

Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos e a Geração de Gases de Efeito Estufa no Estado do Pará.

Fernando Felipe Soares Almeida

Doutorando, Instituto de Tecnologia, ITEC-UFPA, Brasil.
f.felipealmeida@uol.com.br

José Almir Rodrigues Pereira

Professor Doutor, Instituto de Tecnologia, ITEC-UFPA, Brasil.
rpereira@ufpa.br

RESUMO

Estuda a emissão de gases de efeito estufa - GEE resultante da disposição final de resíduos sólidos urbanos 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 3 etapas, sendo verificado o quantitativo das emissões de GEE no Estado do Pará (Etapa 1), contribuição dos setores responsáveis pelas emissões do estado (Etapa 2) e analisada as emissões de GEE no setor de RSU (Etapa 3). 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 apenas 1% dos GEE, foi verificado que 138 dos 144 municípios paraenses ainda encaminham os RSU para lixões e aterros controlados. Com a pesquisa foi constatada 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: Urbanização. Resíduos Sólidos. Efeito Estufa.

1 INTRODUÇÃO

A urbanização e o desenvolvimento das cidades têm sido acompanhados pelo aumento da geração de Gases de Efeito Estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂), o gás metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Esses gases têm um impacto significativo na qualidade de vida da população, com consequências para a saúde humana e para o meio ambiente. Um exemplo é o aumento da temperatura urbana, por meio da intensificação do fenômeno conhecido como ilhas de calor, que pode atingir níveis de até 10°C acima do normal, afetando principalmente crianças e idosos (BARROS, 2020).

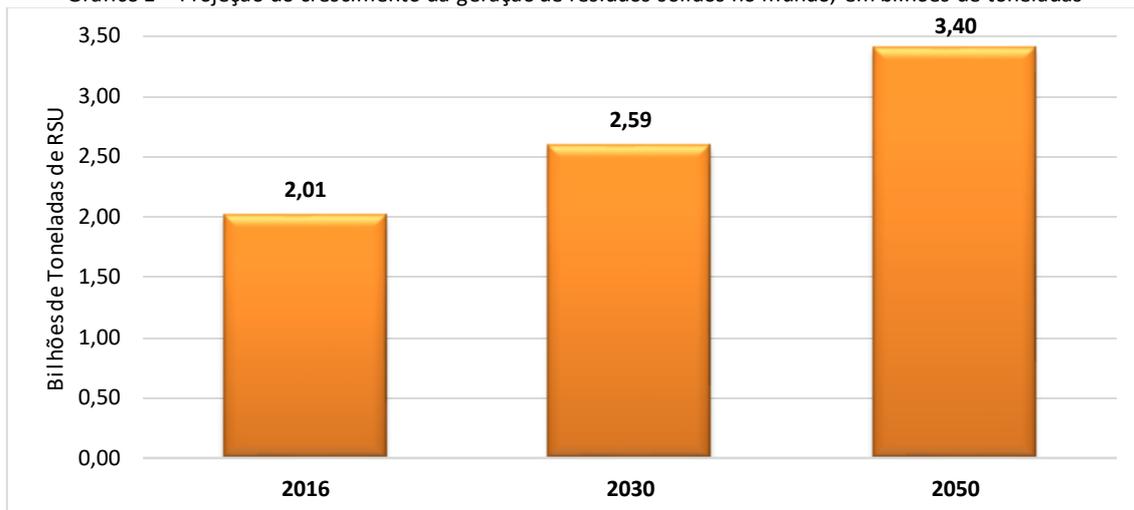
Em escala global, as cidades são fonte de 70% das emissões antrópicas de GEE, sendo a disposição final inadequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) uma das principais fontes de emissão, em especial do gás metano (ICLEI, 2021). Não obstante, a urbanização impulsiona o consumo e a produção de bens e serviços, o que leva ao aumento na geração de resíduos e a emissão de GEE durante o processo de decomposição e/ou queima dos resíduos sólidos.

Atualmente, a gestão dos resíduos sólidos é um dos grandes desafios mundiais a serem superados pela humanidade, constando nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, mais especificamente nos ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e 12 (consumo e produção sustentáveis) (MDR, 2021). Além desses, o ODS 13 (ação contra a mudança global do clima) também vem ganhando mais destaque no setor de resíduos sólidos por conta das emissões de GEE oriundas da disposição final dos rejeitos.

As projeções mundiais apontam para o crescimento do consumo de produtos e o aumento populacional nos próximos anos, 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).

De acordo com o relatório "What a Waste 2.0" elaborado pelo Banco Mundial (2018), estimou-se que todos os anos sejam gerados aproximadamente dois bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no mundo e com perspectiva de crescimento desse valor para mais de três bilhões no ano de 2050, conforme representado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Projeção do crescimento da geração de resíduos sólidos no mundo, em bilhões de toneladas



Fonte: Banco Mundial (2018).

