



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL - PB

RHYAN CARLOS MARQUES CAVALCANTI

**ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA
CIDADE DE TIMBAÚBA - PE: ESTUDO DE CASO**

POMBAL - PB

2022

RHYAN CARLOS MARQUES CAVALCANTI

**ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA
CIDADE DE TIMBAÚBA - PE: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Naiara Angelo Gomes

Coorientadora: Ma. Elisângela Maria da Silva

POMBAL - PB

2022

C377a Cavalcanti, Rhyan Carlos Marques.

Análise do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos na cidade de Timbaúba - PE: estudo de caso / Rhyan Carlos Marques Cavalcanti. – Pombal, 2022.

82 f. il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Profa. Dra. Nayara Angelo Gomes, Elisângela Maria da Silva.”.

Referências.

1. Gestão de resíduos sólidos. 2. Resíduos sólidos urbanos - Disposição final. 3. Aterro de resíduos - Índice de qualidade. 4. Impactos ambientais. 5. Medidas de controle ambiental. I. Gomes, Nayara Angelo. II. Silva, Elisângela Maria da. III. Título.

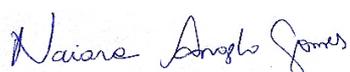
CDU 628.4 (043)

RHYAN CARLOS MARQUES CAVALCANTI

**ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA
CIDADE DE TIMBAÚBA - PE: ESTUDO DE CASO**

Aprovado em **22/03/2022**.

BANCA EXAMINADORA



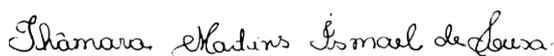
Profa. Dra. Naiara Angelo Gomes
(Orientadora - CCTA/UFCG)



Ma. Elisângela Maria da Silva
(Coorientadora - CTRN/UFCG)



Profa. Ma. Amanda Bezerra de Sousa
(Examinadora externa - CCT/UFGA)



Profa. Ma. Thâmara Martins Ismael de Sousa
(Examinadora interna - CCTA/UFCG)

POMBAL - PB

2022

Dedico este trabalho a minha mãe, Josianne Marques, que é um exemplo de força, dedicação e resiliência. Obrigado por me incentivar diariamente a lutar pelos meus sonhos e enfrentar minhas batalhas sempre de cabeça erguida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me abençoado e me dado forças durante toda a graduação.

Aos meus pais, Josianne Marques Correia de Melo e Daniel Correia de Melo, por todo o sacrifício que fizeram por mim, pelo amor e incentivo diário e pela confiança que depositaram em mim. Vocês são minhas fontes de inspiração.

Ao meu irmão, Rhuan Carlos Marques Cavalcanti, por ter me presenteado com o notebook que tanto me serviu durante a graduação.

Agradeço a minha avó, Maria José Custodio, e a minha tia, Mailda Araújo da Silva Vasconcelos, por toda ajuda financeira e apoio emocional.

A todos os meus colegas de turma, que direta ou indiretamente me ajudaram durante essa fase.

Aos amigos que fiz durante a graduação, sem vocês essa experiência não teria sido a mesma. Obrigado por trazer leveza e momentos de descontração.

A minha orientadora e coorientadora, Naiara Angelo Gomes e Elisângela Maria da Silva, pela paciência e orientação.

A banca examinadora, pelas contribuições dadas para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a concretização deste trabalho.

RESUMO

O desenvolvimento das cidades brasileiras não acompanhou o crescimento populacional, sendo observado diversos problemas relacionados à falta de gestão e gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Portanto, a busca por soluções para os problemas causados pela geração, coleta, ausência de tratamento e disposição final inadequada dos resíduos sólidos tem sido um dos principais desafios socioambientais da atualidade. Partindo desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar os serviços de coleta, transporte e disposição final dos RSU gerados na cidade de Timbaúba - PE. As etapas metodológicas compreenderam a realização do diagnóstico ambiental simplificado dos referidos serviços do gerenciamento, o cálculo do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), a avaliação quantitativa dos impactos ambientais de origem negativa e significativa e a proposição de medidas de controle ambiental. Tais etapas, de modo geral, foram desenvolvidas a partir de pesquisas na literatura científica e técnica, coletas de dados secundários, visitas de campo e registros fotográficos. De acordo com os resultados obtidos, a coleta convencional dos RSU gerados em Timbaúba - PE apresentou uma ampla cobertura, atingindo uma taxa de atendimento populacional de 100%. O IQR da área de disposição final de RSU foi de 1,6, indicando que o local possui condições inadequadas de funcionamento. Foram identificados 22 impactos ambientais negativos e significativos referentes as etapas avaliadas do gerenciamento de RSU. O índice de impacto determinado correspondeu a - 4,65, demonstrando a ação negativa que a falta de manejo adequado de RSU acarreta aos meios biótico, abiótico e antrópico. Como conclusão, este estudo servirá como um documento norteador para que os órgãos governamentais desenvolvam um plano de gerenciamento de RSU de forma integrada em Timbaúba - PE.

Palavras-chave: Disposição final de resíduos sólidos. Índice de qualidade de aterros de resíduos. Impactos ambientais. Medidas de controle ambiental.

