_RS_2021” e identificados pelo código “UP003”, correspondente ao “tipo de unidade, segundo o município informante”. As unidades são classificadas em lixões, aterros controlados e aterros sanitários.

Por meio dessas informações, foi possível também classificar as disposições finais nas categorias “ambientalmente adequada” e “inadequada”, conforme o considerado pela Lei 12.305/2010 (PNRS).

No tocante aos 27 municípios que não possuíam informações sobre o tipo de disposição final no banco de dados do SNIS, considerou-se para os mesmos como sendo utilizadores de DFI.

- **Atividade 2.3: Análise da recuperação e valorização dos RSU**

Para a análise da recuperação e valorização dos RSU também foram utilizadas as informações disponibilizadas pelo SNIS, referente as iniciativas de recuperação de resíduos sólidos e a existência de associações/cooperativas de catadores de materiais recicláveis nos municípios paraenses. Os dados analisados foram extraídos da planilha nomeada “Tabela de Associações e Cooperativas de Catadores”, com ano base de 2021.

Além da exposição desses dados, também foi abordado sobre os efeitos da implementação da recuperação e valorização de resíduos na gestão dos RSU e discutido os fatores que levam alguns municípios a não as implementar.

- **Atividade 2.4: Identificação dos impactos ambientais decorrentes da disposição final no Estado do Pará**

A partir dos dados quantitativos e qualitativos coletados do SNIS acerca dos RSU gerados pelos municípios paraenses, também foram abordados os principais problemas ambientais e sanitários decorrentes do volume de resíduos gerados que podem afetar o meio ambiente e a população do estado.

3.4.3. Etapa 3: Estimativa da Geração de Gases de Efeito Estufa Oriundos da Disposição Final dos RSU no Estado do Pará

Ainda para o alcance do 2º objetivo específico, as atividades inclusas na Etapa 3 pretenderam estimar as emissões de GEE no Estado do Pará oriundas da disposição final dos RSU, a partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores, referente ao ano de 2021, conforme descrito nas atividades 3.1 a 3.5, a seguir.

- Atividade 3.1: Identificação dos fatores que provocam a emissão de GEE em disposições finais;

Nesta atividade foram pontuados alguns dos fatores já abordados no referencial bibliográfico que interferem na geração de GEE nas disposições finais, bem como outras informações específicas que foram utilizadas no cálculo da estimativa dos GEE emitidos nas disposições finais de RSU.

Dentre as informações revisadas que foram utilizadas no cálculo da estimativa de emissão dos GEE estão: o percentual de resíduos orgânicos presentes na massa de RSU (SINIR, 2020), a composição do biogás para aterros sanitários (MARCA AMBIENTAL, 2019 e ZHANG *et al.*, 2019) e a diferença da emissão de CH₄ em instalações de disposição final com e sem coleta de gases (TJAM, 2020).

- Atividade 3.2: Caracterização da situação do estado quanto aos tipos de disposições finais e da massa coletada de RSU associada;

Na presente atividade foram utilizados novamente os dados extraídos do SNIS contendo os tipos de disposições finais aplicadas (aterro sanitário, aterro controlado e lixão), bem como a massa de RSU coletadas para cada município paraense especificamente. Assim, a quantidade desses resíduos coletados em cada município foi associada a disposição final adequada ou inadequada utilizada pelos mesmos.

A base de dados utilizada foi a do ano de referência 2021, publicada em novembro de 2022, que, conforme já mencionado, contou com a participação e resposta de 117 municípios. Os municípios que constavam sem informações no banco de dados do sistema (27), foram normalizados estatisticamente de acordo com a coleta *per capita* média dos demais municípios do estado para o nível populacional correspondente (Tabela 6) e utilizadas as estimativas populacionais do censo demográfico do IBGE para o ano 2021.

Vale ressaltar que os tipos de disposição final adotadas para os municípios inadimplentes no envio de dados ao SNIS em 2021 foi de “inadequada” (aterro controlado/lixão). Além disso, para o cálculo da quantidade de resíduos orgânicos na massa de RSU foi adotado o percentual da composição gravimétrica, considerada pelo SINIR como a média nacional (Gráfico 2).

Os resultados obtidos com a presente atividade estão resumidos nas 4 primeiras colunas da tabela explicativa inserida no APÊNDICE.

- Atividade 3.3: Determinação das emissões de GEE por tipo de disposição final;

Nesta atividade foram pesquisados e reunidos dados da emissão de GEE entre os tipos de disposição final adotados no Estado do Pará. Para isso, foram contabilizadas as emissões padrão para as DFAA (aterros sanitários) e as DFI (aterros controlados e lixões). Para determinação das emissões padrão dos tipos de disposição final, foram considerados os valores adotados pelo material produzido pelo Tribunal de Justiça do Estado do Amazonas, no ano de 2019, que diferencia as emissões de CO₂ e CH₄ produzidas pela decomposição dos resíduos sólidos orgânicos em aterros com coleta e sem coleta de gases, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2: Valores utilizados para cálculo da estimativa de GEE emitidos.

Tipo de disposição final	CH₄ emitido por ton. resíduo orgânico na massa de RSU	CO₂ emitido por ton. resíduo orgânico na massa de RSU	Valor de GEE em CO₂e por ton. de resíduo orgânico*
Aterro Sanitário	33,00 kg	17,16 kg	710,16 kg
Aterro Controlado	47,00 kg	24,44	1.011,44 kg
Lixão			

*Valor calculado com base na diferença do potencial de efeito estufa entre os gases (CH₄ = 21 x CO₂)

Fonte: TJAM (2020); PNUMA (2023).

Desse modo, para determinação do valor de GEE em CO₂e, foi considerado o potencial de aquecimento global do metano 21 vezes superior ao do CO₂, conforme recomendado pelo PNUMA (2023). Já o valor do CO₂ emitido foi determinado em função de seu percentual na composição do biogás em relação ao CH₄, correspondendo a média dos valores encontrados por Marca Ambiental (2019) e Zhang *et al.* (2019). Logo, considerou-se a parcela de metano no biogás como sendo de 65% e do CO₂ como 35%.

Assim sendo, a emissão dos GEE por tonelada de resíduo sólido orgânico disposto nas DFAA (aterros sanitários) e nas DFI (aterro controlado e lixão) considerada na estimativa foi de, respectivamente, 710,16 kg de CO₂e e 1.011,44 kg de CO₂e.

- Atividade 3.4: Estimativa das emissões de GEE oriundos da disposição final de RSU no Estado do Pará;

A partir dos resultados obtidos nas atividades anteriores foi possível calcular, estimativamente, a emissão dos GEE para os municípios que dispõem seus RSU tanto de modo inadequado quanto de forma ambientalmente adequada. Portanto, a estimativa das emissões municipais foi realizada com base nos dados obtidos referente a quantidade de RSU coletados, a quantidade de resíduos orgânicos na massa de resíduos dispostos e os tipos de disposição final adotados com suas respectivas emissões padrão.

Deste modo, os valores quantitativos de resíduos orgânicos na massa de RSU de cada município foram multiplicados pela emissão padrão correspondente a disposição final adotada, obtendo-se um valor total de emissão de GEE em toneladas de CO₂e. Em seguida, as emissões obtidas para cada um dos 144 municípios foram somadas visando a quantificação total das emissões de GEE oriundas das disposições finais do Estado do Pará (ver APÊNDICE).

Por fim, foi elaborada uma ilustração com o resumo das informações utilizadas e resultados obtidos na referida estimativa, em referência aos dados coletados para o cálculo da estimativa, do ano de 2021.

- Atividade 3.5: Comparação dos valores estimados com outras atividades humanas.

Concluída a estimativa da emissão dos GEE nas disposições finais do estado, foram comparados os resultados do total das emissões com os de outras atividades humanas de fontes móveis e estacionárias emissoras de GEE. Para isso, foram reunidos dados do IPCC e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) a respeito das emissões padrão de quatro categorias para comparação, são elas, carro de passeio movidos a gasolina; caminhão movido a diesel; produção de cimento em indústria; e área de floresta tropical queimada, conforme detalhado na Tabela 3.

Tabela 3: Dados comparativos da emissão de GEE.

Tipo de fonte	Tipo de equipamentos/processos emissores de GEE	Emissão média de CO₂e (ton./ano)
Fontes móveis	Carro de passeio (gasolina)	4,6
	Caminhão (diesel)	22,2
Fontes Estacionárias	Indústria de Cimento	0,7 por tonelada de produto
	Queima de Floresta Tropical	0,2 por metro quadrado

Fonte: IPCC (2006, 2019); EPA (2020).

Desse modo, o valor médio estimado para cada uma das categorias acima foi comparado ao valor total das emissões de GEE das disposições finais de RSU no Estado do Pará, obtendo-se valores equivalentes a quantidade de carros, caminhões, toneladas de cimento e área queimada de floresta que podem representar o resultado obtido na atividade 3.4. Essa estratégia comparativa foi adotada para se facilitar a noção proporcional das emissões de GEE oriundas dos tipos de disposição final aplicados no Pará no ano de 2021.

3.4.4. Etapa 4: Análise das Oportunidades para Redução da Geração de Gases de Efeito Estufa na Destinação Final de RSU

Já para o 3º objetivo específico, foi realizada nova pesquisa de dados secundários, dessa vez, referente a aplicação de algumas das oportunidades citadas no referencial bibliográfico na área de estudo (Estado do Pará). Adicionalmente, também foi calculada uma nova estimativa para quantificação da redução das emissões dos GEE, caso essas oportunidades fossem aplicadas em grande escala no estado.

Desse modo, para o alcance deste objetivo, são listadas a seguir as atividades que compõem a Etapa 4:

- Atividade 4.1: Identificação das ações de redução da emissão de GEE na gestão dos RSU

Nesta atividade foram pontuadas algumas das oportunidades para redução da emissão de GEE já citadas na revisão de literatura, baseadas na ordem de prioridade estabelecida pela PNRS e abordado sobre a aplicação específica de cada uma delas no Estado do Pará. As três oportunidades discutidas são pontuadas e brevemente definidas a seguir:

- Não Geração/Redução: que consiste na identificação e eliminação, na fonte geradora, dos resíduos sólidos que podem ser evitados;
- Compostagem: a degradação controlada da matéria orgânica presente na massa de RSU com a finalidade de tratamento dos resíduos e obtenção de subprodutos;
- Substituição das DFI pelas DFAA: desvio dos rejeitos destinados aos lixões e aterros controlados para disposição em aterros sanitários.

A escolha dessas três oportunidades se deu em função de serem consideradas como de maior aplicabilidade, dada as dificuldades técnicas, econômicas e políticas dos municípios brasileiros, conforme discutido na revisão de literatura.

- Atividade 4.2: Análise da existência de experiências já executadas no Estado do Pará

Além da abordagem das oportunidades realizada na atividade anterior, também foi pesquisado sobre a existência de experiências de aplicação dessas oportunidades no Pará. A pesquisa das experiências se deu através da busca em canais eletrônicos oficiais de comunicação do Governo do Estado e Prefeituras Municipais, bem como em agências de notícias.

As experiências de aplicação encontradas foram apresentadas e brevemente descritas com fotografias das iniciativas.

- Atividade 4.3: Análise potencial das oportunidades identificadas na redução dos GEE emitidos

Cada uma das oportunidades abordadas no resultado da pesquisa possui uma média de emissões de GEE descritas durante a abordagem de cada tópico. As médias de emissão de cada oportunidade são inferiores as das DFI implantadas no estado, portanto, obtendo cada uma, um potencial de redução dos GEE caso fossem aplicadas em substituição às DFI, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Análise das emissões médias e do potencial de redução de GEE das oportunidades.

Destinações/Oportunidades	Emissão Média de GEE	Potencial de Redução de GEE*
Não geração/Redução	0	1011,44 kg/ton. de resíduo orgânico
Compostagem	56,00 kg de CO ₂ e/ton. de resíduo orgânico	955,44 kg/ton. de resíduo orgânico
Aterros Sanitários	710,16 kg de CO ₂ e /ton. de resíduo orgânico	301,28 kg/ton. de resíduo orgânico

*O potencial de redução de GEE é estimado em função do desvio do resíduo

Fonte: Adaptado de KOBAYAMA (2022); TJAM (2020).

Assim, com as emissões médias e o potencial de redução dos GEE definidos para as três oportunidades, as mesmas podem ser comparadas e prognosticadas no sentido de prever a redução dos GEE com as suas implantações.

- Atividade 4.4: Prognóstico da redução das emissões de GEE com a aplicação das oportunidades

A partir dos potenciais de redução das emissões de GEE de cada oportunidade analisada obtidos com a atividade anterior, foi realizado um prognóstico considerando a ocorrência de três cenários para substituição das DFI no estado, conforme detalhado na Tabela 5.

Tabela 5: Prognóstico dos cenários com os percentuais de aplicação de cada destinação/oportunidade.

Destinações/Oportunidades	Cenário Atual	Cenário 2	Cenário 3

DFI	72%	0%	0%
Aterros Sanitários	27%	55%	40%
Redução da Geração	0%	10%	15%
Compostagem	0%	35%	45%

Fonte Autor (2023).

Desse modo, o primeiro cenário refere-se à situação atual com as destinações finais e as emissões do Estado do Pará já estimadas. Os outros dois cenários, que podem ser considerados otimistas, por sua vez, pressupõem diferentes percentuais para substituição das DFI por cada uma das destinações/oportunidades sugeridas pelo trabalho.

Adicionalmente, uma vez que as DFI precisam ser erradicadas segundo a PNRS, nos cenários 2 e 3 elas se apresentam nulas para aplicação no Estado do Pará, enquanto no cenário atual foram considerados os percentuais obtidos com os resultados da atividade 3.2, conforme ilustrado no Gráfico 13.

As oportunidades sugeridas, aumentam subsequentemente os percentuais nos cenários 2 e 3, para configuração de duas situações distintas em que poderiam ser reduzidas as emissões de GEE, com exceção do aterro sanitário, uma vez que segundo a ordem de prioridade da PNRS, somente os rejeitos devem seguir para as DFAs, desse modo, os resíduos orgânicos estariam sendo melhor aproveitados seguindo para alternativas como a compostagem, reduzindo a pressão sobre os aterros sanitários e, conseqüentemente, aumentando sua vida útil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da pesquisa foram organizados a partir dos três objetivos específicos e das quatro etapas metodológicas desenvolvidas. Dessa maneira, cada resultado compreende as etapas estabelecidas para alcance de um objetivo específico.