Com o crescimento da geração de resíduos nos anos seguintes, aumenta-se também a preocupação com a necessidade da destinação final ambientalmente adequada dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, conforme estabelecido no Brasil pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essas atividades se traduzem na forma de tratamentos baseados no reaproveitamento dos resíduos sólidos e na decomposição controlada dos rejeitos, por meio da instalação de aterros sanitários, mitigando impactos ambientais como a emissão de GEE.

O aterro sanitário, de acordo com Souto e Povinelli (2013, p. 577), “[...] é uma obra de engenharia que possibilita o confinamento seguro dos resíduos, evitando riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais negativos”. 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).

No Brasil, a partir da instituição da 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 municipal dos resíduos sólidos brasileiros tem priorizado a disposição final e 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).

No caso da Amazônia brasileira, são largamente discutidos os impactos e as emissões de GEE causados pelo desmatamento e a queimada das florestas, todavia que acabam ofuscando a importância das discussões sobre as emissões provocadas pelas atividades urbanas nas cidades e metrópoles amazônicas, como o mal gerenciamento dos resíduos sólidos e a falta de destinações finais ambientalmente adequadas nessa região.

A geração de GEE nas cidades é um problema complexo que requer ações integradas para sua mitigação. Entre essas, está a observância ao estabelecido no Artigo 9º a respeito da ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos, que envolve ações de redução da geração de resíduos, reciclagem, compostagem e por último a disposição final ambientalmente adequada. Assim, a adoção de práticas sustentáveis, como o planejamento urbano integrado e a correta gestão dos resíduos sólidos urbanos, pode ajudar a minimizar os impactos da urbanização na mudança climática.

Diante desse cenário, conhecer as fontes de emissões de GEE nas cidades é fundamental para a adoção de medidas efetivas de controle e mitigação dessas emissões. A investigação científica do tema é essencial para a inovação e criação de soluções efetivas para as cidades inteligentes, que buscam o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida da população.

2 OBJETIVO

Verificar a contribuição do setor de resíduos sólidos urbanos dos municípios paraenses na geração de Gases de Efeito Estufa (GEE), comparando com os valores emitidos de Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂e) por outros setores de atividades.

3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi dividida em três etapas, no sentido de quantificar o total de GEE gerados no Estado do Pará (etapa 1), identificar os principais setores responsáveis pelas emissões com seus respectivos níveis de contribuição (etapa 2) e, por fim, analisar como o setor de resíduos sólidos interfere nas emissões de GEE (etapa 3).

Desse modo, a classificação metodológica da pesquisa pode ser considerada como quali-quantitativa, de natureza aplicada e com objetivo de aspecto exploratório e descritivo, conforme as definições abordadas em Silveira e Córdova (2009) e Nascimento e Souza (2016).

A seguir, são detalhadas as etapas metodológicas estabelecidas para o alcance do objetivo da pesquisa:

- Etapa 1: Levantamento do quantitativo total de GEE gerados no Estado do Pará;

O levantamento quantitativo dos GEE emitidos no estado foram extraídos de dados secundários do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), a respeito das emissões totais do estado em 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 Dióxido de Carbono (CO₂). Esta normalização é necessária porque os diferentes GEE possuem potenciais de aquecimento global divergentes, ou seja, com diferentes capacidades de aquecer a atmosfera. Dessa maneira, o CO₂ é o gás utilizado como ponto de referência para a medição das demais emissões de GEE, atribuindo-lhe um valor de 1.

Assim sendo, a emissão de GEE em CO₂e do Estado do Pará foi comparada com a de outros estados brasileiros, no sentido de avaliar o grau de contribuição do estado do Pará no

cenário nacional de emissões, bem como foram ranqueados os 10 municípios paraenses que mais colaboraram para as emissões totais do estado em 2021.

- Etapa 2: Contribuição dos principais setores responsáveis pelas emissões de GEE.

Além do quantitativo de GEE emitidos no Estado do Pará, foram extraídos ainda dados acerca das emissões específicas dos principais setores emissores de gases no Estado do Pará, os quais também foram detalhados conceitualmente. Para esses dados, além do SEEG, foi também utilizado complementarmente os dados do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o qual também disponibiliza dados específicos referente as emissões de GEE por setores e atividades humanas.

Os referidos setores emissores analisados e com dados estimativos disponíveis no SEEG e SIRENE referem-se as atividades de Agropecuária; Energia; Mudança de Uso da Terra e Florestas e o tratamento de Resíduos/Efluentes. Logo, foram analisadas as emissões em toneladas de CO₂ e desses setores e o seu percentual em relação ao total emitido pelo estado.

- Etapa 3: Análise do setor de RSU no Estado do Pará quanto as emissões de GEE.

Os assuntos que integram a realização do diagnóstico da situação atual do setor de RSU no Estado do Pará quanto as emissões de GEE, para alcance da etapa 3, são compostos pela análise quantitativa da coleta de resíduos e o levantamento dos tipos de disposição final aplicados no estado.