ABSTRACT

The development of Brazilian cities has not kept up with population growth, and several problems related to the lack of management and management of Urban Solid Waste (USW) have been observed. Therefore, the search for solutions to the problems caused by the generation, collection, lack of treatment and inadequate final disposal of solid waste has been one of the main socio-environmental challenges of today. In this context, the present study aimed to analyze the services of collection, transportation and final disposal of MSW generated in the city of *Timbaúba - PE*. The methodological steps comprised the realization of the simplified environmental diagnosis of these management services, the calculation of the Index of Quality of Landfill Waste (IQR), the quantitative assessment of environmental impacts of negative and significant origin and the proposition of environmental control measures. These steps, in general, were developed from research in the scientific and technical literature, collection of secondary data, field visits and photographic records. According to the results obtained, the conventional collection of SUW generated in *Timbaúba - PE* presented a wide coverage, reaching a population attendance rate of 100%. The IQR of the SUW final disposal area was 1.6, indicating that the site has inadequate operating conditions. We identified 22 negative and significant environmental impacts related to the evaluated stages of SUW management. The impact index determined corresponded to - 4.65, demonstrating the negative action that the lack of proper management of MSW causes to the biotic, abiotic, and anthropic environments. In conclusion, this study will serve as a guiding document for governmental bodies to develop a SUW management plan in an integrated way in *Timbaúba - PE*.

Keywords: Final disposal of solid waste. Quality index of waste landfills. Environmental impacts. Environmental control measures

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Composição gravimétrica dos RSU no Brasil.....	24
Figura 2 - Coleta total de RSU no Brasil e regiões (t.ano ⁻¹).....	30
Figura 3 - Índice de municípios brasileiros com coleta seletiva	32
Figura 4 - Distribuição dos municípios com coleta seletiva no Brasil e regiões	33
Figura 5 - Desenho esquemático do lixão	37
Figura 6 - Figura ilustrativa dos tipos de disposição final de RSU na região Nordeste do país	38
Figura 7 - Desenho esquemático de aterro controlado.....	39
Figura 8 - Desenho esquemático do aterro sanitário.....	40
Figura 9 - Localização do município de Timbaúba - PE	44
Figura 10 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.....	45
Figura 11 - População urbana da cidade versus população atendida pela coleta regular de resíduos sólidos urbanos	51
Figura 12 - Total de resíduos domésticos e públicos coletados em Timbaúba - PE	53
Figura 13 - Transportes utilizados no serviço de coleta de RSU em Timbaúba - PE:(A) Caminhão tipo basculhante; (B) Tratores agrícolas com reboque; (C) Caminhão compactador.....	54
Figura 14 - Mapa de localização do lixão de Timbaúba - PE	55
Figura 15 - Disposição de resíduos sólidos diretamente sobre o solo no lixão de Timbaúba - PE	56
Figura 16 - Frente de trabalho do lixão de Timbaúba - PE: (A) Compactação dos resíduos utilizando trator tipo esteira; (B) Espalhamento dos resíduos.....	57
Figura 17 - Condições da área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE; (A) Presença de urubus e gaivotas; (B) Presença de porcos; (c) Presença de cachorros e equinos.....	58
Figura 18 - Condições da área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE; (A) Presença de catadores; (B) Sacos utilizados na segregação de materiais recicláveis.	59
Figura 19 - Presença de incêndios na área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE	60

Figura 20 - Vias de acesso para área do lixão de Timbaúba - PE: (A) Vias de acesso sem pavimentação (B) Presença de aberturas no solo; (C) Presença de erosão laminar	62
Figura 21 - Frente de trabalho em relação a dimensão da área utilizada.....	63
Figura 22 - Mapa de distanciamento da área do lixão de Timbaúba - PE a núcleos habitacionais	68
Figura 23 - Mapa de distanciamento da área do lixão a corpos de águas	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à natureza ou origem	19
Quadro 2 - Características físico-químicas dos resíduos sólidos urbanos	22
Quadro 3 - Esquema geral da aplicação do método índice de impacto	48
Quadro 4 - Notas atribuídas a estrutura de apoio da área de disposição final dos resíduos de Timbaúba - PE.....	61
Quadro 5 - Notas atribuídas a frente de trabalho, taludes e bernas e superfície superior da área de disposição final dos resíduos de Timbaúba - PE.....	62
Quadro 6 - Notas atribuídas a estrutura de proteção ambiental da área de disposição final dos resíduos de Timbaúba - PE	64
Quadro 7 - Notas atribuídas as condições operacionais da área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE.....	66
Quadro 8 - Notas atribuídas as características do local da área de disposição de resíduos de Timbaúba - PE.....	67
Quadro 9 - Aplicação do método índice de impacto no lixão de Timbaúba - PE	71
Quadro 10 - Medidas mitigadoras para os impactos ambientais significativos.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantitativo de RSU dispostos ($t.\text{ano}^{-1}$), entre os anos de 2019 e 2020, em diferentes tipos de disposição final nas regiões brasileiras	36
Tabela 2 - Enquadramento dos valores do IQR estabelecidos para os locais de disposição final dos resíduos sólidos	47
Tabela 3 - Percentual da frequência de atendimento do serviço de coleta da população de Timbaúba - PE	50
Tabela 4 - Taxa de cobertura e massa de resíduos domésticos coletados na cidade de Timbaúba - PE	52
Tabela 5 - Notas atribuídas a infraestrutura implantada da área de disposição final de resíduos de Timbaúba- PE.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Resíduos Especiais
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPI	Equipamentos De Proteção Individual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQR	Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos
MO	Matéria Orgânica
NBR	Norma Técnica Brasileira
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEVs	Pontos de Entrega Voluntária
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos de Construção Civil
RDO	Resíduos Domésticos
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RPU	Resíduos Públicos
RS	Resíduos Sólidos
RSS	Resíduos de Serviço de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
SSU	Secretaria de Serviços Urbanos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 GERAL	18
2.2 ESPECÍFICOS	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS: CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO	19
3.2 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	22
3.3 GESTÃO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	25
3.3.1 Geração e acondicionamento dos resíduos sólidos urbanos	26
3.3.2 Coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos	28
3.3.2.1 Coleta Seletiva	31
3.3.3 Tratamento ou destinação final dos resíduos sólidos urbanos	33
3.3.4 Disposição final dos resíduos sólidos urbanos	35
3.3.4.1 Lixão	36
3.3.4.2 Aterro controlado	38
3.3.4.3 Aterro sanitário	39
3.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS (IQR)	41
3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	42
4 MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	44
4.2 ETAPAS METODOLÓGICAS DA PESQUISA	45
4.2.2 Etapa 1: Diagnóstico ambiental simplificado	45
4.2.3 Etapa 2: Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR)	46
4.2.4 Etapa 3: Identificação dos principais impactos ambientais significativos	48
4.2.5 Etapa 4: Medidas de controle ambiental	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SIMPLIFICADO	50
5.1.1 Coleta e transporte dos resíduos sólidos gerados em Timbaúba - PE	50
5.1.2 Disposição final dos RSU gerados em Timbaúba - PE	55