4.1.RESULTADO REFERENTE AO PRIMEIRO OBJETIVO ESPECÍFICO

Para alcance do primeiro objetivo específico foram realizadas as atividades descritas na metodologia para o cumprimento da Etapa 1.

4.1.1. Análise da Geração de Gases de Efeito Estufa no Estado do Pará

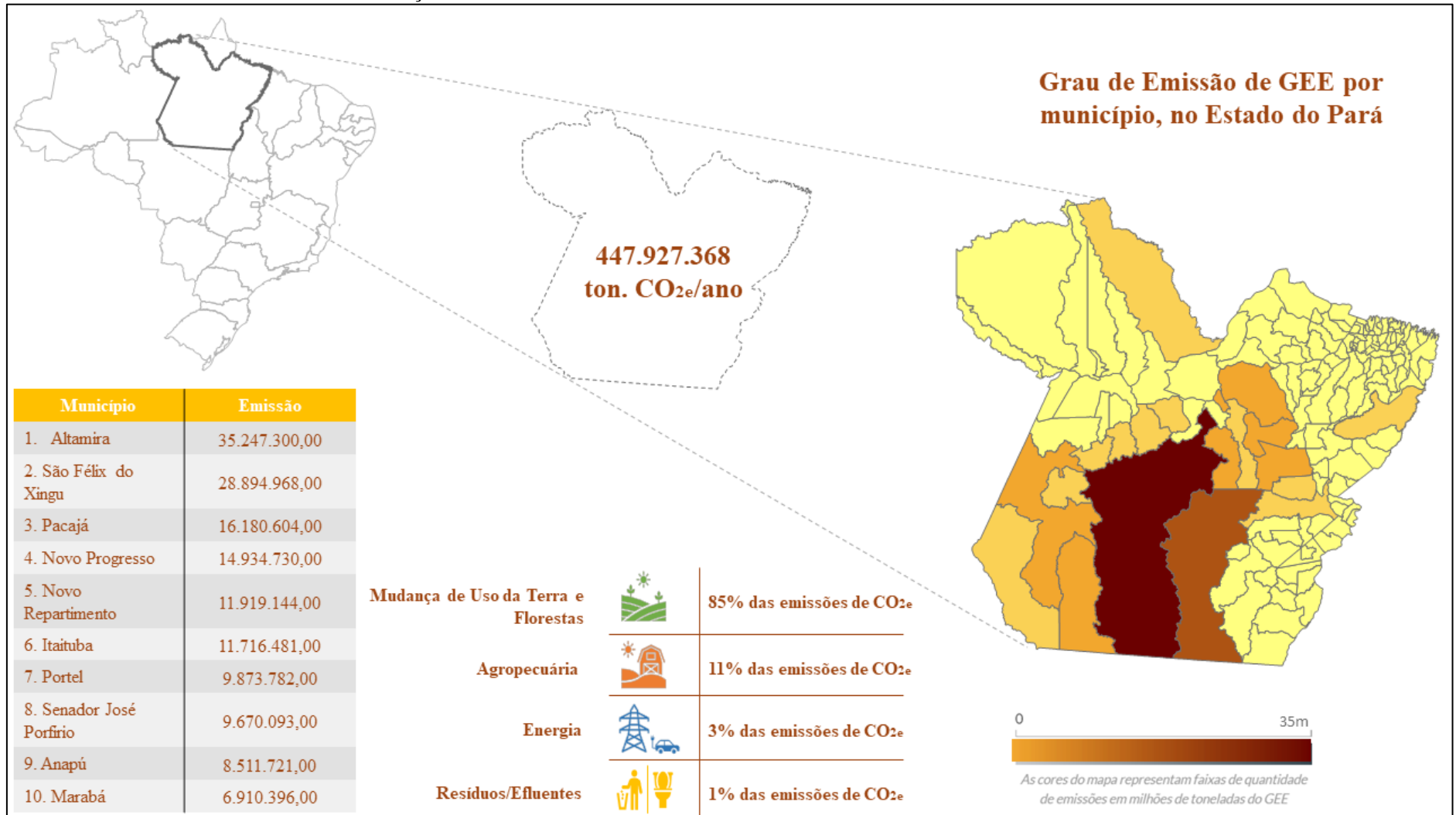
O Estado do Pará, por fazer parte da Amazônia Brasileira, tem tido atenção redobrada dos governos federal e estadual para preservação da biomassa florestal, sendo alvo de diversos programas de conservação dos recursos naturais e criação de áreas de proteção ambiental. Nesse sentido, em virtude de processos produtivos e econômicos intrínsecos à sua história de desenvolvimento, o Pará, atualmente, possui a maior geração de GEE entre todos os estados brasileiros (Ilustração 1).

Outra característica importante sobre essa região é a sua representatividade biológica, quanto a diversidade de espécies e sua importância para o planeta como uma grande reserva de carbono do mundo, de modo que a sua devastação intensa, seja por desflorestamento ou queimada, poderia emitir quantidades de GEE com consequências significativas para o clima global. Essas características tornam o Estado do Pará uma região de grande importância nacional e internacional no contexto das questões ambientais e climáticas.

De acordo com SEEG (2022) e SIRENE (2022), os principais setores atuantes no Estado do Pará com influência potencial na emissão de GEE são, mudança de uso da terra e florestas; agropecuária; energia; e Resíduos/Efluentes, conforme a descrição detalhada no Quadro 1.

Nesse sentido, com base nos setores citados acima, na Ilustração 6 é apresentada a contribuição desses setores na emissão dos GEE no Estado do Pará, bem como são elencados os 10 municípios que mais contribuíram para a emissão estadual.

Ilustração 6: Estimativa das emissões de GEE no Estado do Pará, no ano de 2021.



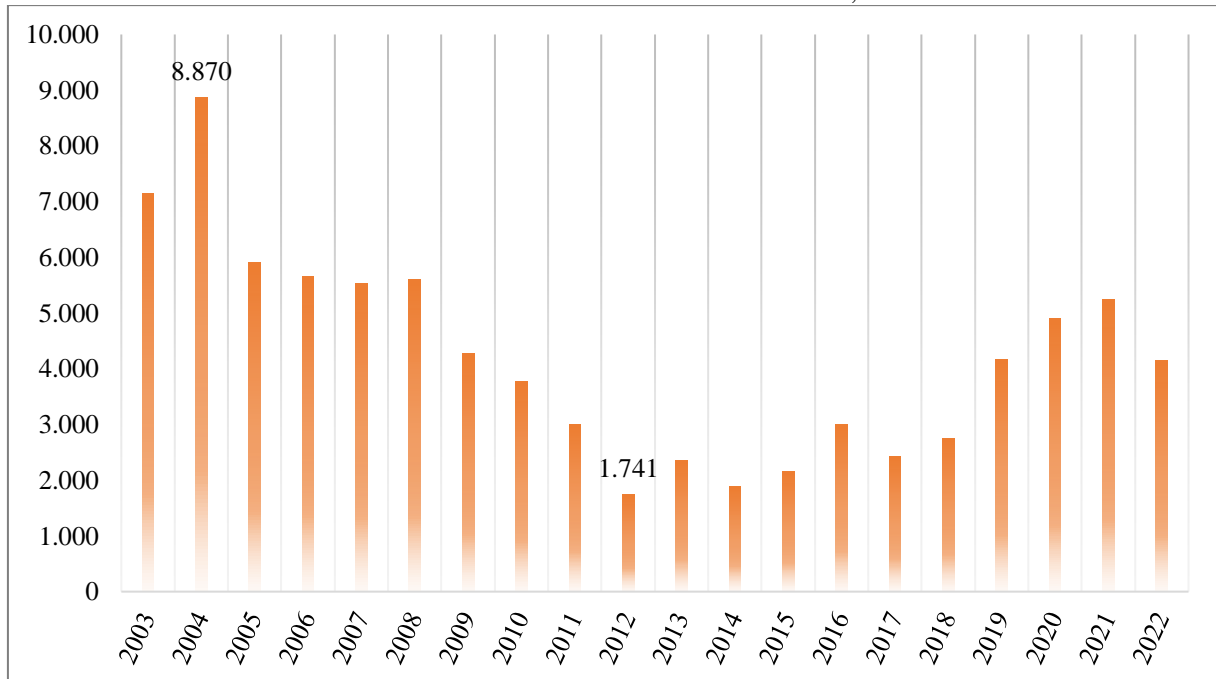
Fonte: Adaptado de SEEG (2022).

Conforme pode-se observar na Ilustração 6, o Estado do Pará totalizou em 2021 uma emissão de GEE equivalente a 447.927.368 toneladas de CO₂. Desse total, a maioria (85%) refere-se à atividade com maior potencial de emissões, revelada como a mudança de uso da terra e florestas, uma vez que além de emitir GEE, essa atividade também impede a recuperação do CO₂ da atmosfera através da fotossíntese pela biomassa extraída (SEEG, 2022).

Adicionalmente, de acordo com o INPE (2023), os municípios paraenses que mais emitiram GEE são também os que obtiveram os maiores incrementos de desmatamento para o mesmo ano, especialmente os municípios de Altamira e São Félix do Xingu, que juntos representam aproximadamente 15% de todas as emissões do estado, enquanto os 10 municípios que mais contribuíram equivalem a próximo de 35%.

O Estado do Pará tem sido historicamente uma das áreas mais desmatadas da Amazônia Legal. Segundo dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal por Satélite (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre 2002 e 2022, o Pará foi o estado que mais desmatou na Amazônia Legal, com um total de 92.021 km² de floresta derrubada (INPE, 2023). No Gráfico 7 é apresentada a dinâmica da taxa de desmatamento no Pará no período de 20 anos, entre 2002 e 2022.

Gráfico 7: Extensão anual do desmatamento no Estado do Pará em km², entre os anos de 2002 a 2022.



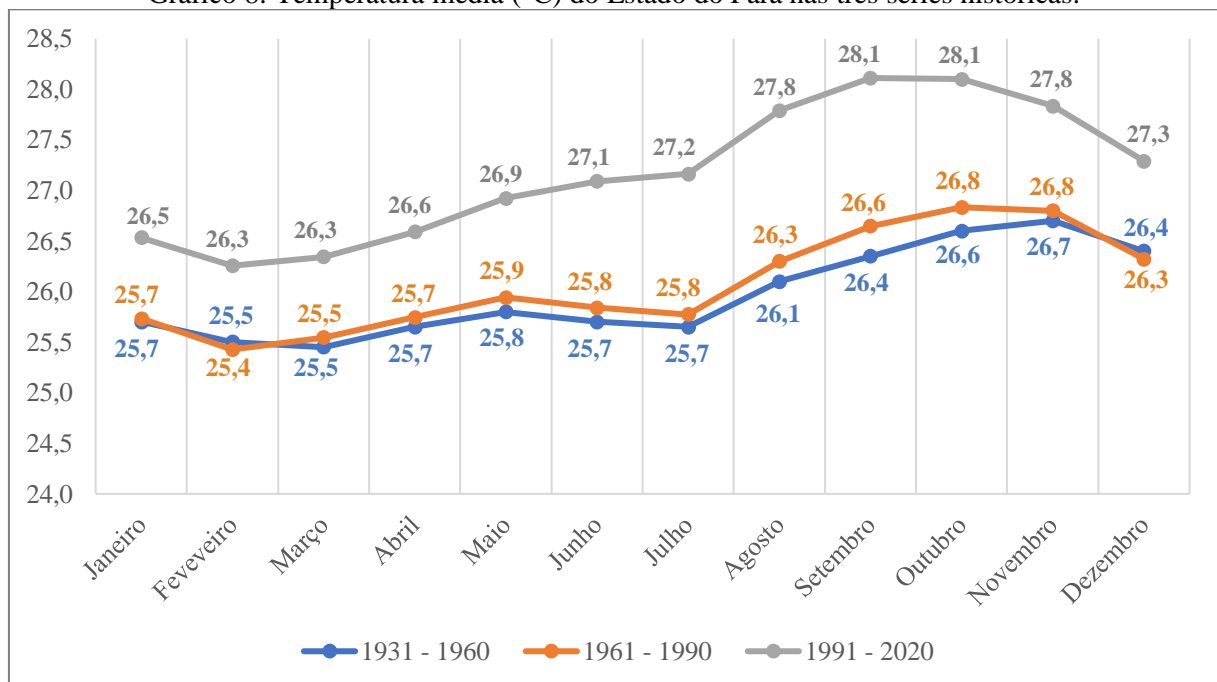
Fonte: INPE (2023).

O gráfico apresentado mostra a taxa de desmatamento na região durante o período analisado. O ano de 2004 teve a maior taxa de desmatamento, com 8.870 km² de floresta desmatada, enquanto em 2012 a taxa foi a menor, com 1.741 km². É importante destacar que, atualmente, a situação é preocupante, uma vez que após a redução gradual da taxa de desmatamento desde o pico em 2004, a partir de 2017 tem-se observado uma tendência de alta novamente. Tanto os governos federal e estadual quanto representantes internacionais têm se preocupado com essa situação, dada a sua relação com as mudanças climáticas.

O desmatamento é motivado por diversos fatores, como a expansão da fronteira agrícola e pecuarista, a mineração e a exploração madeireira. A falta de fiscalização e a impunidade também contribuem para a persistência e o agravamento do problema, que tem como consequência graves impactos ambientais, a exemplo da perda de biodiversidade, liberação de grandes quantidades de CO₂ na atmosfera, além de afetar diretamente a qualidade de vida das comunidades locais.

De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura média do estado nos meses do ano aumentou pelo menos 1°C para cada mês quando se comparam as temperaturas médias das séries históricas de 30 anos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990, com a mais atual datada de 1991 a 2020, conforme é apresentado no Gráfico 8.

Gráfico 8: Temperatura média (°C) do Estado do Pará nas três séries históricas.