A partir dos dados do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), foi quantificada a massa de resíduos sólidos urbanos (resíduos domiciliares + resíduos de limpeza pública) coletada em 2021 nos municípios paraenses por 3 níveis de escalas populacionais, sendo 0 a 50.000 habitantes, 50.000 a 100.000 habitantes e mais de 100.000 habitantes. Esse quantitativo teve como propósito a análise da coleta *per capita* dos municípios paraenses e a contribuição desses municípios, inseridos nas referidas escalas populacionais, na massa total de resíduos encaminhada à disposição final no estado.

Em seguida, ainda com dados extraídos do SNIS, foi realizado o levantamento quantitativo e qualitativo das disposições finais aplicadas nos municípios paraenses para análise dos tipos de instalações utilizadas no Estado do Pará e classificação dessas em Disposição Final Ambientalmente Adequada (DFAA) como os aterros sanitários e Disposição Final Inadequada (DFI) que inclui os lixões e aterros controlados.

Além disso, foi também contabilizada a quantidade de RSU enviados aos três tipos de instalações de disposição final estudadas, “lixões”, “aterro controlado” e “aterro sanitário”, no intuito de relacionar esse quantitativo às consequentes emissões de GEE intrínsecas ao desenvolvimento dessas atividades.

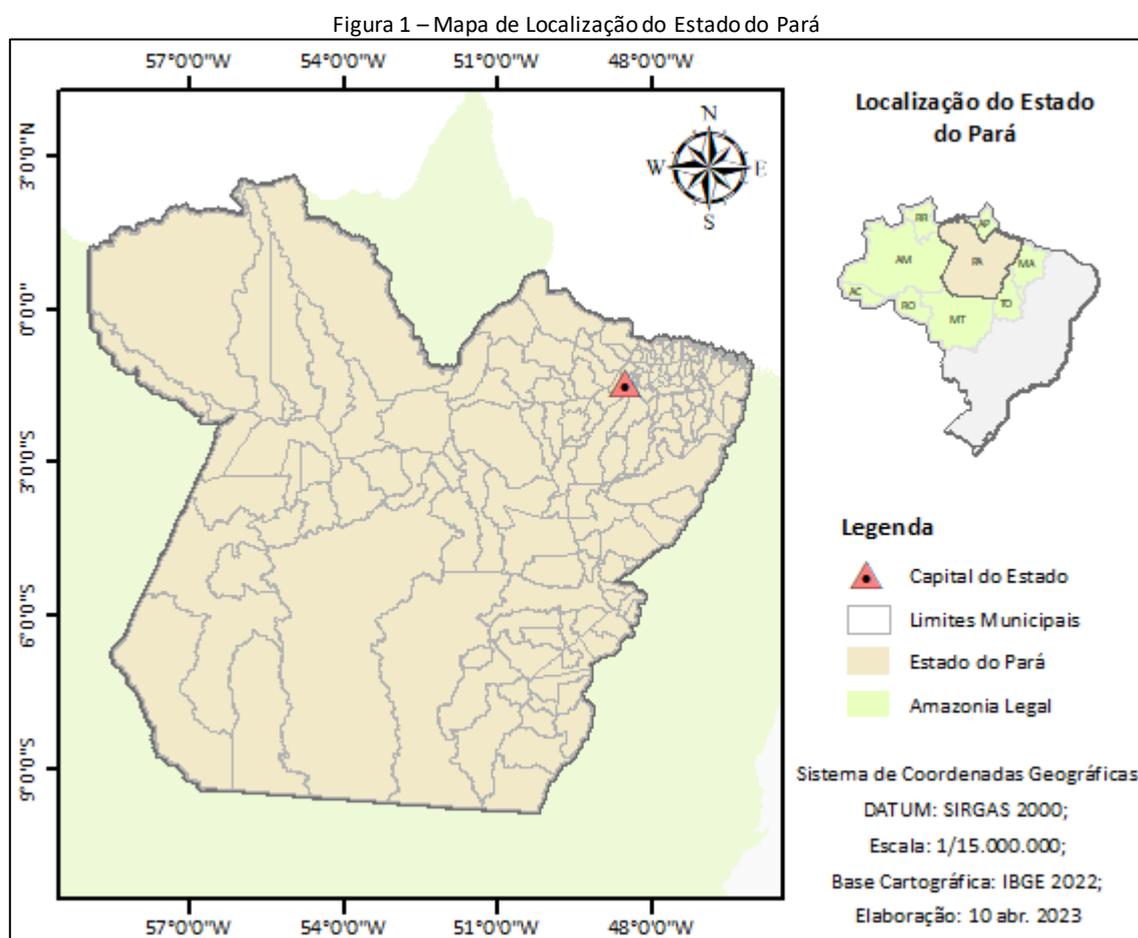
Os dados sobre os tipos de disposição final aplicados pelos municípios paraenses e a quantidade de RSU coletados, conforme já mencionado, foram extraídos do SNIS, mais especificamente do relatório anual referente a 2021. O SNIS é vinculado ao Ministério do Desenvolvimento e Integração Regional e alimentado anualmente pelas administrações municipais brasileiras.