5.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS (IQR)	60
5.2.1 Características do local	60
5.2.2 Infraestrutura implantada	66
5.2.3 Condições operacionais	67
5.2.3 Cálculo do IQR	69
5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS.....	70
5.4 MEDIDAS DE CONTROLE AMBIENTAL.....	72
6 CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	745

1 INTRODUÇÃO

Desde que se iniciou o desenvolvimento das sociedades, o ser humano passou a explorar em demasia os recursos naturais para sustentar o crescimento populacional desenfreado. Juntamente a isso, surgiram as inovações tecnológicas e a cultura do consumo em massa, que, conseqüentemente, desencadearam a intensa geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a qual tem sido uma das principais problemáticas ambientais do mundo atual.

Devido ao crescente volume de RSU gerados pela sociedade e seus efeitos degradantes sobre o meio ambiente, a implementação de uma gestão integrada tornou-se uma medida indispensável em vários países (OLIVEIRA *et al.*, 2018). No entanto, no Brasil, a provisão de infraestrutura não acompanhou o crescimento urbano, sendo facilmente identificadas cidades com problemas relacionados ao aumento da geração de resíduos, a ausência da destinação e a disposição final ambientalmente adequada dos RSU, acarretando assim, impactos negativos como a contaminação de solos, a poluição de cursos d'água superficiais e subterrâneas, além do surgimento de doenças em humanos, a exemplo de dengue, leishmaniose, leptospirose entre outros (SZIGETHY; ANTENOR, 2020).

De acordo com os dados levantados pela Associação Brasileira de Empresas de Resíduos Especiais (ABRELPE), no Brasil, a geração de RSU passou de 66,7 milhões de toneladas em 2010 para 82,5 milhões em 2020, um aumento de 15,8 milhões de toneladas em 10 anos. Uma possível justificativa para esse aumento expressivo está relacionada com a pandemia do Coronavírus no ano de 2020, que influenciou na geração de resíduos domiciliares e de limpeza urbana. O mesmo estudo afirma ainda, que cada brasileiro gera em média 390 kg de RSU por ano, o que equivale a mais de 1,07 kg por dia (ABRELPE, 2021).

Um dos maiores desafios socioambientais da contemporaneidade está relacionado à busca por soluções para os problemas causados pelo inadequado gerenciamento de resíduos sólidos em nível nacional. Essa problemática não afeta apenas os grandes e médios centros urbanos que geram toneladas de resíduos sólidos todos os dias, as cidades de pequeno porte também sofrem com a falta de planejamento direcionado ao gerenciamento adequado dos RSU (MOURA, 2018). Os municípios têm a responsabilidade de prestar serviços que atendam aos interesses locais, incluindo a gestão de resíduos sólidos e a sua disposição final ambientalmente

adequada. Porém, muitos destes, não possuem estruturas administrativas e operacionais para atender às exigências impostas pela Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (LOURENÇO, 2018).

Conforme dados da ABRELPE (2020), a quantidade de resíduos que segue para unidades inadequadas, como lixões e aterros controlados, tiveram um aumento, passando de 25 milhões de toneladas por ano em 2010, para pouco mais de 29 milhões de toneladas por ano em 2019. Como forma de evitar esse descarte de resíduos em locais inadequados, o governo federal sancionou o Decreto Federal nº 10.936/2022, que regulamenta a Lei nº 12.305 de 2010 que institui PNRS e cria o Programa Nacional de Logística Reversa. Esse novo decreto tem como objetivo responsabilizar às pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado pela geração de resíduos, de modo que as mesmas, desenvolvam ações voltadas ao gerenciamento de RS. Além disso, o decreto determina que os fabricantes, os importadores, os distribuidores, os comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos sejam responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2022).