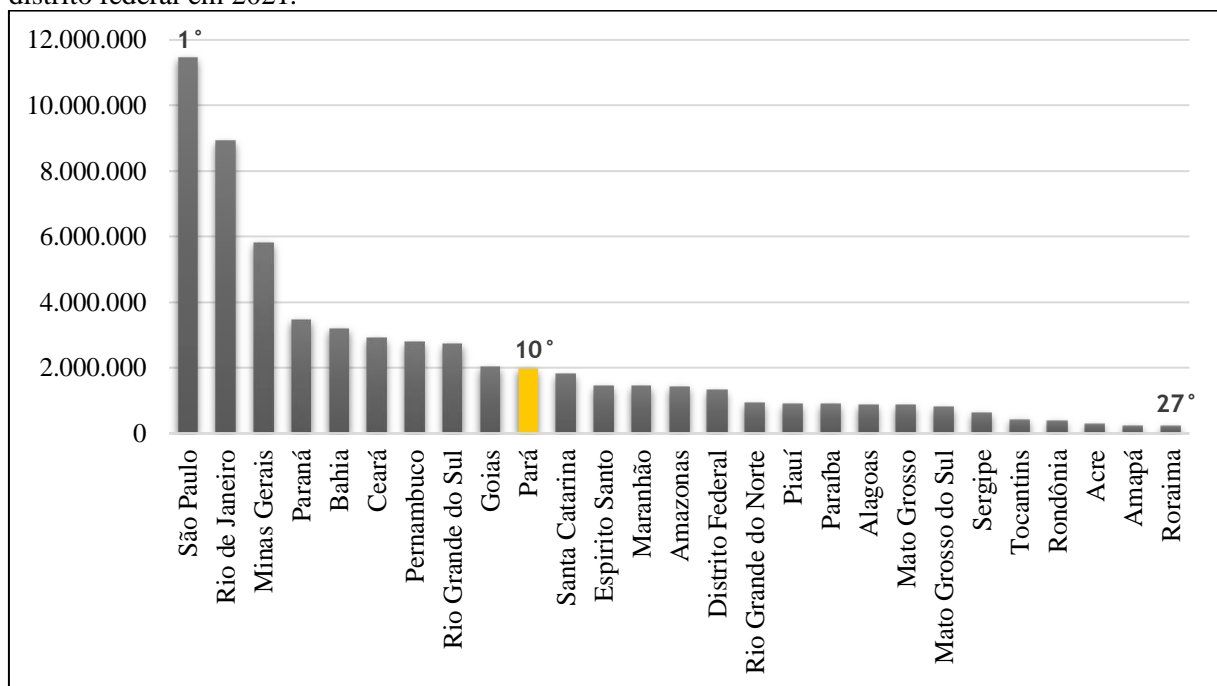


Fonte: INMET (2023).

Uma das explicações para a média de temperatura do Estado do Pará nos meses do ano apresentar níveis mais altos ao longo do tempo, analisado por meio das três séries históricas (1931 – 1960; 1961 – 1990; 1991 – 2020) é o aquecimento global, que pode ter relação com o desmatamento e as emissões de GEE provenientes dessa ação humana.

O setor de resíduos sólidos e efluentes, apesar de prover uma quantidade de emissões muito inferior em comparação ao total, ainda produz anualmente um valor de GEE significativamente maior do que caso fossem respeitadas as diretrizes estabelecidas na PNRS, principalmente no que tange a ordem de prioridade estabelecida para a gestão e o gerenciamento dos RSU, conforme pode-se verificar no Gráfico 9, que compara as emissões específicas do setor de resíduos e efluentes do Pará com os demais estados brasileiros, no ano de 2021.

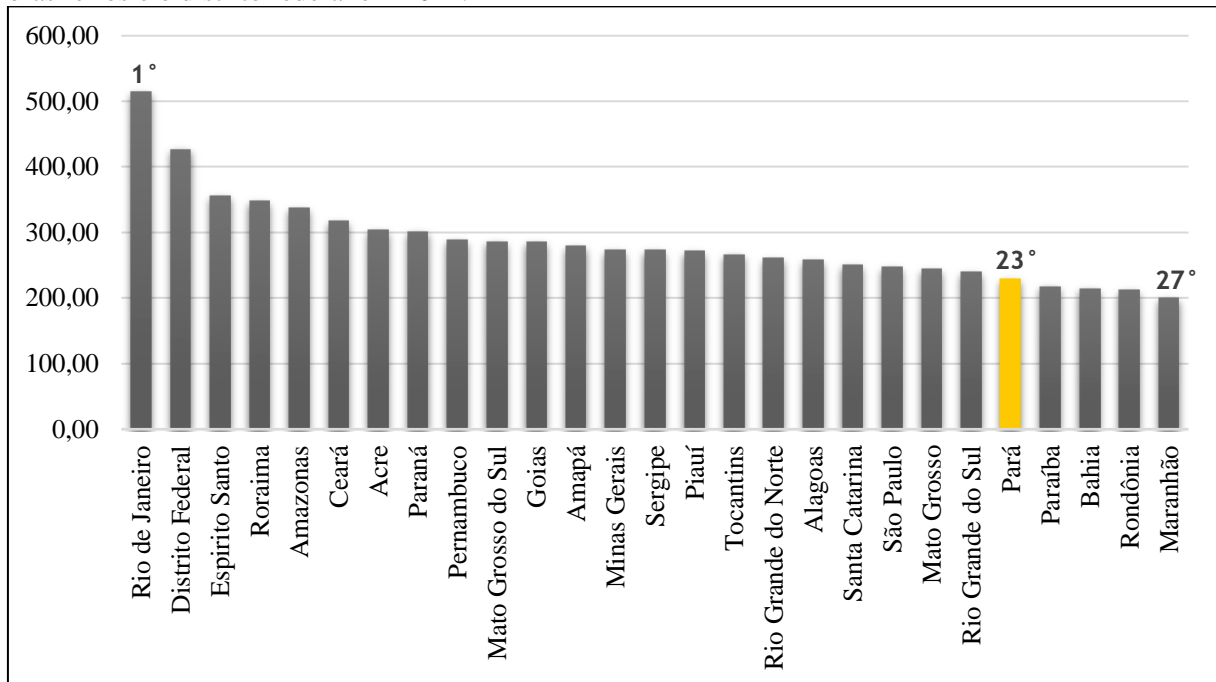
Gráfico 9: Emissões de GEE (ton./ano) no setor de resíduos/efluentes entre os estados brasileiros e o distrito federal em 2021.



Fonte: SEEG (2022).

A partir da análise do gráfico acima, tem-se que a classificação do Estado do Pará (10º), bem como dos demais estados, acompanham naturalmente os seus respectivos contingentes populacionais, uma vez que o número de habitantes influencia significativamente na produção de resíduos sólidos e, portanto, na emissão de gases durante seu tratamento e/ou destinação final. Em outra forma de análise, os valores obtidos no Gráfico 9 podem ser divididos pela população de cada estado, gerando o valor da emissão anual *per capita* de GEE, conforme mostrado no Gráfico 10.

Gráfico 10: Emissão *per capita* de GEE (kg/hab.ano) do setor de resíduos/efluentes entre os estados brasileiros e o distrito federal em 2021.



Fonte: Adaptado de SEEG (2022).

Dessa vez, nota-se que a diferença entre os valores de emissão *per capita* do Pará com os demais estados diminuiu consideravelmente. Isto pode estar relacionado a diferença entre os estados em relação ao contingente urbano e outros indicadores socioeconômicos, além dos índices de atendimento da população com a coleta dos RSU, que são menos eficientes na região Norte. Assim, o Estado do Pará, para as emissões *per capita* de GEE no setor de resíduos/efluentes, assume a 23ª posição.

Contudo, as emissões de GEE no Estado do Pará, apesar de configurarem um cenário alarmante quanto as atividades de mudança do uso da terra e de florestas, também não deixam de ser relevantes no tocante aos resíduos sólidos, como pode-se verificar no Gráfico 9, em que ainda sim, possui a 10ª maior emissão nacional de GEE oriundos do setor de resíduos/efluentes. Dessa forma, conclui-se que a prioridade para a redução das emissões no Pará deve ser a de reduzir o desmatamento e as queimadas, promovendo ações de exploração e desenvolvimento sustentável, ao mesmo tempo em que se incentiva a universalização da DFAA nos municípios.

4.2.RESULTADOS REFERENTES AO SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO

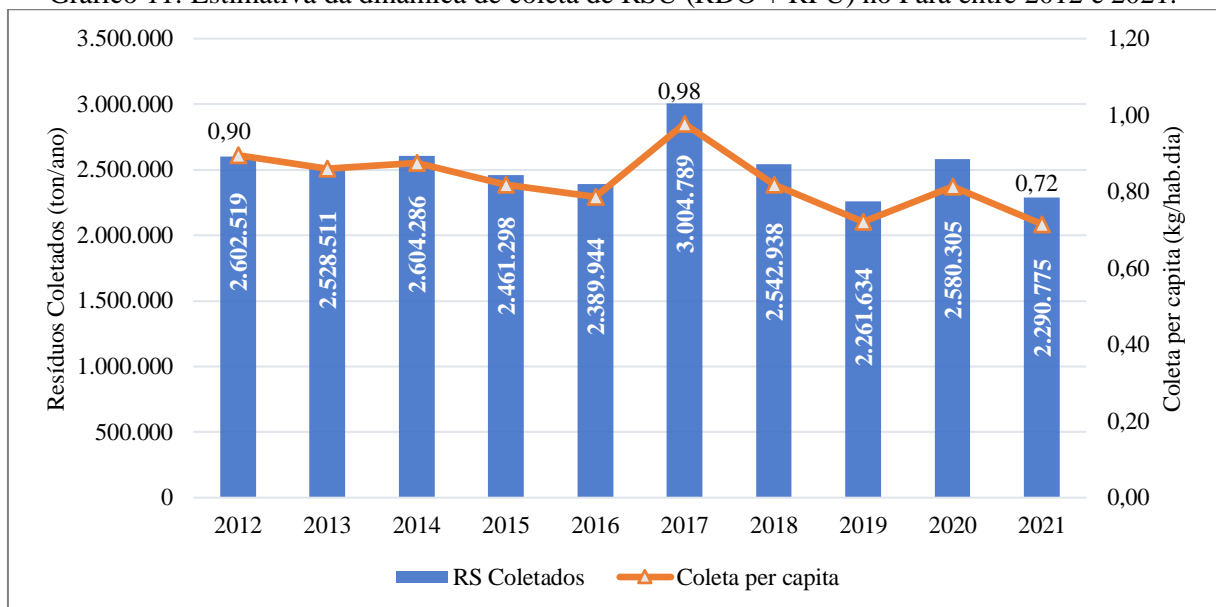
Para alcance do segundo objetivo específico foram realizadas as atividades descritas na metodologia para o cumprimento das Etapas 2 e 3.

4.2.1. Diagnóstico Situacional das Destinações Finais de RSU Aplicadas no Estado do Pará

É consenso na literatura que a geração de RSU em uma sociedade está diretamente relacionada ao comportamento humano, podendo aumentar ou diminuir dependendo de aspectos políticos e socioeconômicos com especial destaque à educação/conscientização ambiental e ao planejamento urbano.

O Estado do Pará não difere da tendência brasileira (Gráfico 1), em que ocorre uma certa estagnação quanto ao volume de RSU gerados ao longo do tempo, apesar do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico demonstrado pelo estado nos últimos anos (Gráfico 6). Nesse sentido, no Gráfico 11 é apresentada uma estimativa da coleta de RSU a partir da quantidade desse tipo de resíduo coletado nos municípios do estado entre os anos de 2012 e 2021.

Gráfico 11: Estimativa da dinâmica de coleta de RSU (RDO + RPU) no Pará entre 2012 e 2021.



Fonte: Adaptado de SNIS (2022).

Observando-se o gráfico acima, constata-se que nos últimos 10 anos, apesar do crescimento populacional e econômico constante do Estado do Pará, a massa coletada de RSU apresentou certa estagnação, obtendo até mesmo uma leve tendência de queda ao analisar de modo mais criterioso, uma vez que a coleta *per capita* reduziu de 0,90 a 0,72 ao longo dos anos, adquirindo uma média para esse período de 0,81 kg/hab.dia. Esse comportamento pode ser explicado, dentre outros, devido ao avanço das gestões municipais no gerenciamento dos RSU,

bem como uma maior conscientização do problema ambiental pela população (SILVA *et al*, 2020).

De modo mais específico, a partir do valor coletado de RSU nos municípios paraenses é possível analisar, por meio das escalas populacionais desses municípios, a contribuição dos municípios de pequeno, médio e grande porte, representados pelas escalas populacionais em habitantes de 0 a 50.000, 50.000 a 100.000 e mais de 100.000, respectivamente. Na Tabela 6 são apresentados os dados de coleta dos 117 municípios que responderam o SNIS em 2021.

Tabela 6: Análise da massa coletada de RSU nos municípios paraenses, a partir de escalas populacionais, em 2021

Escalas Populacionais (habitantes)	Quantidade de municípios	Somatório dos habitantes	Coleta de RSU em ton./ano	Coleta <i>per capita</i> (kg/hab.dia)
0 - 50.000	76	1.867.382	366.077	0,54
50.000 - 100.000	23	1.498.303	450.640	0,82
mais de 100.000	18	4.566.677	1.253.580	0,75
TOTAL	117	7.932.362	2.070.298	0,72

Fonte: SNIS (2022).

Conforme é possível destacar das informações apresentadas, a maioria dos municípios do Estado do Pará analisados pelo SNIS possuem população de 0 a 50.000 habitantes. Apesar dessa categoria representar a maioria dos municípios do estado, é a que menos contribui com a coleta de resíduos que vão para a disposição final, caracterizando aproximadamente 17,7% do total coletado.