Os municípios que não responderam ao SNIS em 2021 foram considerados como utilizadores de DFI após pesquisa confirmatória nos sites e documentos oficiais das prefeituras

municipais. Já o quantitativo da coleta de resíduos encaminhados à disposição final assumiu o valor de coleta *per capita* médio correspondente a escala populacional do município, conforme o resultado obtido na etapa 2.

3.1 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 seis: Amapá ao Norte, Amazonas e Roraima a Leste, Mato Grosso ao Sul e Maranhão e Tocantins a Oeste. Complementarmente, no Mapa da Figura 1 é representada a localização do estado inserida no território nacional e na região da Amazônia Legal, bem como a identificação do ponto em que se situa a capital do estado, o município de Belém.



Fonte: Autor (2023).

O Estado do Pará, por fazer parte da Amazônia Legal, tem recebido 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.

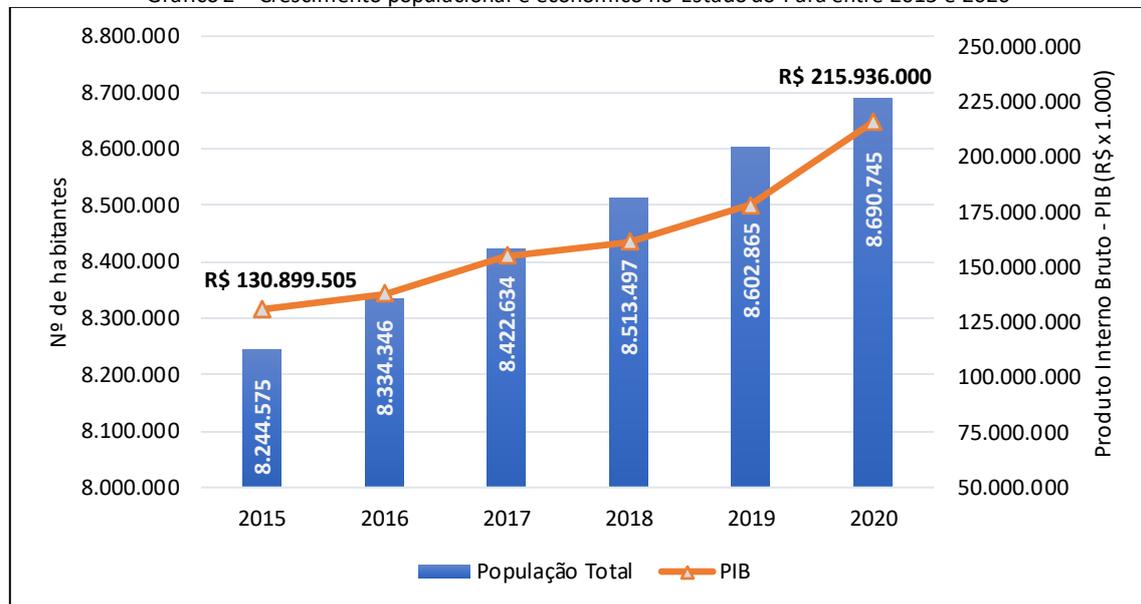
Segundo dados da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), o Estado do Pará ocupa área de 1.245.870,7 km², tendo 54 terras indígenas e 116 unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável entre administrações federais e estaduais.

Adicionalmente, também estão inseridos no território paraense 93 áreas de proteção ambiental, dessa vez, entre administração federais, estaduais e municipais (FAPESPA, 2022).

No tocante ao contingente populacional do Estado do Pará, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estimou população de 8.777.124 habitantes para o ano de 2021, que equivale a aproximadamente 7 hab./km², classificando o Pará como o estado mais populoso da região Norte (IBGE, 2023). Além disso, o estado também detém a maior quantidade de municípios da região Norte, somando 144, nos quais a média populacional se divide em 70% urbana e 30% rural (SNIS, 2022).

O desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida ao longo dos anos no estado acarretaram o crescimento proporcional e contínuo da população, como representado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Crescimento populacional e econômico no Estado do Pará entre 2015 e 2020



Fonte: FAPESPA (2022).

A população paraense cresceu 446.170 habitantes em cinco anos (2015 a 2020), com adição ao PIB de R\$ 85.036.495.000,00. No contexto socioeconômico brasileiro, o Estado do Pará possui o 10º maior Produto Interno Bruto (PIB) do país, com valor de aproximadamente 216 bilhões de reais em 2020 (FAPESPA, 2022).

A indústria paraense em 2019 representou 34,3% do PIB do estado, sendo composta por diversos segmentos, dos quais se incluem a 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 estão instalados 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, por sua vez, também 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).

Por fim, as informações apresentadas sobre a área de estudo têm o intuito de contextualizar o cenário espacial, ambiental e econômico do Estado do Pará em relação às características regionais do estado.