Sendo assim, é de fundamental importância a existência do gerenciamento adequado dos RSU, incluindo as etapas de segregação, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, como forma de preservar o meio ambiente e melhorar a qualidade da vida da população (ALBERTIN; SILVA; VIOTTO; 2020). E, considerando a grande problematização que os resíduos sólidos podem ocasionar ao ambiente e à saúde da população, faz-se necessário analisar, diagnosticar e propor medidas de controle ambiental, com o intuito de minimizar os impactos negativos e significativos ocasionados pela disposição final inadequada dos RSU nos municípios

Diante disso, este estudo servirá como documento norteador para que os órgãos ambientais gestores desenvolvam seus PMGIRS, visando adequar-se às exigências impostas pela PNRS, de forma que possibilite o cumprimento das exigências legais e, sobretudo, permitam a gestão e o gerenciamento adequados dos RSU no município de Timbaúba - PE. No tocante ao meio acadêmico, espera-se que o presente estudo sirva de base para a realização de investigações mais aprofundadas sobre a temática abordada.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar os serviços de coleta, transporte e disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados em Timbaúba - PE.

2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar um diagnóstico simplificado dos serviços de coleta, transporte e disposição final dos RSU gerados na cidade de Timbaúba - PE.
- Determinar o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos para a área de disposição final dos RSU utilizada na cidade estudada.
- Identificar os principais impactos negativos e significativos nos meios abiótico, biótico e antrópico, causados em decorrência das atividades de coleta, transporte e disposição final dos RSU.
- Propor medidas de controle ambiental para minimizar os impactos negativos significativos ocasionados nas etapas de gerenciamento dos RSU.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS: CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no art. 3, inciso XVI, define resíduo sólido como sendo:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

De acordo com *Texas Commission on Environmental Quality* (TCEQ, 2015), os Resíduos Sólidos (RS) compreendem o lixo doméstico, os lodos de estações de tratamento de esgoto e abastecimento de água, assim como materiais descartados que se encontram nos estados sólidos, líquidos, semissólidos ou até no estado gasoso, cujo a origem pode ser de processos industriais, municipais, comerciais, mineração, operações agrícolas e atividades comunitárias e institucionais.

No Brasil, quanto ao critério origem, os RS podem ser classificados em 11 categorias (BRASIL, 2010), conforme apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à natureza ou origem

Natureza ou origem	Descrição
Resíduos domiciliares	Os provenientes de atividades domésticas em residências urbanas.
Resíduos de limpeza urbana	Os provenientes de serviços da limpeza pública urbana, como varrição, limpeza de logradouros etc.
Resíduos sólidos urbanos	Corresponde aos resíduos provenientes dos serviços de varrição de vias públicas, limpeza de logradouros e outros serviços atrelados a limpeza urbana.

Continua

Conclusão

Natureza ou origem	Descrição
Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	São os resíduos advindos das atividades comerciais e de serviços, tais como: supermercados, lojas, bares, restaurantes, hotéis dentre outros, com exceção dos resíduos sólidos urbanos.
Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Os resíduos gerados nessas atividades relacionadas as seguintes modalidades do saneamento básico: tratamento de água e esgoto, manutenção dos sistemas de drenagem e manejo de águas de chuva.
Resíduos industriais	Corresponde aos resíduos gerados nos diversos tipos de processos produtivos e instalações industriais.
Resíduos de serviços de saúde	Os provenientes dos serviços de saúde, como hospitais, farmácias, clínicas médicas e veterinárias, laboratório de análises etc.
Resíduos da construção civil	Os provenientes das construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil.
Resíduos agrossilvopastoris	Os provenientes das atividades agropecuárias e silviculturais.
Resíduos de serviços de transportes	Resíduos provenientes de portos, aeroportos, terminais ferroviários, rodoviários etc.
Resíduos de mineração	Corresponde aos resíduos gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Fonte: BRASIL (2010)

Já a NBR 10.004 (ABNT, 2004a), classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública em:

- **Resíduos classe I ou perigosos:** São aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, que por sua vez, podem ocasionar riscos à saúde pública ou provocar efeitos adversos ao meio ambiente quando manipulados ou dispostos de maneira inadequada.
- **Resíduos classe II ou não perigosos:**
 - i. **Resíduos classe II A (Não inertes):** São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade.
 - ii. **Resíduos classe II B (Inertes):** São resíduos que não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006 (ABNT, 2004b), não obtiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, exceto os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Conforme Silva (2021), os RS também podem ser classificados quanto ao critério composição química, sendo enquadrados em:

- **Orgânicos:** Resíduos de origem animal ou vegetal, como folhas, esterco, resto de alimentos, sementes, madeira etc.
- **Inorgânicos:** São resíduos que não possuem origem biológicas ou que resultam de produtos industrializados produzidos geralmente dos minerais e/ou da combinação de dois ou mais elementos, como por exemplo, plásticos, metais, vidros e borracha. Devido as suas característica físico-química, demoram muito a serem decompostos na natureza (SOUZA *et al.*, 2014).