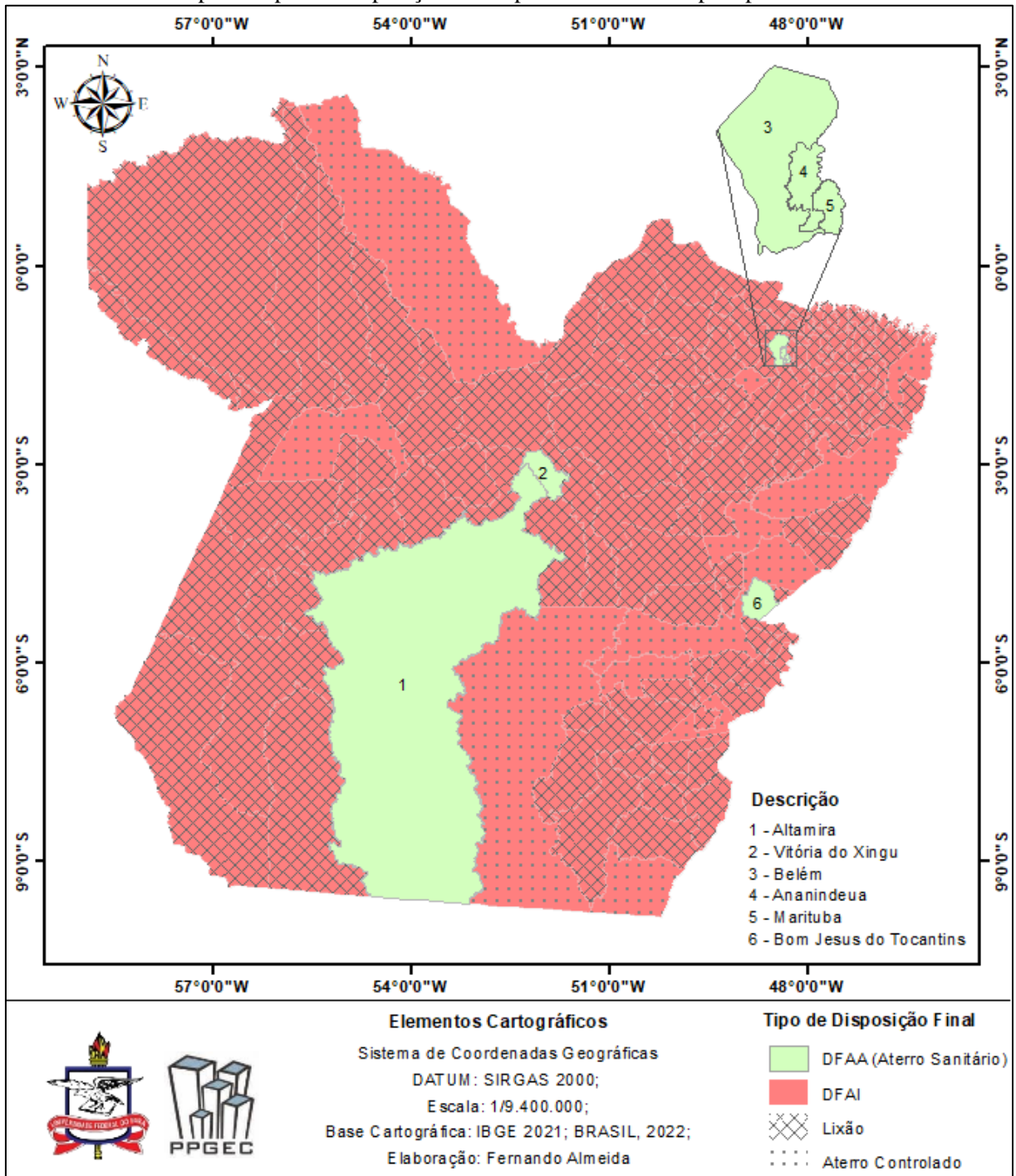
Já os 23 municípios de 50.000 a 100.000 habitantes foram os que possuíram a maior coleta *per capita* dentre as três categorias analisadas, e apesar de equivalerem a pouco menos de 1/3 da quantidade de municípios de pequeno porte (76), enviam pouco mais de 84.000 ton. de RSU às disposições finais.

Por fim, foi possível constatar que os 18 municípios categorizados com mais de 100.000 habitantes foram os que mais contribuíram com o envio da parte de RSU coletados à disposição final, representando cerca de 61% do total coletado no estado, com um valor de coleta *per capita* de 0,75 kg/hab.dia.

De modo geral, no tocante a forma de destinação final dos RSU, a gestão do serviço de limpeza urbana e manejo dos resíduos pouco avançou nos municípios paraenses, sendo priorizada a disposição final sem segregação e/ou tratamentos prévios como a reciclagem e compostagem.

No ano de 2021, dos 144 municípios paraenses, somente seis adotavam como prática de disposição final os aterros sanitários (Mapa 2), ou seja, a disposição final considerada como ambientalmente adequada na PNRS. Já os demais municípios continuam adotando práticas consideradas irregulares, sendo a maioria representada pelos lixões e seguido, em menor proporção, pelos aterros controlados (SNIS, 2022).

Mapa 2: Tipos de disposição final aplicada nos municípios paraenses.



Fonte: SNIS (2022).

No Mapa 2 é apresentada a situação dos 144 municípios paraenses quanto ao tipo de disposição final adotada no gerenciamento dos RSU, classificadas em DFAA os municípios que dispõem de aterro sanitário e DFI os municípios que ainda não cumprem o disposto pela PNRS e utilizam aterros controlados e/ou lixões como principal destinação final dos resíduos.

Os municípios que utilizam aterros sanitários como disposição final são: Altamira, Ananindeua, Belém, Bom Jesus do Tocantins, Marituba e Vitória do Xingu. Desse modo, desde a instituição da PNRS em 2010, a qual determinou a obrigatoriedade da DFAA e a erradicação dos lixões, apenas seis municípios do Estado do Pará atendem a esta determinação (BRASIL, 2022). Vale ressaltar que Ananindeua, Belém e Marituba utilizam o mesmo aterro sanitário em consórcio municipal.

Dentre os principais motivos que explicam a dificuldade dos municípios paraenses em cumprir a PNRS estão: a pouca infraestrutura, a falta recursos financeiros, a baixa educação ambiental, a inexistente ou ineficiente regulamentação, o não planejamento e as políticas públicas ineficazes.

Segundo Toneto Júnior, Saiani e Dourado (2014), muitos municípios no Brasil não possuem infraestrutura para a instalação de tratamentos e disposição final adequados para lidar com os RSU, incluindo a falta de coleta seletiva, unidades de tratamento de resíduos e aterros sanitários. Adicionado a isto, a falta de recursos financeiros pode inviabilizar a gestão dos RSU quando não se tem condições econômicas para manter os serviços ou investir em infraestrutura e programas de gestão.

Outro ponto de extrema importância é a educação e a conscientização ambiental da sociedade sobre a necessidade da gestão adequada dos RSU, visando o engajamento das comunidades e demais geradores na cooperação com os programas de gestão de resíduos implementados. Ao mesmo tempo, somente a regulação e uma fiscalização bem aplicada pode permitir que os municípios deixem de operar lixões e aterros controlados, por meio das punições previstas em lei.

Desse modo, o planejamento e a gestão adequada do serviço de manejo dos RSU podem evitar problemas durante a execução das etapas de gerenciamento e proporcionar métodos mais eficientes de coleta, tratamento e disposição final. Além disso, permite que as políticas públicas

se tornem eficazes por meio da criação de programas de incentivo e implementação de boas práticas na gestão dos RSU.

Contudo, observa-se que a maioria dos municípios paraenses atualmente descumprem o que rege a PNRS quanto à ordem de prioridade estabelecida para a gestão dos resíduos sólidos, não havendo segregação dos materiais nem tratamentos que não sejam de pequena escala antes da disposição final. Esta situação configura crime ambiental no caso dos municípios que não possuem ao menos a disposição final ambientalmente adequada, como ocorre nos 138 municípios que ainda não dispõem de um aterro sanitário para disposição dos rejeitos.

Atualmente, alguns municípios paraenses como Rondon do Pará e Itaituba estão em fase de implantação de centrais de tratamento de resíduos voltadas para a disposição final em aterro sanitário (DOE, 2022). Quanto a iniciativas de coleta seletiva e reciclagem, segundo o SNIS, apenas 10 municípios do Pará realizam a coleta de forma seletiva e 38 recuperam de alguma forma uma parcela dos resíduos gerados para reaproveitamento e reciclagem (BRASIL, 2022).

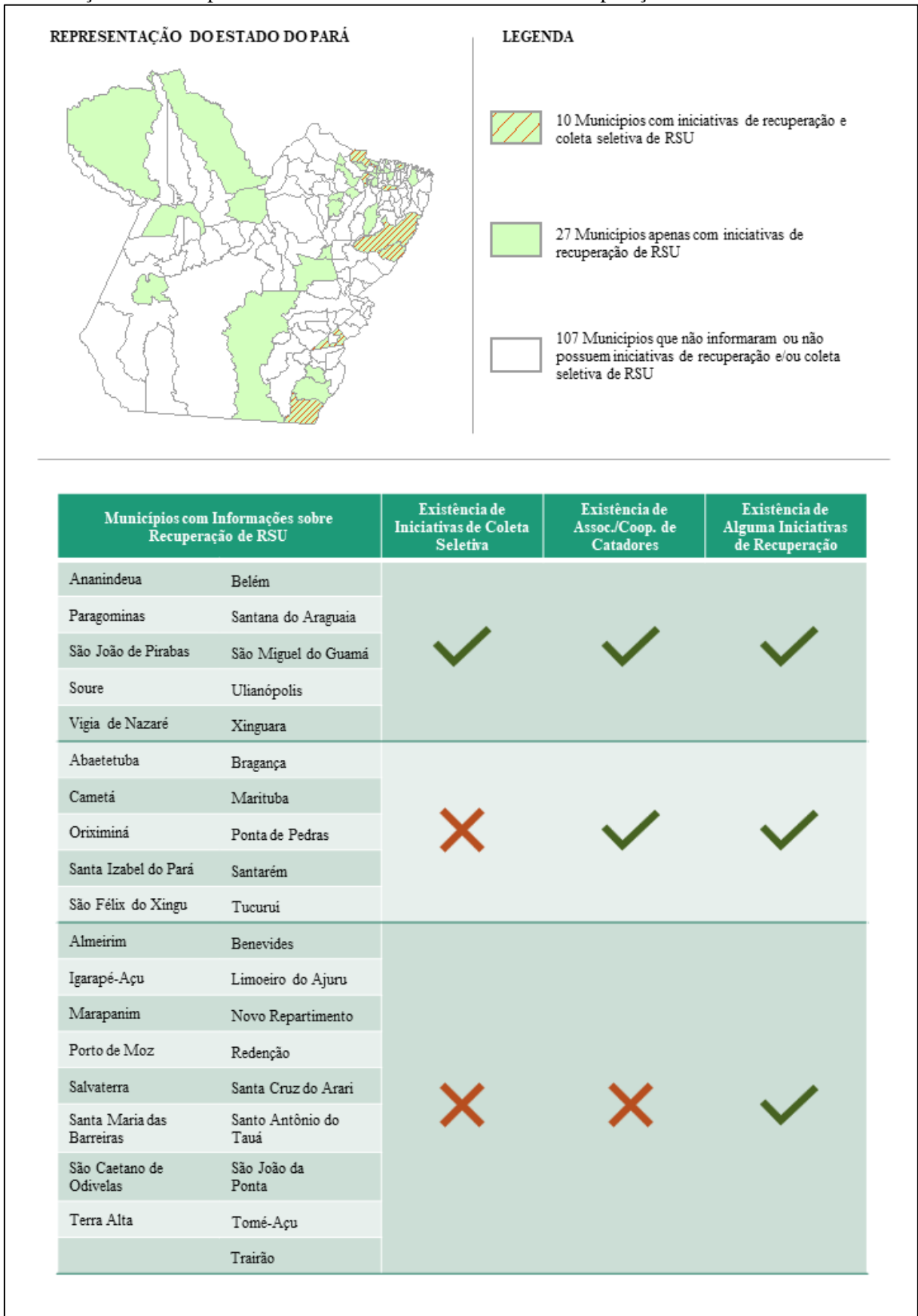
4.2.1.1. Análise da recuperação e valorização dos RSU

A falta de ações de recuperação e valorização dos RSU, bem como a inexistência ou ineficiência da DFAA pode trazer várias consequências financeiras negativas para os municípios, como o aumento do custo de operação, multas e a responsabilização por danos ambientais e de saúde. Em contrapartida, quando a gestão dos RSU é exercida de forma adequada pode gerar benefícios financeiros para os municípios, por meio da atração de investimentos para a reciclagem e outros meios de tratamento e valorização dos resíduos.

De acordo com Souza, Chaves e Alvim (2015), a simples implementação de programas de coleta seletiva, por exemplo, pode gerar emprego e renda para comunidades, além de economizar recursos naturais e incentivar a logística reversa. Todavia, uma gestão de RSU mal planejada ou não executada de forma adequada inviabiliza a instituição ou mesmo a manutenção de uma política tarifária consistente para custear as despesas da operação e o investimento para melhoria do serviço, não alcançando dessa forma a sustentabilidade financeira exigida pela legislação.

Nesse sentido, na Ilustração 7 são identificados os municípios que informaram realizar alguma iniciativa de recuperação de materiais recicláveis e os municípios que declararam possuir associações e/ou cooperativas de materiais recicláveis.

Ilustração 7: Municípios com coleta seletiva e iniciativas de recuperação de materiais recicláveis.

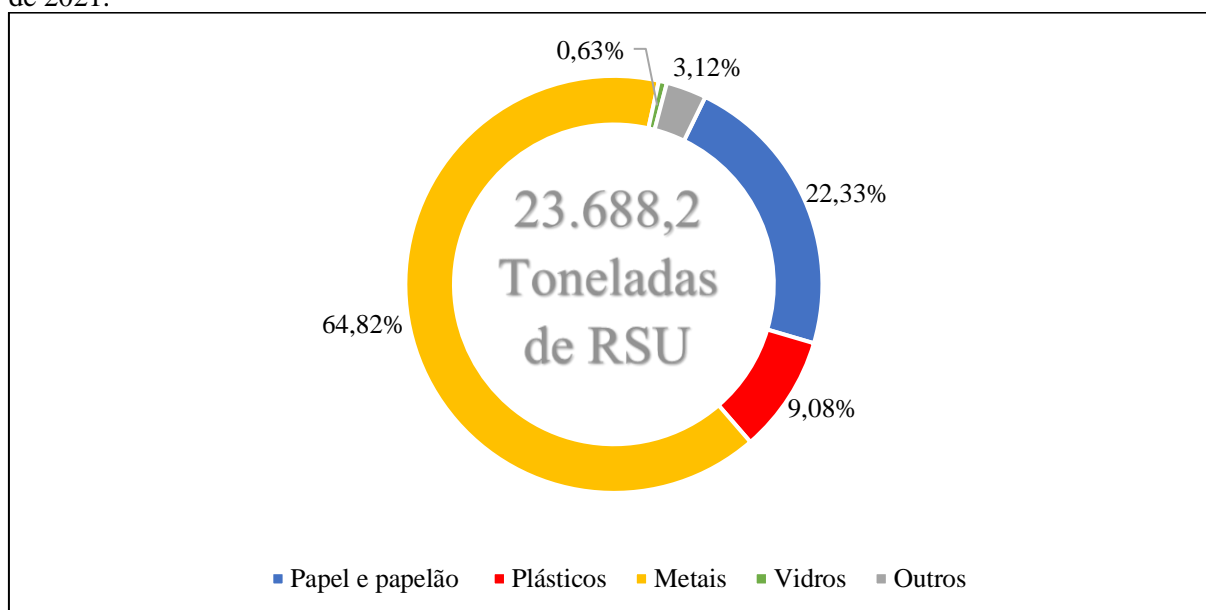


Fonte: Adaptado de SNIS (2022).