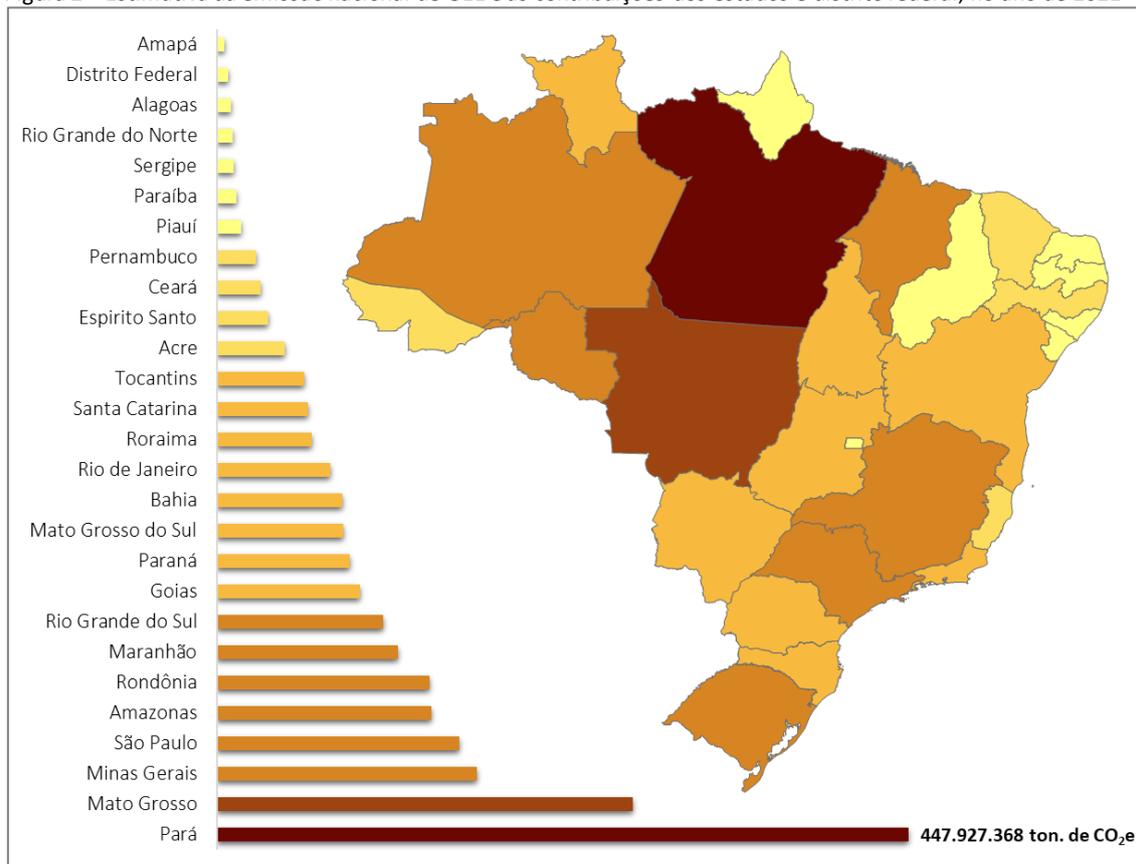
4 RESULTADOS

Os resultados da pesquisa foram organizados de acordo com as etapas de atividades estabelecidas na metodologia da pesquisa, iniciando com o levantamento do quantitativo total de GEE gerados no Estado do Pará, a contribuição dos setores responsáveis pela emissão de GEE no Estado do Pará e, por último, a análise do setor de RSU do estado e dos municípios paraenses quanto as emissões de GEE.

4.1 Levantamento do quantitativo total de GEE emitidos no Estado do Pará

Atualmente, o Estado do Pará é o maior emissor de GEE entre todos os estados brasileiros, totalizando emissão de 447.927.368 ton. de CO₂e, como indicado na ilustração da Figura 2.

Figura 2 – Estimativa da emissão nacional de GEE e as contribuições dos estados e distrito federal, no ano de 2021



Fonte: SEEG (2022).

Conforme observado, o valor das emissões de GEE no Estado do Pará é muito superior aos demais estados brasileiros, de modo que o 2º estado com a maior emissão (Mato Grosso) equivale a aproximadamente 2/3 das emissões paraenses. Adicionalmente, as emissões de 13 estados (AP, AL, RN, SE, PB, PI, PE, CE, ES, AC, TO, SC e RR) e do distrito federal, se somadas, equivalem a 84% das emissões do Pará.