No que concerne aos tipos de RS, Souza (2017) classifica-os em resíduos recicláveis e não recicláveis. O primeiro, são compostos por papel, plástico, vidro, espuma metálica, parafina, cerâmica etc. Salienta-se que nem todos os resíduos de papel, vidro e plástico são recicláveis. No tocante aos resíduos não recicláveis, estes

são constituídos por papel (vegetal, celofane; papel higiênico usado; etiquetas adesivas; carbono e fotográfico), espelhos, pilhas e lâmpadas.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A NBR 8.419 (ABNT, 1996) define Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) como sendo todo resíduo gerado em áreas urbanas, com exceção dos resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e resíduos de aeroportos e portos. Conforme Moura (2018), em sua composição têm-se matéria orgânica, papel, papelão, plástico, vidro e metal, podendo conter ainda resíduos que apresentem potencial de toxicidade, tais como latas de aerossóis, pilhas, baterias e lâmpadas fluorescente.

O processo de geração de RSU em termos de quantidade e composição variam em virtude de fatores econômicos, sociais, geográficos, educacionais, culturais, tecnológicos e legais. Essas características podem ser identificadas desde a sua geração até a disposição final, ou seja, em qualquer etapa do gerenciamento (MELO, 2015).

A análise dos RSU pode ser feita segundo as suas características físicas, químicas e biológicas. O Quadro 2 apresenta as principais características físico-químicas e sua respectiva descrição e importância para o gerenciamento dos resíduos.

Quadro 2 - Características físico-químicas dos resíduos sólidos urbanos

Características	Parâmetros	Descrição	Importância
Físicas	Geração per capita [kg.hab.dia ⁻¹]	Indica a quantidade de resíduos gerados diariamente por cada habitante.	Fundamental para o planejamento de todas as etapas que compõe o gerenciamento dos RSU.
	Composição gravimétrica	Reflete o percentual dos diferentes componentes do RSU (matéria orgânica, plástico, papel, vidro e metal.) em relação ao peso total da amostra.	Importante para identificar resíduos suscetíveis a reciclagem e a melhor alternativa de tratamento; especificação da frota coletora e caçambas estacionárias.

Continua

Conclusão

Características	Parâmetros	Descrição	Importância
Físicas	Peso específico aparente [kg.m ²]	É a relação entre o peso do resíduo, sem compactação e o volume ocupado.	Essencial para o dimensionamento de equipamentos e instalações.
	Teor de umidade	Representa a porcentagem em peso, de água presente no resíduo.	Tem influência na operação de sistemas de tratamento por compostagem e incineração, como também, na formação de chorume em aterros.
	Compressividade	Refere-se a redução de volume que determinado resíduo sofre frente a ação de uma pressão.	Importante para o dimensionamento de equipamentos de coleta e transporte.
Químicas	Poder calorífico	Indica a quantidade de energia que determinado resíduo pode liberar quando submetido a um processo térmico.	É importante para avaliar a necessidade de aplicação de processos térmicos, como forma de tratar os resíduos sólidos.
	Potencial hidrogeniônico (pH)	Traduz o teor de acidez e basicidade de um determinado resíduo.	Serve para estabelecer se um determinado ambiente favorece ou inibe os processos de decomposição microbiológica dos resíduos.
	Composição química	Compreende os processos para determinar os teores de gorduras, carbono orgânico total (COT), cinzas, metais pesados.	É fundamental para compreender o potencial dos resíduos como substrato para degradação microbiológica.
	Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)	Representa o grau de decomposição da matéria orgânica de determinado resíduo (quer seja em condições anaeróbicas ou aeróbicas).	Essencial para determinar a facilidade com que um material pode ser decomposto por um agente biológico.

Fonte: Adaptado de Barros (2012)

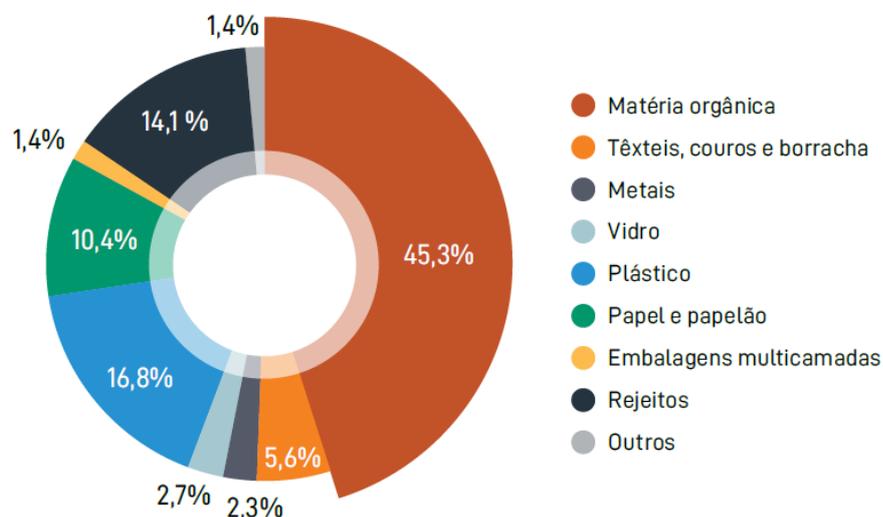
As características biológicas são determinadas por meio da população microbiana presentes na massa de resíduos, a partir das espécies identificadas tem-se um norte de como ocorrerá a degradação da matéria orgânica existente nos RSU. Dessa forma, conhecer tais características é fundamental para definir, de maneira

adequada, os métodos de tratamento e disposição final para esses resíduos (ALVES; LUZ, 2017).