Conforme apresentado, o Estado do Pará conta atualmente com 38 associações e/ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis distribuídas em 20 municípios, dos quais apenas 10 possuem iniciativas de coleta seletiva. A capital Belém é quem detém a maior quantidade de associações/cooperativas, totalizando 11 organizações formais com mais de 1.000 colaboradores que trabalham com a valorização dos RSU (SNIS, 2022).

Complementarmente, a quantidade de materiais recicláveis recuperados em 2021 pelos municípios que declararam ter exercido alguma iniciativa nesse sentido (Ilustração 7) é de 23.688,2 toneladas, as quais se diversificam entre os seguintes tipos de material: papel e papelão, plástico, metal, vidro e outros. No Gráfico 12 a seguir é ilustrado o percentual de RSU recuperados no Estado do Pará, por tipo de material.

Gráfico 12: Percentuais dos tipos de materiais recicláveis recuperados nos municípios paraenses, no ano de 2021.



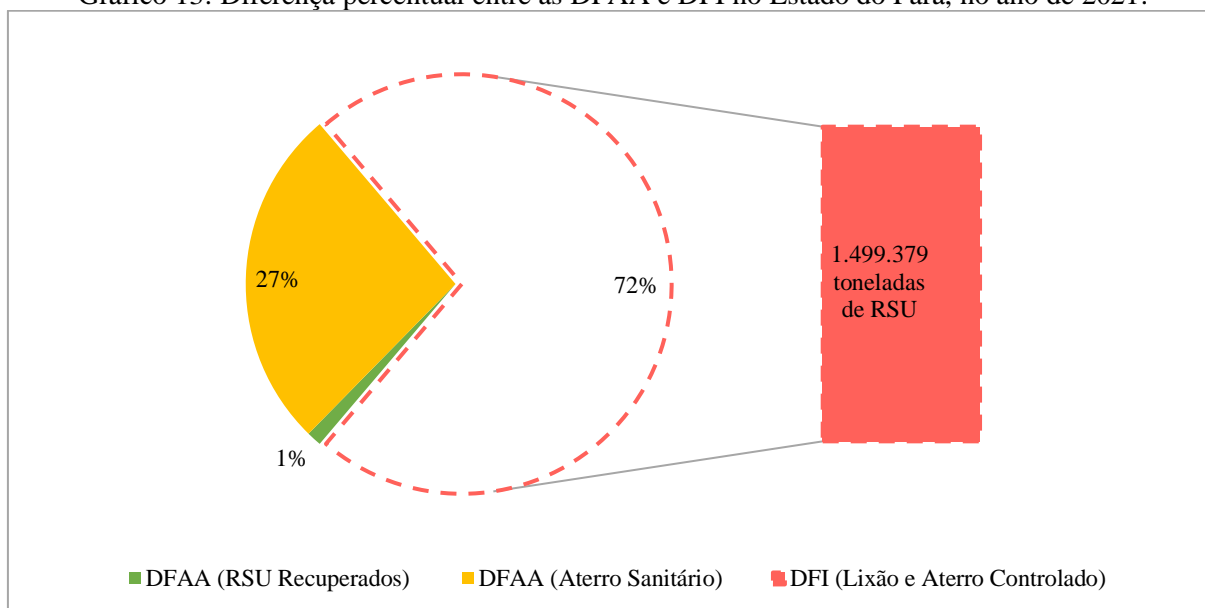
Fonte: Adaptado de SNIS (2022).

Conforme ilustrado, mais da metade dos resíduos recuperados no Estado do Pará são metais, seguido por papel/papelão, plástico, vidro e outros. No entanto, a quantidade de resíduos recuperados, somando todos os materiais, representa apenas 2,5% do total de RSU coletados nos municípios com alguma iniciativa de recuperação de resíduos. De acordo com os dados consultados, o município com o maior percentual de recuperação seria Tomé-Açu, com pouco mais de 29% dos resíduos gerados tendo sido recuperados em 2021 (SNIS, 2022).

A situação das destinações finais dissertada acima expõe a perda de oportunidades nos municípios do Estado do Pará devido a não recuperação dos RSU gerados em seu território, em

virtude da falta de iniciativas de reciclagem e de outras formas de aproveitamento econômico. Isto, além de problemas econômicos, contribui para atenuação dos impactos ambientais ocorridos por conta da DFI que ainda é largamente majoritária entre os municípios paraenses. No Gráfico 13 é ilustrado a diferença quantitativa de RSU destinados de modo adequado e inadequado, conforme as diretrizes da PNRS, no ano de 2021.

Gráfico 13: Diferença percentual entre as DFAA e DFI no Estado do Pará, no ano de 2021.



Fonte: BRASIL (2022).

Conforme é identificado no Gráfico 13, 72% da massa de RSU coletados no Estado do Pará ainda são destinados de modo ambientalmente inadequado, enquanto apenas 28% são destinados de modo adequado, sendo que destes, apenas 1% passa por algum tipo de recuperação/reaproveitamento. Esse grande volume percentual destinado de modo inadequado promove um passivo ambiental de grandes proporções.

4.2.1.2. Identificação dos Impactos Ambientais

Os impactos ambientais provenientes do gerenciamento dos RSU são variados, dos quais a maioria advém da disposição final, em especial a considerada ambientalmente inadequada, representada pelos lixões e aterros controlados. Esse tipo de disposição de resíduos sólidos, por não possuir barreiras de contenção de poluentes, como a impermeabilização da base das células e a drenagem de líquidos e gases, pode lançar contaminantes no solo, nos corpos hídricos e no ar.

Conforme já mencionado anteriormente, o Estado do Pará conta com aproximadamente 96% (138) dos seus municípios dispendo os RSU de modo inadequado, totalizando uma massa anual de aproximadamente 1.500.000 toneladas encaminhadas a lixões e aterros controlados. Considerando que desse valor, aproximadamente 50% são compostos orgânicos, significa 750.000 ton. de resíduos anualmente entrando em decomposição, principalmente anaeróbia, e produzindo GEE e chorume em grande escala e sem meios para sua contenção (SNIS, 2022).

Desse modo, constata-se que o Estado do Pará continua utilizando amplamente métodos inadequados de disposição de resíduos sólidos em todas as suas regiões, com lixões e aterros controlados que funcionam como pontos de contaminação da água subterrânea e superficial prejudicando a vida aquática e colocando em risco a saúde das pessoas que vivem nos locais de disposição e no entorno próximo. Além disso, Souto e Povinelli (2013) afirmam que os odores gerados pelos gases em decomposição, bem como pelos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), podem causar desde sintomas leves até problemas respiratórios, como asma e bronquite, sendo que a exposição prolongada pode aumentar o risco de doenças cardíacas.

Desse modo, a cultural priorização da disposição final pelas gestões municipais paraenses e o descumprimento da ordem de prioridade para o gerenciamento estabelecida na PNRS provoca a intensificação dos impactos ambientais e dos riscos à saúde humana, o que é atenuado ainda mais pelo fato das disposições finais mais utilizadas no Pará serem desprovidas das técnicas adequadas de contenção e mitigação dos poluentes e contaminantes.

4.2.2. Estimativa da Geração de Gases de Efeito Estufa Oriundos da Disposição Final dos RSU no Estado do Pará

Conforme explicitado anteriormente, apesar de a grande geração de GEE no Estado do Pará estar associada principalmente a mudança de uso da terra e florestas, o setor de resíduos sólidos no Pará ainda emite muito mais GEE do que deveria por conta da falta de planejamento e do não cumprimento ao que estabelece a PNRS, ao não seguir a ordem de prioridade para a gestão e gerenciamento dos RSU e ainda por possuir mais de 95% dos municípios dispendo seus rejeitos de modo ambientalmente inadequado.

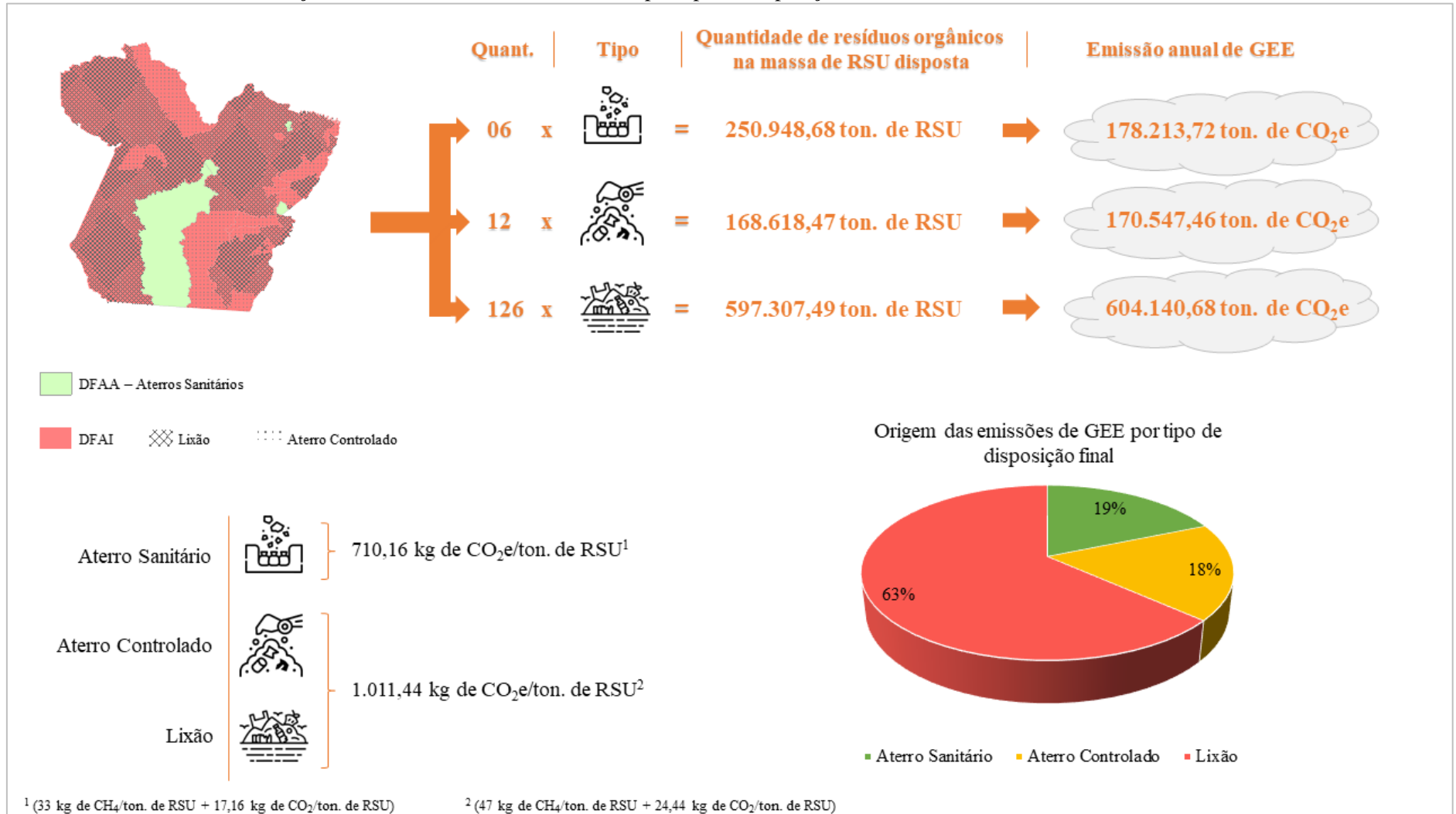
A disposição final é a etapa do gerenciamento dos resíduos sólidos que mais emite GEE, uma vez que também representa o espaço físico onde a imensa maioria dos RSU brasileiros terminam seu ciclo de vida precocemente. Nesse espaço, que pode ser ocupado por uma solução

ambientalmente adequada ou inadequada, a fração orgânica, que estatisticamente representa aproximadamente 45% da massa de RSU (Gráfico 2), é degradada quimicamente de forma ininterrupta pela decomposição anaeróbica, gerando anualmente milhões de toneladas de biogás (SINIR, 2022).

No caso dos aterros sanitários esse problema é atenuado, dada a existência da coleta e tratamento de gases, seja pela sua simples queima para transformação em CO_2 ou através do aproveitamento energético do metano. Não obstante, a diferença da emissão de metano em uma instalação de disposição final de resíduos sem coleta de gases (lixão e aterro controlado) e outra com coleta de gases (aterro sanitário) é da ordem de 14 kg de CH_4 por tonelada da massa orgânica, sendo emitidos 47 kg/ton. em uma instalação sem drenagem de gases e 33 kg/ton. em instalação com drenagem de gases (TJAM, 2020).

Tendo em vista os dados coletados e ao se analisar a situação do Pará, em que possui 138 municípios dispendo seus resíduos de modo inadequado, já é possível prever que os municípios do estado têm emitido mais GEE do que deveriam, uma vez que os municípios não têm cumprido o que estabelece a PNRS. Desse modo, na Ilustração 8 é apresentada a estimativa de geração de GEE de acordo com os tipos de disposições finais dos municípios paraenses.

Ilustração 8: Estimativa da emissão de GEE por tipo de disposição final no Estado do Pará no ano de 2021.