O alto valor de emissões de GEE no Estado do Pará se devem as atividades poluentes desenvolvidas pelos municípios. Nesse cenário, os 10 municípios paraenses que mais contribuíram para o montante das emissões de GEE no estado em 2021, estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Municípios paraenses com as maiores contribuições de GEE, no ano de 2021

Ranking	Municípios	Emissão (ton. CO ₂ e)	% em relação ao total
1º	Altamira	35.247.300	7,9
2º	São Félix do Xingu	28.894.968	6,4
3º	Pacajá	16.180.604	3,6
4º	Novo Progresso	14.934.730	3,3
5º	Novo Repartimento	11.919.144	2,7
6º	Itaituba	11.716.481	2,6
7º	Portel	9.873.782	2,2
8º	Senador José Porfírio	9.670.093	2,2
9º	Anapú	8.511.721	1,9
10º	Marabá	6.910.396	1,5
-	Subtotal	153.859.219	34,4
11º a 144º	-	294.068.149	65,6
	TOTAL	447.927.368	100

Fonte: SEEG (2022)

Com os dados das emissões municipais, contata-se que Altamira e São Félix do Xingu representam juntos aproximadamente 15% de todas as emissões do estado. Esses mesmos municípios também são os que possuíram os maiores incrementos de desmatamento, no Estado do Pará, no ano de 2021, indicando relação com esses valores (INPE, 2022). Já a soma das emissões dos 10 municípios mais emissores equivale a próximo de 35% das emissões totais do estado.

Desse modo, para a correta análise das emissões de GEE, é importante que os setores responsáveis pelas atividades emissoras de GEE sejam devidamente identificadas para controle e fiscalização do poder público.

4.2 Contribuição dos setores responsáveis pela emissão de GEE

O SEEG aponta quatro setores como as principais atividades emissoras de GEE no Estado do Pará, os quais são, Agropecuária; Energia; Mudança de Uso da Terra e Florestas e o tratamento de Resíduos/Efluentes.

O setor relativo à agropecuária é o que reúne as emissões de GEE oriundas das atividades de produção animal e vegetal, podendo ser liberados nessas atividades emissões de CH₄ e N₂O.

O setor de energia refere-se ao consumo de energia elétrica em prédios públicos, residências e atividades produtivas presentes no Estado do Pará que são diretamente responsáveis pela demanda de eletricidade gerada nas usinas do sistema elétrico nacional. Apesar da eletricidade brasileira ser majoritariamente produzida por meio de fontes renováveis, uma maior demanda por energia elétrica pode induzir uma maior geração termelétrica, emitindo mais GEE (SEEG, 2022);

A 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 CO₂e na atmosfera, juntamente com a degradação florestal que pode resultar em emissões de CH₄ e N₂O. 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;

O setor de resíduos e efluentes representa as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O provenientes do tratamento intermediário e disposição final de RSU, lodos oriundos de estações de tratamento de efluentes; incineração de resíduos de serviços de saúde; queima a céu aberto de resíduos sólidos; e, tratamento e afastamento de efluentes líquidos domésticos e industriais (SEEG, 2022). As emissões desse setor estão relacionadas principalmente as reações bioquímicas da decomposição da matéria orgânica.

Portanto, ao se observarem as emissões de GEE dos setores citados acima, logo se destaca como os mais relevantes, a Mudança de Uso da Terra e Florestas, que tem grande ocorrência na região amazônica, e as emissões oriundas da Agropecuária, totalizando juntas 96% de todas as emissões do Estado do Pará. Na Tabela 2 a seguir é apresentado de modo mais detalhado as contribuições de cada setor para a geração total estimada de GEE no estado.

Tabela 2 – Contribuição dos principais setores de atividades emissoras de GEE no Estado do Pará, no ano de 2021

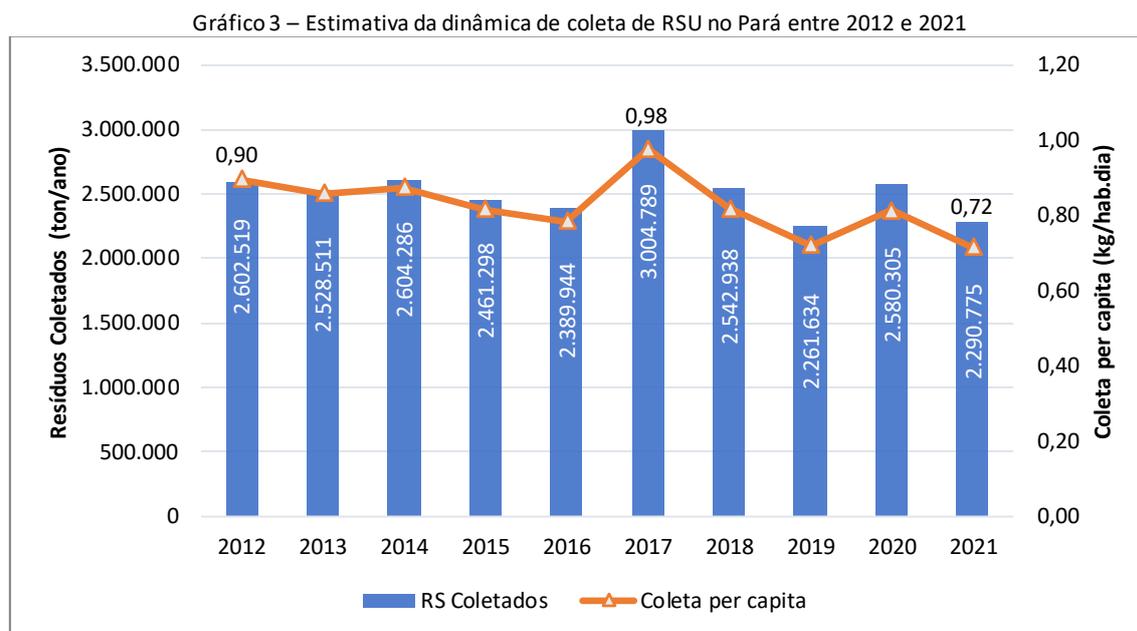
Posição	Setor	Emissão (ton. CO ₂ e)	Percentual
1°	Mudança de uso da terra e florestas	380.738.262,8	85%
2°	Agropecuária	49.272.010,6	11%
3°	Energia	13.437.821,0	3%
4°	Resíduos/Efluentes	4.479.273,8	1%
TOTAL		447.927.368,00	100%