Conforme Marra (2016), o conhecimento das características dos RSU é imprescindível para fins de gerenciamento eficiente, uma vez que possibilita mensurar a quantidade de materiais potencialmente recicláveis, a quantidade de materiais perecíveis que devem ser conduzidos para tratamento e disposição final e a quantidade de rejeitos que devem ser encaminhados ao aterro sanitário. Além de possibilitar a escolha ideal do tipo de tratamento/técnica a ser utilizado (a) com base na necessidade desejada, como por exemplo, a utilização de digestão anaeróbica ou compostagem para tratar a fração orgânica e a incineração como forma de reduzir significativamente o volume de resíduos nos aterros.

Segundo dados da ABRELPE (2020) sobre a composição gravimétrica dos RSU, no Brasil, 45,3% dos RSU são constituídos por matéria orgânica, 33,6% de resíduos recicláveis secos, sendo incluso nesse percentual os plásticos, papel e papelão, vidros, metais e embalagens multicamadas (compostas por mais de um tipo de material, como embalagens de salgadinhos, rótulos de garrafas PET, embalagem de biscoitos, leites e outros). Os rejeitos correspondem a 14,1% do total, sendo composto principalmente por materiais sanitários. Ademais, os resíduos têxteis, couro e borrachas equivale a 5,6% e 1,4% compreendem outros tipos de resíduos que não deveriam estar inseridos nos RSU, como eletroeletrônicos, pilhas, baterias e resíduos perigosos. Na Figura 1, apresenta-se a composição gravimétrica dos RSU gerados no Brasil.

Figura 1 - Composição gravimétrica dos RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE (2020)

3.3 GESTÃO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A gestão de resíduos sólidos no Brasil ficou consolidada com a criação da Lei nº 12.305, promulgada em 2 de agosto de 2010, na qual estabelece os princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, às responsabilidades dos geradores e do poder público, e os instrumentos econômicos aplicáveis. Sendo assim, todo setor produtivo e/ou de serviços, seja ele público ou privado, tem diretrizes relativas ao gerenciamento de RS, estipuladas por lei (LOURENÇO, 2018).

O gerenciamento dos resíduos sólidos é caracterizado pela PNRS (BRASIL, 2010) como um conjunto de atividades desenvolvidas de forma direta ou indireta, nas etapas de acondicionamento, coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada tanto dos RSU, como dos rejeitos, estando todas essas etapas citadas, em conformidade com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS).

Apesar dos termos gerenciamento e gestão de RS serem utilizados muitas vezes como sinônimos, ambos apresentam significados diferentes. Para Canejo (2020), o primeiro diz respeito a uma série de ações realizadas direta ou indiretamente pelo gerador, abrangendo no mínimo, o planejamento, execução, monitoramento e controle das ações sobre as etapas de acondicionamento, coleta, transporte, transbordo, tratamento e disposição final de RS. Já a gestão dos resíduos, pode ser entendida como um conjunto de ações estratégicas com a finalidade de controlar a geração resíduos, considerando as várias dimensões gerenciais, sendo elas: política, técnica, econômica, ambiental, cultural, social, legal, normativa e ética.

Canejo (2020) destaca que apesar da distinção dos termos, ambos atuam de forma complementar. O gerenciamento depende da gestão para a geração de dados e informações para análise crítica e tomada de decisão para o correto manejo dos resíduos. Por sua vez, sem gestão não há gerenciamento, tendo em vista que as definições estratégicas são fundamentais para propor as ações de gerenciamento, principalmente as ações de planejamento, execução, monitoramento e controle.

De acordo com Moura (2018), vários órgãos da administração pública e sociedade civil são responsáveis pelo gerenciamento dos RS, entretanto, no tocante a organização do sistema de limpeza urbana e manejo dos resíduos, essa responsabilidade é atribuída a prefeitura, que deve definir a maneira na qual as etapas

do gerenciamento dos RSU funcionará, baseando-se no Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos (PMGIRS).

A Constituição Federal, nos incisos I e V do art. 30, atribui aos municípios à competência de legislar sobre assuntos de interesse local, especialmente quanto à organização dos serviços públicos. Sendo assim, cabe ao município gerenciar os serviços de limpeza urbana e, portanto, elaborar o PMGIRS. Para Santaella *et al.* (2014), o plano deve incluir:

- A realização do diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no município, constando a origem, quantidade, a caracterização e a destinação e disposição final que serão adotados;
- Identificação das áreas que são favoráveis para disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Apresentação de perspectivas para a implantação de soluções consorciadas com outros municípios;
- Procedimentos técnicos e operacionais a serem adotados, além de indicadores de desempenho dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de RS;
- Definição das responsabilidades de operacionalização, como também de programas, ações e metas para capacitação técnica;
- Educação ambiental, redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, mecanismos que envolvam a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos; sistema de cálculo de custos, meios de controle e fiscalização e programa de monitoramento; identificação de passivos ambientais e periodicidade da revisão.