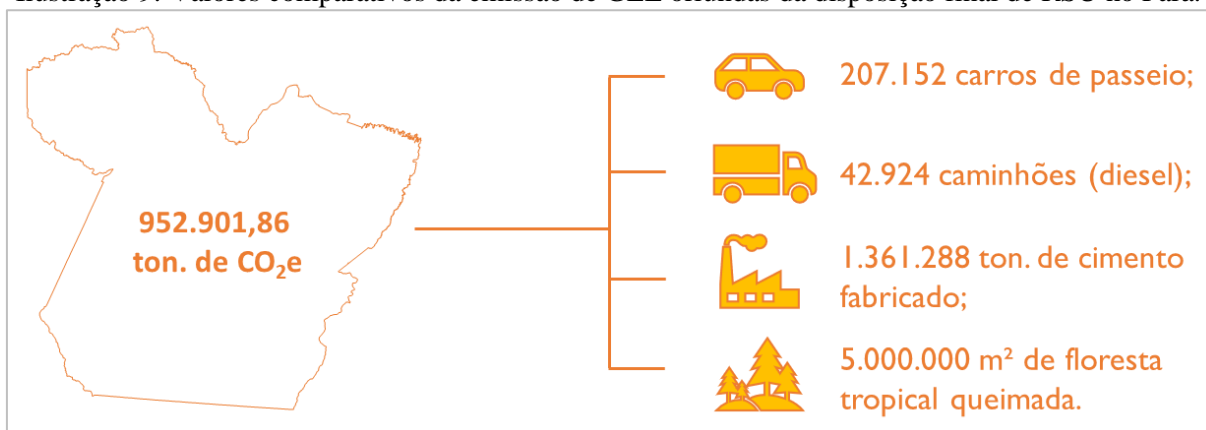


Fonte: Autor (2023).

A partir dos dados apresentados na Ilustração 8, constata-se que 63% das emissões anuais de GEE são oriundas dos lixões (604.140,68 ton. de CO₂e) e 18% de aterros controlados (170.547,46 ton. de CO₂e), totalizando 81% das emissões advindas de DFI (774.688,14 ton. de CO₂e). Se somado com as emissões advindas dos aterros sanitários, a quantidade de GEE alcança o valor de 952.901,86 ton. de CO₂e. Este cenário torna as atividades de disposição final no Estado do Pará como a maior contribuidora da emissão de GEE dentre as demais etapas do gerenciamento de RSU e, conseqüentemente, potencializadora do aquecimento global.

A modo de comparação, foram pesquisados dados acerca das emissões médias anuais de um carro de passeio movido a gasolina, de um caminhão à diesel, da produção de cimento e da área queimada de floresta tropical para se ter noção comparativa das emissões oriundas das disposições finais no Estado do Pará. Assim, a partir de dados extraídos da EPA e do IPCC, na Ilustração 9 são apresentados os valores obtidos para cada item de comparação.

Ilustração 9: Valores comparativos da emissão de GEE oriundas da disposição final de RSU no Pará.



Fonte: IPCC (2006, 2019); EPA (2020).

Sendo assim, de acordo com os dados expostos acima, é possível estimar que a emissão de um ano das atividades de disposição final dos RSU no Estado do Pará equivale aproximadamente a emissão média anual de 207.152 carros de passeio, 42.924 caminhões a diesel, a produção de 1.361.288 ton. de cimento e a queima de aproximadamente 5 km² de floresta tropical.

Contudo, para reverter esse quadro, as gestões estaduais e municipais podem promover o investimento em alternativas tecnológicas já consolidadas no Brasil e no mundo para a gestão e gerenciamento dos RSU, as quais tendem a emitir significativamente menos poluentes, reduzindo as DFI. Essas oportunidades, além de contribuírem para amenização da questão climática, promovem a geração de renda, inclusão social e atenuação da poluição ambiental.

4.3.RESULTADOS REFERENTES AO TERCEIRO OBJETIVO ESPECÍFICO.

Para alcance do terceiro objetivo específico foram realizadas as atividades descritas na metodologia para o cumprimento da Etapa 3.

4.3.1. Oportunidades para Redução da Geração de Gases de Efeito Estufa na Destinação Final de RSU, no Estado do Pará

Conforme já abordado, a PNRS tem como diretriz a ordem de prioridade para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, a qual é negligenciada pela maioria dos municípios brasileiros. No entanto, a ordem de prioridade promove a valorização dos resíduos gerados através da execução de alternativas de tratamento que quando bem aplicadas, reduzem significativamente o volume de resíduos encaminhados à disposição final e conseqüentemente as emissões e demais subprodutos poluentes.

No tocante as oportunidades possíveis de serem aplicadas no Estado do Pará, tendo em vista as dificuldades apresentadas anteriormente e as alternativas disponíveis para a mais breve redução das emissões de GEE, este trabalho sugere, em primeiro lugar, a redução da geração de resíduos, a compostagem e a substituição dos aterros controlados e lixões por aterros sanitários.

- Redução da geração de resíduos:

A redução da geração de resíduos sólidos pode contribuir para a atenuação das emissões de GEE, uma vez que, quanto menor a quantidade de resíduos sólidos gerados, menor é a demanda de energia para tratá-los, o que diminui as emissões de GEE. Além disso, ao se minimizar a geração de resíduos, reduz-se automaticamente a necessidade da disposição final de RSU, fonte significativa de emissões de GEE.

No entanto, o alcance da diminuição da geração de RSU se dá por meio da implementação de programas de educação e conscientização ambiental, com campanhas de incentivo à reciclagem e à redução de resíduos, porém que muitas vezes são negligenciados ou descontinuados pelos gestores públicos, já que os efeitos positivos não são imediatos por depender da mudança de comportamento da sociedade.

No Estado do Pará, conforme apresentado no Gráfico 11, já existe pequena tendência de queda ao longo dos anos na geração de RSU, no entanto, não existe política estadual de resíduos sólidos ou outra que aponte diretamente a necessidade da redução da geração de resíduos, o que dificulta a adesão pelos grandes geradores e contribui também para o descontrole da emissão de GEE devido ao acúmulo de resíduos orgânicos nos aterros sanitários. Em contrapartida, a Política Estadual de Meio Ambiente, em seu capítulo V, estabelece como princípio da educação ambiental no estado, os programas relacionados a exploração racional dos recursos naturais, o que influencia indiretamente na redução da geração de resíduos (PARÁ, 1995).

- Incentivo a compostagem e reciclagem:

A compostagem de resíduos orgânicos reduz a quantidade de matéria orgânica presente na massa de resíduos, o que por sua vez, reduz as emissões de CH₄ e CO₂ na disposição final. Além disso, a compostagem é uma estratégia eficaz para reduzir as emissões de GEE, com o benefício da transformação dos resíduos orgânicos em adubo ao invés do encaminhamento para aterros sanitários.

Já a reciclagem de materiais como papel, vidro, metal e plástico permite economizar recursos naturais e evitar a utilização de energia e/ou a emissão de GEE relacionados à extração, processamento e transporte de matérias-primas (TELLES, 2022).

Em suma, a reciclagem e a compostagem são estratégias importantes para ajudar a preservar os recursos naturais e minimizar as emissões de GEE relacionadas aos resíduos. No Estado do Pará, as iniciativas de recuperação de resíduos recicláveis, assim como a compostagem, ainda são incipientes e precisam de incentivo político, social e econômico.

Atualmente, o protagonismo na recuperação dos resíduos sólidos recicláveis fica por conta das associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis, presentes em pelo menos 20 municípios paraenses, em especial na capital Belém, que conta com aproximadamente 11 entidades que trabalham na recuperação dos RSU.

Em relação a compostagem, ações mais tímidas têm sido desenvolvidas, em especial por instituições de pesquisa, como é o caso da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), que atua em projetos de coleta e compostagem de resíduos orgânicos de feiras e do próprio restaurante universitário (Fotografia 1) para produção de adubo e recuperação e aproveitamento do gás metano liberado.

Fotografia 1: Projeto de aproveitamento do biogás resultante da compostagem dos resíduos orgânicos do restaurante universitário da UFRA.



Fonte: UFRA (2023).

De acordo com Kobiyama (2022), em média, a literatura considera que as emissões de GEE liberadas durante o processo da compostagem são da ordem de 56 kg de CO₂e/ton de resíduo orgânico, o equivalente a apenas 8% das emissões de um aterro sanitário e 5% de lixões e/ou aterros controlados.

- Substituição das DFI por aterros sanitários:

Os aterros sanitários foram projetados para minimizar as emissões de metano e de outros GEE, através compactação dos resíduos para reduzir a quantidade de oxigênio disponível para a decomposição, e através de sistemas de captura de metano.

O metano é um dos principais GEE estufa produzidos na disposição final de resíduos sólidos. Capturar e queimar o metano antes que ele possa ser liberado na atmosfera pode reduzir significativamente as emissões de metano. Além disso, este processo pode ser utilizado para a produção de energia térmica e elétrica sendo reaproveitada na própria instalação de disposição final ou em fonte energética a outra atividade consumidora de energia.

A captura do metano é um procedimento intrínseco aos aterros sanitários e também podem ser realizados em aterros controlados, porém nesse caso já não é um fator obrigatório, um dos motivos pelo qual esta última alternativa é classificada como DFI.

Desse modo, no Estado do Pará, os resíduos de apenas seis dos 144 municípios contam com a coleta desses gases na etapa de disposição final, e na maioria dos casos não há

aproveitamento do mesmo, sendo realizado apenas a simples queima para transformação do CH_4 em CO_2 . Todavia, no aterro de Marituba, que também recebe os RSU oriundos da capital Belém e de Ananindeua, já existe sistema de aproveitamento do metano para a geração de energia elétrica, sendo o único exemplo no estado para este tipo de aproveitamento. A estrutura montada da tecnologia citada pode ser visualizada na Fotografia 2.

Fotografia 2: Termelétrica movida a RSU instalada no Aterro Sanitário de Marituba.

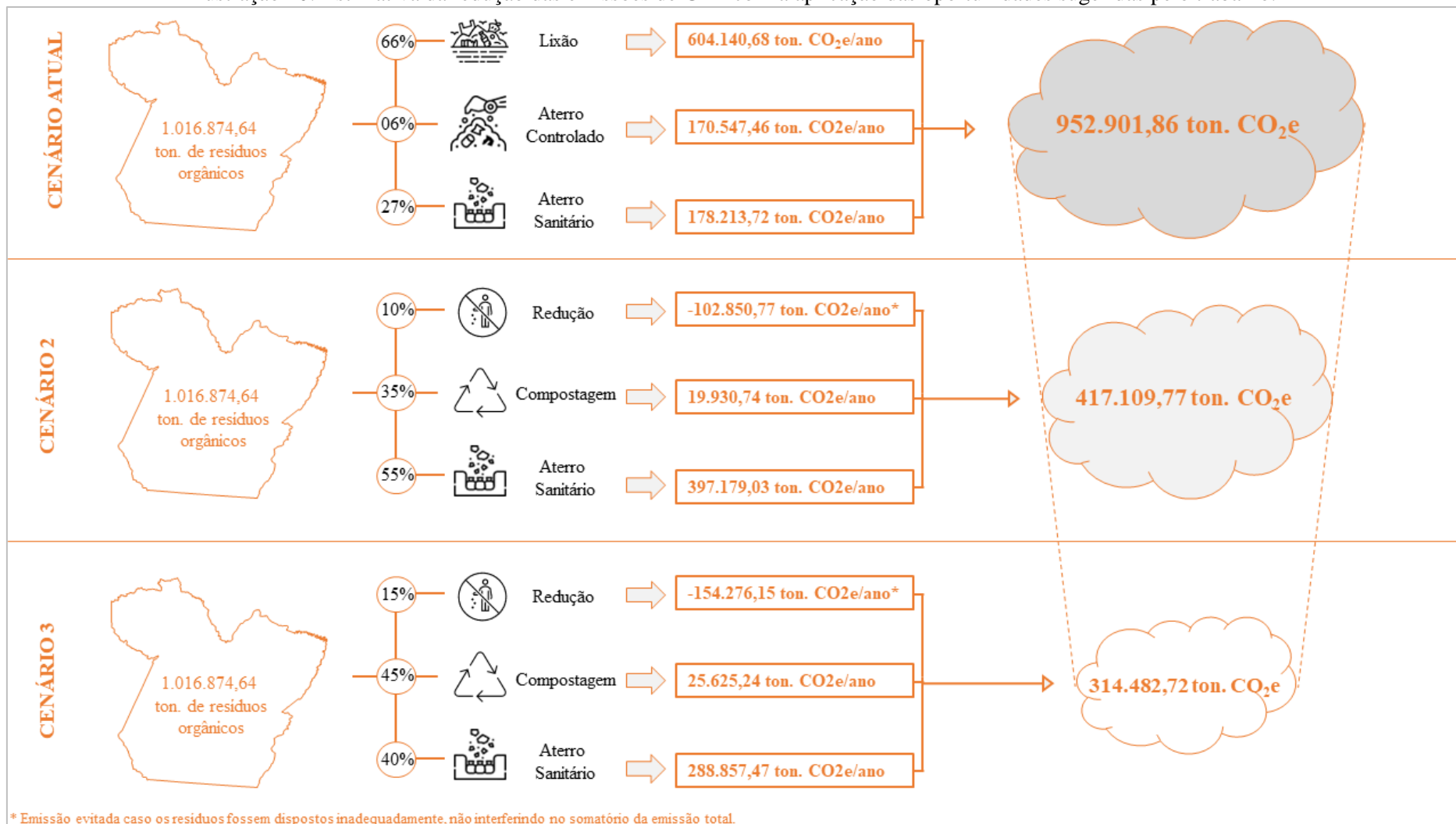


Fonte: ROMA NEWS (2023)

Sendo assim, nota-se que além da ampla substituição necessária das DFI pelas DFAA, o Estado do Pará ainda necessita de incentivos e investimentos em tecnologias semelhantes, no intuito de intensificar a redução das emissões de GEE, atendendo as demandas de proteção do clima, em consonância com os ODS da ONU.

As oportunidades identificadas, caso aplicadas no Estado do Pará, obteriam um grande impacto ambiental positivo na redução das emissões de GEE o que poderia, posteriormente, ser convertidas em créditos de carbono. Na Ilustração 10 pode ser observada a proposta de redução de GEE, comparando a situação atual com dois cenários de aplicação das oportunidades mencionadas no tópico anterior.

Ilustração 10: Estimativa da redução das emissões de GEE com a aplicação das oportunidades sugeridas pelo trabalho.



Fonte: Autor (2023).