Fonte: SEEG (2022).

Desse modo, é possível constatar que devido à grande extensão florestal do Estado do Pará, as emissões decorrentes do desmatamento e queimadas ainda é intensamente mais representativa que as emissões advindas do tratamento dos resíduos sólidos e efluentes, ao passo em que, na escala de gerenciamento das cidades, as emissões provenientes do setor de resíduos sólidos, em especial da etapa de disposição final, se tornam muito mais significativas.

4.3 Análise do setor de RSU do Estado do Pará quanto as emissões de GEE

No Estado do Pará, apesar do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico demonstrado pelo estado nos últimos anos (Gráfico 2), houve uma redução na massa de RSU coletada entre 2012 e 2021, reduzindo assim a coleta *per capita*, conforme é possível verificar no Gráfico 3.



Fonte: Adaptado de SNIS (2022).

Nos últimos 10 anos, a redução da massa de RSU coletada foi de cerca de 12% entre 2012 e 2021, reduzindo a coleta *per capita* média dos municípios paraenses de 0,90 para 0,72 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.

De modo mais específico, por meio das escalas populacionais desses municípios, é possível analisar a contribuição da massa coletada dos municípios de pequeno, médio e grande porte, representados pelas escalas populacionais em habitantes de até 50.000, 50.000 a 100.000 e mais de 100.000, respectivamente. Na Tabela 3 são apresentados os dados de coleta dos 117 municípios que responderam o SNIS em 2021.

Tabela 3 - 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 em 2021 são considerados de pequeno porte, ou seja, com população de 0 a 50.000 habitantes. Apesar dessa categoria representar a maioria dos municípios do estado, é a que menos contribui com a massa de resíduos coletada e destinada a disposição final, caracterizando aproximadamente 17,7% do total coletado.

Já os 23 municípios de médio porte (50.000 a 100.000 hab.) foram os que possuíram o maior valor de coleta *per capita* dentre as três categorias analisadas, e apesar de equivalerem a

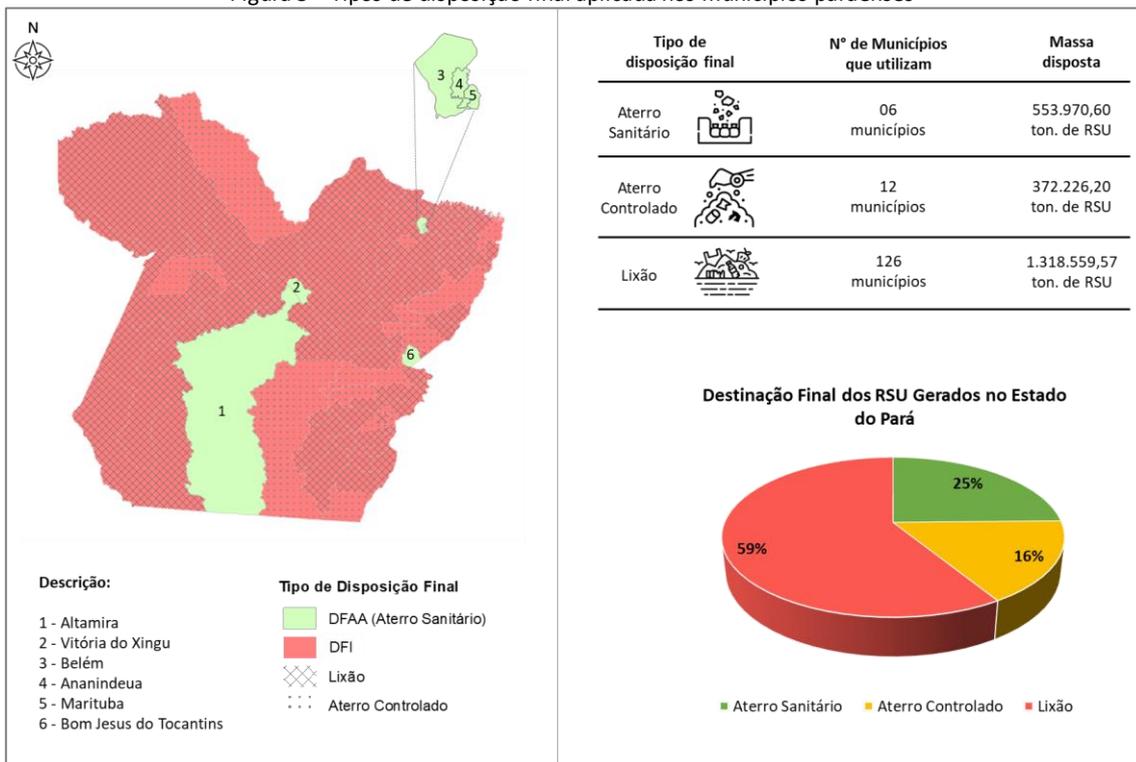
pouco menos de 1/3 da quantidade de municípios de pequeno porte (76), enviam mais RSU (84.563 ton.) às disposições finais do que os municípios até 50.000 hab.