Destaca-se que, tanto o gerenciamento, quanto a gestão de RS, segundo o que é preconizado pela própria PNRS, deve priorizar, em ordem decrescente, a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

3.3.1 Geração e acondicionamento dos resíduos sólidos urbanos

O processo de geração de resíduos sólidos urbanos, de acordo com Carijó (2016), começa a partir do momento em que um determinado produto ou material

deixa de ser útil ao seu proprietário, passando assim, a ser descartado. Diversos fatores influenciam a quantidade e o tipo de resíduos gerados, dentre os quais tem-se: hábitos de consumo, cultura, poder aquisitivo, industrialização, nível de escolaridade, mudanças sazonais e clima. Importante frisar que, tais fatores podem variar de acordo com a região e ao longo do tempo.

Para ABRELPE (2021), a geração de RSU está diretamente relacionada ao local na qual as atividades humanas estão sendo desenvolvidas, considerando que o descarte dos resíduos ocorre em decorrência do processo de aquisição e consumo de bens e produtos das mais variadas características.

De acordo com a ABRELPE (2021) no ano de 2020, a região sudeste apresentou o maior índice de geração, com cerca de 113 mil toneladas diárias ou $460 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Por outro lado, a região Norte gerou 6 milhões de toneladas/ano e $328 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Com relação ao processo de acondicionamento, a Copel (2015) o define como sendo um ato de armazenar os resíduos em recipientes adequados em função de suas características específicas e da possibilidade de reutilização, tratamento ou destinação para reciclagem.

Quanto à forma de acondicionamento, deve ser compatível com o tipo de veículo que será utilizado para a coleta, devendo também corresponder à área de coleta, uma vez que depende do tipo de habitação e das características de cada local. Com relação às características ou parâmetros dos resíduos, os principais elementos a serem considerados são: peso e volume, densidade média, tamanho da carga e veículo, periculosidade, estado físico e compatibilidade dos resíduos (SANTOS, 2017).

Segundo Pinheiro (2017), os resíduos devem ser acondicionados de modo a impedir a proliferação de vetores, evitar acidentes e poluição ambiental, minimizar impacto visual e olfativo, diminuir o custo, facilitar a operação de coleta e reduzir a heterogeneidade dos resíduos (caso exista coleta seletiva).

Em relação aos tipos de recipientes utilizados na etapa de acondicionamento de RSU no Brasil, os principais são: vasilhames metálicos ou plástico (como baldes ou latas), sacos plásticos, caixas de madeiras ou papelão, bombonas e contêineres. Salienta-se que esses recipientes devem apresentar características como: não ter peso elevado (máximo de 30 kg), vedação hermética, não devem produzir ruído

excessivo quando manuseados e facilidade em ser esvaziado e desinfectado (ANTES, 2015).

De acordo com Vilhena (2017), a qualidade da operação de coleta e transporte está diretamente relacionado com a forma como os RSU estão acondicionados, sendo necessário, portanto, existir um adequado acondicionamento, armazenamento e distribuição dos recipientes no local e definição dos dias e horários para realização da coleta.

3.3.2 Coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos

Segundo a NBR 12.980 (ABNT,1993), a coleta de resíduos sólidos é definida como “ato de recolher e transportar resíduos sólidos de qualquer natureza, utilizando veículos e equipamentos apropriados para tal fim. Essa operação inclui toda a trajetória realizada pelos veículos, desde a sua partida da garagem até o percurso gasto entre o local onde os resíduos estão acondicionados para o local de descarga e o retorno ao ponto de partida (VECCHI, 2016).

Vários aspectos devem ser levados em consideração quanto ao planejamento da coleta e o dimensionamento da frota de veículos utilizados para realização da coleta de RSU, especialmente, aspectos geográficos e socioeconômicos das cidades, como a topografia, área do município, densidade populacional, uso e ocupação do solo, sistema viário urbano, condições de pavimentação e área de destinação final (PINHEIRO, 2017).

De acordo com Silveira *et al.* (2018), as coletas de RSU podem ser enquadradas em quatro tipos:

- **Sistema regular ou convencional:** Os resíduos domiciliares, comerciais e industriais de pequeno porte são coletados (em intervalo de tempo determinado) e encaminhados até a disposição final, podendo ou não passar por estações de transferência e/ou transbordo. Entretanto, esse sistema pode ser do tipo porta a porta, no qual o recolhimento dos RSU ocorre em frente às residências e instalações comerciais, ou do tipo ponto a ponto quando os resíduos são acondicionados em pontos específicos predeterminados.
- **Coleta especial:** Coleta feita mediante escala ou solicitação dos interessados. Trata-se de resíduos oriundos de varrição pública e de unidades de saúde, com

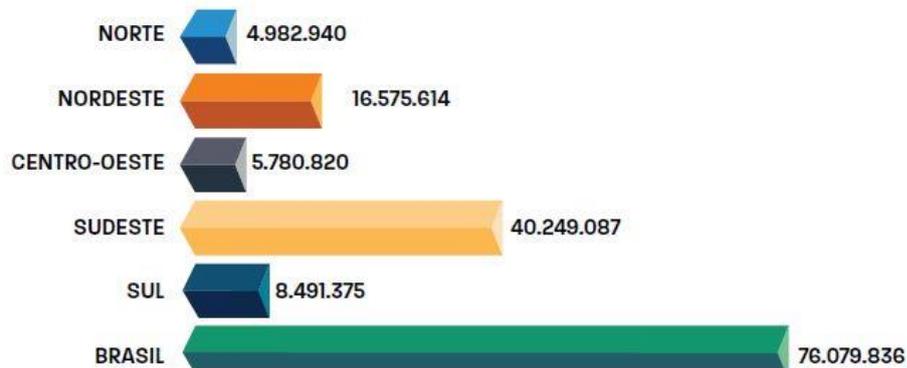
também, restos de limpeza de cemitérios, carcaças de animais, resíduos de feiras livres e pequenas quantidades de entulho.