A implementação das oportunidades sugeridas nos cenários 2 e 3 segue o estabelecido na PNRS, no caso da ordem de prioridade para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos. Isso ocorrendo impactará expressivamente na redução das emissões de GEE por RSU, em comparação com o cenário atual. Vale observar o art. 9º da Lei 12.305/2010, que estabelece:

Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010, Art. 9º).

Constata-se no cenário 2 que, ao se cumprir a determinação da PNRS referente ao não encaminhamento dos RSU à DFI, automaticamente deixa-se de emitir anualmente no Estado do Pará um montante de 604.140,68 ton. CO₂e. Concomitantemente, a redução da geração de 10% na massa de resíduos orgânicos permite a não emissão de mais de 100 toneladas de GEE em CO₂e, ao evitar o encaminhamento desses para uma DFI. Ademais, a compostagem de 35% dos resíduos orgânicos emite apenas 10% do que esses resíduos emitiriam caso também fossem destinados ao aterro sanitário, mesmo com a queima dos gases.

Já no cenário 3, em que se pressupõe o aumento do percentual de não geração dos resíduos orgânicos para 15%, bem como da maior massa compostada (45%), as emissões são reduzidas ainda mais, caracterizando uma redução de 25% em relação ao cenário 2 e de 67% em relação ao cenário atual.

Contudo, com os resultados obtidos por meio dos cenários 2 e 3 foi possível observar que ao se cumprir a determinação da PNRS para eliminação das DFI e a implantação de medidas exequíveis a nível municipal, como a redução de até 15% na geração de resíduos orgânicos e a implementação da compostagem em larga escala (até 45%) para o tratamento da matéria orgânica da massa de RSU, pode-se alcançar resultados extremamente positivos na redução das emissões anuais de GEE no Estado do Pará.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados da pesquisa, é possível concluir que a disposição inadequada dos RSU em lixões e aterros controlados em 96% dos municípios paraenses tem sido um grande fator contribuinte para essa emissão de gases de efeito estufa, que foi estimada em 952.901,86 ton. de CO₂e na destinação final nos 144 municípios paraenses no ano de 2021.

Apesar de representar apenas 1% das emissões de GEE no Estado do Pará, o setor de RSU contribui de modo significativo para a poluição do meio ambiente, pois libera valor de GEE superior ao recomendado em práticas com alternativas ambientalmente adequadas.

Desse modo, as propostas e estimativas dos cenários estabelecidos foram realizadas com base na legislação vigente, tendo como objetivo a redução das emissões de GEE por meio das principais oportunidades consideradas como: a redução da geração de resíduos, substituição dos lixões e aterros controlados por aterros sanitários e aplicação de compostagem em larga escala.

Com o prognóstico do Cenário 3 foi possível constatar redução de até 67% das emissões de GEE geradas pelos RSU no estado e cumprir com o que determina a PNRS no sentido de extinguir as práticas de disposição inadequada dos resíduos.

Portanto, é imprescindível que políticas públicas e ações efetivas sejam implementadas nos municípios paraenses, para a adoção de práticas sustentáveis e ambientalmente corretas na gestão dos RSU, especialmente quanto à destinação final dos RSU, visando à redução das emissões de GEE e, conseqüentemente, contribuindo para melhorar as condições ambientais e a qualidade de vida da população paraense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Panorama do Coprocessamento: uma tecnologia sustentável**. 2021. Disponível em: <https://coprocessamento.org.br/panorama-do-coprocessamento-brasil-2022/>. Acesso em: 04 de mar. 2023.

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. **Figura ilustrativa do fluxo da reciclagem mecânica de materiais plásticos**. 2017. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-2017.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2022.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 8.419**: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. RJ, 1992.

_____. **ABNT NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. São Paulo, SP: ABRELPE, 2023. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 05 abr. 2022.

_____. **Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, SP: ABRELPE, 2015. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/estimativa-dos-custos-para-viabilizar-a-universalizacao-da-destinacao-adequada-de-residuos-solidos-no-brasil/>. Acesso em: 05 abr. 2022.

ADHB – Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. **Ranking 2021**. 2022. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/ranking>. Acesso em: 08 mar. 2023.

AMBIENTAL PIRACICABA. TMB – Tratamento Mecânico e Biológico. Base Lunar Produtora, 29 de setembro de 2017, 0:03:18. Vídeo, 15 mar. 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wVbHR-zxLJU>.

BANCO MUNDIAL. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. World Bank Publications, 2018. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 02 mai. 2022.

BARBOSA, Rildo Pereira; IBRAHIN, Francini Imene Dias. **Resíduos Sólidos: impactos, manejo e gestão ambiental**. 1 ed. São Paulo, SP: Érica, 2014. 176 p.

BESEN, Gina Rizpah; JACOBI, Pedro Roberto; FREITAS, Luciana. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Implementação e Monitoramento de Resíduos Urbanos**. 1 ed. São Paulo, SP: IEEUSP: OPNRS, 2017. 171 p.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento. **Como funcionam os mercados de carbono?**. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/blogdodesenvolvimento/detalhe/Infografico-como-funcionam-os-mercados-de-carbono/>. Acesso em 21 mar. 2023.

BOSCO, Tatiane Cristina Dal. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmica**. São Paulo, SP: Editora Blucher, 2017. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580392371/>. Acesso em: 18 mar. 2023.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

_____. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 13 fev. 2020.

_____. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 12 jan. 2022.

_____. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 05 jan. 2007.

_____. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 02 ago. 2010.

_____. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 15 jul. 2020.

_____. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. **Caderno Temático: Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2019a. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/saneamento/plansab/consulta-publica/cadernos-tematicos>. Acesso em: 20 abr. 2022.

_____. Portaria Interministerial nº 274, de 30 de abril de 2019b. Disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos referida no § 1º do art. 9º da Lei nº 12.305, de 2010 e no art. 37 do Decreto nº 7.404, de 2010. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 02 mai. 2019.

_____. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 17 fev. 1986.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Perfil da Indústria nos Estados: Pará**. 2021. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/pa>. Acesso em: 09 mar. 2023.

COSTA, Sandro Luiz. **Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: aspectos jurídicos e ambientais**. 1 ed. Aracajú, SE: Evocati, 2011. 238 p.

DEUS, Rafael Mattos; BATTISTELLE; Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. Resíduos Sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 685-698, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jLnBfyWrW7MPPVZSz46B8JG/>. Acesso em: 05 abr. 2022.

DOE PARÁ. Diário Oficial do Estado do Pará. 2022. Disponível em: <https://www.ioepa.com.br/portal/>. Acesso em: 27 dez. 2022.

EPA. Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. **Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2018**. (2020). Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2018>. Acesso em: 01 de jan. 2023.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 15 abr. 2023.

EUROSTAT. **Waste Management and Energy Recovery**. 2016. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>. Acesso em: out. 2018.

FAPESPA – Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. **Anuário Estatístico do Pará 2022**. Disponível em: <https://fapespa.pa.gov.br/sistemas/anuario2022/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, José Maria; GRINDLAY, Alejandro Luis; SERRANO-BERNARDO, Francisco; ROJAS, María Isabel Rodríguez; ZAMORANO, Montserrat. Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. 2017. **Waste Management**, v. 67, p. 360-374. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17303057?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FOSTER, Allan; ROBERTO, Samanta Souza; IGARI, Alexandre Toshiro. Economia Circular e Resíduos Sólidos: Uma Revisão Sistemática sobre a Eficiência Ambiental e Econômica. *In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, 2016, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2016. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

GCA – Global Carbon Atlas. **CO2 Emissions: ranking top 20**. 2022. Disponível em: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>. Acesso em: 16 mar. 2023.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa nº 13, de 18 de dezembro de 2012. Publicar a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos, a qual será utilizada pelo Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, pelo Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental e pelo Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos, bem como por futuros sistemas informatizados do Ibama que possam vir a tratar de resíduos sólidos. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 20 dez. 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Pará. Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/panorama>. Acesso em: 04 mar. 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Terra Brasilis: Desmatamento nos Biomas Brasileiros - Amazônia Legal**. 2022. Disponível em: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates. Acesso em: 10 mar. 2023.

IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental na Amazônia. **Cartilhas: o que é e como funciona o mercado de carbono?**. 2023. Disponível em: <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/>. Acesso em 20 mar. 2023.

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**. 2006. IGES, Japão.
_____. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2019. IPCC, Suíça.

KOBIYAMA, Sachi Espindola. **Avaliação das Emissões de Gases de Efeito Estufa no Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Análise das Emissões Diretas e Evitadas de Dióxido de Carbono Equivalente**. 2022. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MARCA AMBIENTAL. **Geração de energia: biogás de aterro sanitário**. 2019. Disponível em: <https://marcaambiental.com.br/geracao-de-energia-biogas-de-aterro-sanitario/>. Acesso em: 06 mar. 2023.

MATTOS, Flávio Vassallo; PINHO, Giusilene Costa De Souza; RAMALHO, José Carlos Martins; CALMON, João Luiz; SIMAN, Renato Ribeiro. A gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos com base na ACV, AECV e ACVS: perspectivas e caminhos para o Brasil e países em desenvolvimento. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 22763 – 22774, 2022. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/45915>. Acesso em: 07 abr. 2022.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Sistema de Registro Nacional de Emissões – SIRENE. 2022. **Emissões de GEE por subsetor**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/participacao-de-emissoes-de-gee-por-subsetor>. Acesso em: 18 jan. 2023.

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021**. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS: Brasília, DF, 2021. 223 p.

OLIVEIRA, Marcos José de; VECCHIA, Francisco Arthur Silva. Mudanças Climáticas. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (Org.). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2013. p. 366-401.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Sobre o Nosso Trabalho para Alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 11 fev. 2023.

PARÁ. Lei Ordinária nº 5.887, de 09 de maio de 1995. Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**: Belém, PA, 11 mai. 1995.

PEJON, Osni José; RODRIGUES, Valéria Guimarães Silvestre; ZUQUETTE, Lázaro Valentin. Impactos Ambientais sobre o Solo. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (Org.). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2013. p. 317-343.

PINHO, Paulo Maurício. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Amazônia Brasileira**. 1 ed. São Paulo, SP: Biblioteca 24 Horas, 2017. 84 p.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Fatos sobre o metano**. 2023. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/explore-topics/energy/fatos-sobre-o-metano>. Acesso em: 18 mar. 2023.

PRATES, Luisa Ferolla Spyer; PIMENTA, Cristiane. F.; RIBEIRO, Henrique. F. Alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos. **APPREHENDERE – Aprendizagem & Interdisciplinaridade**, v. 1, n. 2 (Edição Especial), 2019.

ROMA NEWS. **Termelétrica movida a resíduos sólidos irá gerar energia renovável no aterro sanitário de Marituba**. 2023. Disponível em: <https://romanews.com.br/166280/termelétrica-movida-a-residuos-solidos-ira-gerar-energia-renovavel-no-aterro-sanitario-de-marituba/>. Acesso em: 02 mar. 2023.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Emissões: Estados**. 2022. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SILVA, Cristine Santos de S. da; BOLL, Natália; ZANIN, Gabrielle Brehm; PERETTI, Gabriela; SOUZA, Denise Santos de. Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Tecnologia e Sociedade**, 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/11815>. Acesso em: 18 abr. 2022.

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: 15 abr. 2023.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel de Informações sobre Saneamento**. 2022. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>. Acesso em: 10 mar. 2022.

_____. **Diagnóstico Temático: Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos – Gestão Administrativa e Financeira**. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Saneamento, 2022. 49 p.

SOUTO, Gabriel D'arrigo De Brito; POVINELLI, Jurandy. Resíduos Sólidos. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (Org.). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2013. p. 565-588.

SOUZA, Osmar Tomaz De; CHAVES, Iara Regina; ALVIM, Augusto Mussi. Reciclagem e Gestão de Resíduos Sólidos como Possibilidades para a Geração de Benefícios Sociais, Econômicos e Ambientais. **Revista Grifos**, n. 38/39, 2015.

STYLOURBANO. **Coleta de lixo subterrânea e a vácuo torna as cidades mais limpas e sustentáveis**. [Imagem]. 2020. Disponível em: <https://www.stylourbano.com.br/coleta-de-lixo->

subterranea-e-a-vacuo-torna-as-cidades-mais-limpas-e-sustentaveis/. Acesso em: 06 de mar. 2023.

SZIGETHY, Leonardo; ANTENOR, Samuel. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**, Brasília, 9 jul. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politic-os-e-economicos>. Acesso em: 27 mar. 2022.

TELLES, Dirceu D. **Resíduos sólidos: gestão responsável e sustentável**. São Paulo, SP: Editora Blucher, 2022. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555061055/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

TISI, Yuri Schmitke Almeida Belchior. **Waste-To-Energy: Recuperação energética como forma ambientalmente adequada de destinação dos resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, RJ: Synergia, 2019. 240 p.

TJAM. Tribunal de Justiça do Estado do Amazonas. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – Resíduos Sólidos: resíduos orgânicos**. Manaus, AM: EASTJAM, 2020. 10 p.

UFRA. Universidade Federal Rural da Amazônia. **Aproveitamento de Biogás do RU**. 1 fotografia, 2023.

TONETO JÚNIOR, Rudinei.; SAIANI, Carlos César S.; DOURADO, Juscelino. **Resíduos Sólidos no Brasil: Oportunidades e Desafios da Lei Federal n. 12.305 (Lei de Resíduos Sólidos)**. Barueri, SP: Editora Manole, 2014. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520449240/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

WENDLAND, Edson; MARIN, Ivan Silvestre Paganini. Contaminação de Águas Subterrâneas. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (Org.). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2013. p. 269-293.