Por fim, foi possível constatar ainda que os 18 municípios categorizados como de grande porte foram os que mais contribuíram com o envio 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 resíduos e rejeitos, a gestão do serviço de limpeza urbana e manejo de RSU pouco avançou nos municípios paraenses, sendo priorizada a disposição final sem segregação e/ou tratamentos prévios como a reciclagem e compostagem, que ainda possuem valores incipientes.

Na Figura 3 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.

Figura 3 – Tipos de disposição final aplicada nos municípios paraenses



Fonte: SNIS (2022).

No ano de 2021, foi disposta no Estado do Pará uma massa total de 2.244.756,37 ton. de RSU. Dos 144 municípios paraenses, somente seis adotaram como prática de disposição final os aterros sanitários (Figura 3), ou seja, a disposição final considerada como ambientalmente adequada na PNRS, somando para esse tipo de disposição final 553.970,60 ton. de RSU. Já os demais municípios adotaram práticas consideradas irregulares, sendo a maioria representada pelos lixões que receberam 1.318.559,57 ton. de RSU e, em menor proporção, os aterros controlados no qual foram dispostas 372.226,20 ton. de RSU.

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).

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.

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, é possível observar que a maioria dos municípios no estado do Pará não está seguindo as orientações estabelecidas pela PNRS quanto à ordem de prioridade para a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos. Como consequência, não há separação dos materiais e poucos tratamentos são realizados antes da disposição final. Essa realidade pode ser considerada como um crime ambiental nos casos em que os municípios não possuem ao menos a DFAA, o que ocorre em 138 municípios que ainda não possuem aterros sanitários para a disposição final dos rejeitos.

5 CONCLUSÃO

No Estado do Pará, em sua grande maioria, ainda ocorre a disposição dos resíduos sólidos de modo inadequado, ou seja, sem qualquer controle dos poluentes aquáticos, do solo e atmosféricos. 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 das emissões de GEE, em conformidade ao que dispõe o ODS nº 13, que visa: “Tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos”.

O alto valor de emissões de GEE no Estado do Pará se deve as atividades poluentes desenvolvidas, em especial ao desmatamento e queimadas da floresta amazônica, que além de liberar milhões de toneladas de CO₂ e inibe a recuperação desse gás pelo processo natural de fotossíntese das espécies vegetais. No entanto, as atividades urbanas como a disposição final

dos RSU também podem contribuir para o montante das emissões, principalmente quando oriundas de lixões e aterros controlados.

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 a emissão de GEE nas cidades pois libera valor de GEE superior ao recomendado em práticas com alternativas ambientalmente adequadas.

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.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

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

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 mar. 2023.

BARROS, Marcia Nazaré Rodrigues. Efeito das Ilhas de Calor no Ecossistema Urbano. In: MARTINS, Marlúcia Bonifácio; JARDIM, Mário Augusto Gonçalves; SABINO, William de Oliveira; BARROS, Maria Fabíola Gomes da Silva de (Org.). **Reflexões em Biologia da Conservação**. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2020. p. 166 – 178.

BRASIL. 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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 02 mar. 2023.

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.

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.

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.

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. **Por que é importante conhecer as emissões de gases de efeito estufa nas cidades?**. 2021. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/porque-e-importante-conhecer-as-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-nas-cidades/#:~:text=A%20urbaniza%C3%A7%C3%A3o%20contribui%20diretamente%20para,por%2070%25%20das%20emiss%C3%B5es%20globais>. Acesso em: 10 abr. 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **PRODES: Desmatamento nos Municípios da Amazônia Legal para o ano de 2021**. 2022. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: 10 mar. 2023.

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

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.

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. Disponível em: <https://lataci.org/journal/index.php/apprehendere/article/view/40>. Acesso em: 22 fev. 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.

SOUTO, Gabriel D'arrigo De Brito; POVINELLI, Jurandyr. 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.

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.

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.