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

Município	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 ₂ em toneladas	Emissão de CH ₄ em toneladas	Emissão de CO ₂ e em toneladas
Água Azul do Norte	lixão	5.478,79	Estimado	2.481,89	60,66	116,65	2.510,28
Abaetetuba	Aterro Controlado	32.076,00	2021	14.530,43	355,12	682,93	14.696,66
Abel Figueiredo	lixão	1.000,00	2021	453,00	11,07	21,29	458,18
Acará	lixão	1.800,00	2019	815,40	19,93	38,32	824,73
Afuá	lixão	3.423,00	2021	1.550,62	37,90	72,88	1.568,36
Alenquer	lixão	15.076,00	2021	6.829,43	166,91	320,98	6.907,56
Almeirim	Aterro Controlado	3.126,00	2021	1.416,08	34,61	66,56	1.432,28
Altamira	Aterro Sanitário	30.300,00	2021	13.725,90	235,54	452,95	9.747,59
Anajás	lixão	5.760,00	2021	2.609,28	63,77	122,64	2.639,13
Ananindeua	Aterro Sanitário	133.209,60	2021	60.343,95	1035,50	1991,35	42.853,86
Anapu	lixão	15.000,00	2021	6.795,00	166,07	319,37	6.872,73
Augusto Corrêa	lixão	9.360,00	2021	4.240,08	103,63	199,28	4.288,59
Aurora do Pará	lixão	2.531,00	2021	1.146,54	28,02	53,89	1.159,66
Aveiro	lixão	522,00	2021	236,47	5,78	11,11	239,17
Bagre	lixão	1.136,00	2020	514,61	12,58	24,19	520,50
Baião	lixão	18.000,00	2021	8.154,00	199,28	383,24	8.247,28
Bannach	lixão	638,41	Estimado	289,20	7,07	13,59	292,51
Barcarena	lixão	26.309,60	2021	11.918,25	291,28	560,16	12.054,59
Belém	Aterro Sanitário	363.957,00	2021	164.872,52	2829,21	5440,79	117.085,87
Belterra	lixão	2.920,00	2021	1.322,76	32,33	62,17	1.337,89
Benevides	lixão	27.214,00	2021	12.327,94	301,29	579,41	12.468,97
Bom Jesus do Tocantins	Aterro Sanitário	440,00	2021	199,32	3,42	6,58	141,55
Bonito	lixão	180,00	2018	81,54	1,99	3,83	82,47
Bragança	lixão	28.272,00	2021	12.807,22	313,01	601,94	12.953,73
Brasil Novo	lixão	4.374,00	2021	1.981,42	48,43	93,13	2.004,09

Município	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 ₂ em toneladas	Emissão de CH ₄ em toneladas	Emissão de CO ₂ e em toneladas
Brejo Grande do Araguaia	lixão	1.200,00	2021	543,60	13,29	25,55	549,82
Breu Branco	lixão	23.000,00	2021	10.419,00	254,64	489,69	10.538,19
Breves	lixão	30.000,00	2021	13.590,00	332,14	638,73	13.745,47
Bujaru	lixão	3.600,00	2021	1.630,80	39,86	76,65	1.649,46
Cachoeira do Arari	lixão	372,00	2020	168,52	4,12	7,92	170,44
Cachoeira do Piriá	lixão	4.832,00	2021	2.188,90	53,50	102,88	2.213,94
Cametá	lixão	26.568,00	2021	12.035,30	294,14	565,66	12.172,99
Canaã dos Carajás	Aterro Controlado	20.141,60	2019	9.124,14	222,99	428,83	9.228,53
Capanema	lixão	25.000,00	2021	11.325,00	276,78	532,28	11.454,56
Capitão Poço	lixão	16.325,31	Estimado	7.395,37	180,74	347,58	7.479,97
Castanhhal	lixão	119.869,00	2021	54.300,66	1.327,11	2.552,13	54.921,86
Chaves	lixão	1.000,00	2021	453,00	11,07	21,29	458,18
Colares	lixão	3.000,00	2021	1.359,00	33,21	63,87	1.374,55
Conceição do Araguaia	lixão	8.886,00	2021	4.025,36	98,38	189,19	4.071,41
Concórdia do Pará	lixão	3.957,00	2021	1.792,52	43,81	84,25	1.813,03
Cumaru do Norte	lixão	144,00	2021	65,23	1,59	3,07	65,98
Curionópolis	lixão	3.501,28	Estimado	1.586,08	38,76	74,55	1.604,22
Currálinho	lixão	2.714,40	2021	1.229,62	30,05	57,79	1.243,69
Curuá	lixão	2.242,00	2021	1.015,63	24,82	47,73	1.027,24
Curuçá	lixão	14.193,00	2021	6.429,43	157,14	302,18	6.502,98
Dom Eliseu	lixão	18.318,95	Estimado	8.298,48	202,81	390,03	8.393,42
Eldorado dos Carajás	lixão	12.971,30	2021	5.876,00	143,61	276,17	5.943,22
Faro	lixão	756,00	2021	342,47	8,37	16,10	346,39
Floresta do Araguaia	lixão	4.088,24	Estimado	1.851,97	45,26	87,04	1.873,16
Garrafão do Norte	lixão	5.155,15	Estimado	2.335,28	57,07	109,76	2.362,00

Município	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 CO₂ em toneladas	Emissão de CH₄ em toneladas	Emissão de CO₂e em toneladas
Goianésia do Pará	Aterro Controlado	18.600,00	2021	8.425,80	205,93	396,01	8.522,19
Gurupá	lixão	4.599,00	2021	2.083,35	50,92	97,92	2.107,18
Igarapé-Açu	lixão	12.686,90	2021	5.747,17	140,46	270,12	5.812,91
Igarapé-Miri	lixão	15.000,00	2021	6.795,00	166,07	319,37	6.872,73
Inhangapi	lixão	2.248,00	2021	1.018,34	24,89	47,86	1.029,99
Ipixuna do Pará	lixão	14.400,00	2021	6.523,20	159,43	306,59	6.597,83
Irituia	lixão	6.433,14	Estimado	2.914,21	71,22	136,97	2.947,55
Itaituba	lixão	79.920,00	2021	36.203,76	884,82	1.701,58	36.617,93
Itupiranga	lixão	15.000,00	2021	6.795,00	166,07	319,37	6.872,73
Jacareacanga	lixão	1.500,00	2021	679,50	16,61	31,94	687,27
Jacundá	lixão	6.720,00	2021	3.044,16	74,40	143,08	3.078,99
Jurutí	lixão	1.500,00	2019	679,50	16,61	31,94	687,27
Limoeiro do Ajuru	lixão	950,00	2021	430,35	10,52	20,23	435,27
Mãe do Rio	lixão	4.470,00	2021	2.024,91	49,49	95,17	2.048,07
Magalhães Barata	lixão	1.694,67	Estimado	767,69	18,76	36,08	776,47
Marabá	Aterro Controlado	51.000,00	2021	23.103,00	564,64	1085,84	23.367,30
Maracanã	lixão	5.826,08	Estimado	2.639,21	64,50	124,04	2.669,41
Marapanim	lixão	1.230,00	2021	557,19	13,62	26,19	563,56
Marituba	Aterro Sanitário	25.200,00	2021	11.415,60	195,89	376,71	8.106,90
Medicilândia	lixão	10.000,00	2021	4.530,00	110,71	212,91	4.581,82
Melgaço	lixão	1.000,00	2020	453,00	11,07	21,29	458,18
Mocajuba	lixão	4.776,00	2021	2.163,53	52,88	101,69	2.188,28
Moju	lixão	3.000,00	2021	1.359,00	33,21	63,87	1.374,55
Mojuí dos Campos	lixão	5.314,00	2021	2.407,24	58,83	113,14	2.434,78
Monte Alegre	lixão	11.800,00	2021	5.345,40	130,64	251,23	5.406,55

Município	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 ₂ em toneladas	Emissão de CH ₄ em toneladas	Emissão de CO ₂ e em toneladas
Muaná	lixão	2.100,00	2021	951,30	23,25	44,71	962,18
Nova Esperança do Piriá	lixão	3.650,00	2021	1.653,45	40,41	77,71	1.672,37
Nova Ipixuna	lixão	5.045,00	2021	2.285,39	55,85	107,41	2.311,53
Nova Timboteua	lixão	3.491,00	2021	1.581,42	38,65	74,33	1.599,51
Novo Progresso	lixão	9.152,00	2021	4.145,86	101,32	194,86	4.193,28
Novo Repartimento	lixão	12.000,00	2021	5.436,00	132,86	255,49	5.498,19
Óbidos	lixão	19.248,00	2021	8.719,34	213,10	409,81	8.819,09
Oeiras do Pará	lixão	9.500,00	2021	4.303,50	105,18	202,26	4.352,73
Oriximiná	lixão	44.082,00	2021	19.969,15	488,05	938,55	20.197,59
Ourém	lixão	1.680,00	2021	761,04	18,60	35,77	769,75
Ourilândia do Norte	lixão	17.000,00	2019	7.701,00	188,21	361,95	7.789,10
Pacajá	lixão	3.500,00	2021	1.585,50	38,75	74,52	1.603,64
Palestina do Pará	lixão	1.857,00	2021	841,22	20,56	39,54	850,84
Paragominas	Aterro Controlado	39.078,00	2021	17.702,33	432,65	832,01	17.904,85
Parauapebas	Aterro Controlado	58.207,00	2021	26.367,77	644,43	1239,29	26.669,42
Pau D'Arco	lixão	300,00	2021	135,90	3,32	6,39	137,45
Peixe-Boi	lixão	877,00	2021	397,28	9,71	18,67	401,83
Piçarra	lixão	2.000,00	2020	906,00	22,14	42,58	916,36
Placas	lixão	3.125,00	2021	1.415,63	34,60	66,53	1.431,82
Ponta de Pedras	lixão	9.020,00	2021	4.086,06	99,86	192,04	4.132,80
Portel	lixão	19.104,62	Estimado	8.654,39	211,51	406,76	8.753,40
Porto de Moz	lixão	2.190,00	2021	992,07	24,25	46,63	1.003,42
Prainha	lixão	4.560,00	2021	2.065,68	50,49	97,09	2.089,31
Primavera	lixão	1.641,00	2021	743,37	18,17	34,94	751,88
Quatipuru	lixão	1.549,00	2021	701,70	17,15	32,98	709,72

Município	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 ₂ em toneladas	Emissão de CH ₄ em toneladas	Emissão de CO ₂ e em toneladas
Redenção	lixão	50.914,00	2021	23.064,04	563,69	1084,01	23.327,89
Rio Maria	lixão	6.950,00	2021	3.148,35	76,95	147,97	3.184,37
Rondon do Pará	Aterro Controlado	29.137,60	2021	13.199,33	322,59	620,37	13.350,33
Rurópolis	lixão	10.950,00	2021	4.960,35	121,23	233,14	5.017,10
Salinópolis	lixão	8.113,42	Estimado	3.675,38	89,83	172,74	3.717,43
Salvaterra	lixão	10.000,00	2021	4.530,00	110,71	212,91	4.581,82
Santa Bárbara do Pará	lixão	260,00	2021	117,78	2,88	5,54	119,13
Santa Cruz do Arari	lixão	3.212,00	2021	1.455,04	35,56	68,39	1.471,68
Santa Izabel do Pará	lixão	22.790,00	2021	10.323,87	252,32	485,22	10.441,98
Santa Luzia do Pará	lixão	5.120,00	2021	2.319,36	56,69	109,01	2.345,89
Santa Maria das Barreiras	lixão	4.000,00	2021	1.812,00	44,29	85,16	1.832,73
Santa Maria do Pará	lixão	3.500,00	2021	1.585,50	38,75	74,52	1.603,64
Santana do Araguaia	lixão	10.854,30	2021	4.917,00	120,17	231,10	4.973,25
Santarém	Aterro Controlado	106.475,00	2021	48.233,18	1.178,82	2.266,96	48.784,96
Santarém Novo	lixão	1.339,49	Estimado	606,79	14,83	28,52	613,73
Santo Antônio do Tauá	lixão	3.850,00	2021	1.744,05	42,62	81,97	1.764,00
São Caetano de Odivelas	lixão	1.800,00	2021	815,40	19,93	38,32	824,73
São Domingos do Araguaia	lixão	6.200,00	2021	2.808,60	68,64	132,00	2.840,73
São Domingos do Capim	lixão	6.363,37	Estimado	2.882,61	70,45	135,48	2.915,58
São Félix do Xingu	lixão	16.547,00	2021	7.495,79	183,20	352,30	7.581,54
São Francisco do Pará	lixão	3.850,00	2021	1.744,05	42,62	81,97	1.764,00
São Geraldo do Araguaia	lixão	9.002,80	2020	4.078,27	99,67	191,68	4.124,92
São João da Ponta	lixão	336,00	2021	152,21	3,72	7,15	153,95
São João de Pirabas	lixão	2.753,00	2021	1.247,11	30,48	58,61	1.261,38
São João do Araguaia	lixão	2.780,10	Estimado	1.259,39	30,78	59,19	1.273,79

Município	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 ₂ em toneladas	Emissão de CH ₄ em toneladas	Emissão de CO ₂ e em toneladas
São Miguel do Guamá	lixão	12.460,40	2021	5.644,56	137,95	265,29	5.709,13
São Sebastião da Boa Vista	lixão	4.249,00	2021	1.924,80	47,04	90,47	1.946,82
Sapucaia	lixão	1.635,20	2021	740,75	18,10	34,82	749,22
Senador José Porfírio	lixão	5.000,00	2021	2.265,00	55,36	106,46	2.290,91
Soure	lixão	14.800,00	2021	6.704,40	163,86	315,11	6.781,10
Tailândia	lixão	10.216,00	2021	4.627,85	113,10	217,51	4.680,79
Terra Alta	lixão	3.400,00	2021	1.540,20	37,64	72,39	1.557,82
Terra Santa	lixão	2.117,00	2021	959,00	23,44	45,07	969,97
Tomé-Açu	lixão	27.000,00	2021	12.231,00	298,93	574,86	12.370,92
Tracuateua	lixão	6.218,30	Estimado	2.816,89	68,84	132,39	2.849,12
Trairão	lixão	380,00	2021	172,14	4,21	8,09	174,11
Tucumã	lixão	11.853,00	2021	5.369,41	131,23	252,36	5.430,84
Tucuruí	lixão	76.376,00	2021	34.598,33	845,58	1626,12	34.994,13
Ulianópolis	lixão	10.912,00	2021	4.943,14	120,81	232,33	4.999,69
Uruará	lixão	8.947,35	Estimado	4.053,15	99,06	190,50	4.099,52
Vigia	lixão	29.882,00	2021	13.536,55	330,83	636,22	13.691,40
Viseu	lixão	14.200,00	2021	6.432,60	157,21	302,33	6.506,19
Vitória do Xingu	Aterro Sanitário	864,00	2021	391,39	6,72	12,92	277,95
Xinguara	Aterro Controlado	14.385,00	2021	6.516,41	159,26	306,27	6.590,95
TOTAL							952.901,86