- **Coleta realizada pelo próprio gerador:** Esse tipo de coleta ocorre quando há grandes quantidade de resíduos, como por exemplo, Resíduos de Construção Civil (RCC) de obras de engenharia e resíduos industriais. Para esses casos, o gerador é responsável pela coleta, assim como pela remoção, transporte, tratamento e disposição final desses resíduos.
- **Coleta Seletiva:** Os resíduos são segregados diretamente na fonte geradora ou em instalações de processamento próprias (de acordo com os interesses comerciais) e encaminhados para locais de tratamento e/ou recuperação. Dentre os resíduos de maior interesse destacam-se: papéis, papelão, vidro, plásticos e metais.

A coleta e o transporte de resíduos influenciam diretamente na vida da população pelas condições de limpeza das cidades e pela manutenção de saúde. Existe uma interdependência entre as ações da população que envolve o acondicionamento correto dos resíduos domiciliares e a prestação de serviços pelas prefeituras, cuja coleta deve ser realizada de forma abrangente e rotineira. Por isso, o engajamento da população é essencial e sempre passará pelo cumprimento do papel da entidade pública, que se beneficia em todo o processo de gerenciamento de resíduos sólidos (PEREIRA, 2019).

Devido ao aumento da quantidade de resíduos domésticos gerados no Brasil, no ano de 2020, houve conseqüentemente um crescimento na quantidade de materiais dispostos para a coleta, acarretando um total de 76,1 milhões de toneladas de RSU coletados, implicando em uma cobertura de coleta de 92,2%. Dentre as regiões do país, a Sudeste foi a que apresentou a maior quantidade de massa coletada, com cerca de 40 milhões de toneladas por ano, seguida da região Nordeste com pouco mais de 16,5 milhões de toneladas, e a região Sul com aproximadamente 8,5 milhões de toneladas de coleta (ABRELPE, 2021). Na Figura 2, ilustra-se a quantidade total de RSU coletados no Brasil e regiões.

Figura 2 - Coleta total de RSU no Brasil e regiões (t.ano⁻¹)



Fonte: ABRELPE (2021)

Com relação ao transporte utilizado para coletar os RSU, esses veículos podem ser classificados como compactadores ou não compactadores (VECCHI, 2016). A seguir, os tipos de veículos mais utilizados e suas respectivas vantagens e desvantagens.

- **Caminhão compactador:** As principais vantagens desse tipo de veículo consistem em coletar grandes volumes de resíduos, possuir alta velocidade de operação, possibilitar condições ergométricas ideais aos coletores, evitar o transbordamento de resíduos e maior índice de produtividade. Como desvantagens, têm-se: preços elevados para obtenção e manutenção desses veículos, inviabilidade para trafegar em trechos de difícil acesso e desfavorável em cidades com a densidade populacional baixa (FRANÇA JÚNIOR; ARANTES, 2015).
- **Caminhão basculante:** Veículo sem compactação, com capacidade de 5 a 12 m³, usado principalmente para coletar RSU. Além de serem utilizados para transportar insumos de construção civil, a exemplo de brita e areia. Como vantagem, apresentam versatilidade quanto à sua carga, contudo, devido à altura da carroceria, demanda um esforço físico maior dos agentes de limpeza urbana. Os resíduos nesse transporte ficam expostos, podendo sofrer interferências mediante a chuvas e ventos, por exemplo (RIBEIRO, 2017).
- **Caminhão baú:** Veículo sem compactação, com capacidade variando de 4 a 12 m³. É comumente utilizado em locais íngremes e em comunidades de baixa densidade demográfica. As principais vantagens de seu uso referem-se ao baixo custo de manutenção e ao adequado acondicionamento dos RSU.

Porém, apresentam baixa produtividade, pois exige um esforço maior dos trabalhadores (RIBEIRO, 2017).

- **Caminhão poliguindaste:** Veículos com capacidade para transportar caçambas estacionárias cheias. São úteis para transportar grandes volumes de resíduos domiciliares. No mercado existem três tipos de poliguindaste, do tipo simples, duplo e triplo, cada um destes, apresentando um número específico de caçamba estacionárias, com capacidade variando de 10 a 13 m³ dependendo do modelo (PINHEIRO; FERREIRA, 2017).

Segundo CEMPRE (2018), o planejamento do transporte é realizado inicialmente rota por rota. Porém, é necessário compreender vários elementos para esse planejamento, como por exemplo, o fluxo de várias conexões na rede, nível de serviço atual e de serviço exigido, característica/parâmetros de carga, os tipos de equipamentos disponíveis e suas características (capacidade, fabricante, entre outras).

3.3.2.1 Coleta seletiva

Na gestão integrada dos RSU, a PNRS estabelece a coleta seletiva como ferramenta que engloba a participação de atores sociais, ambientais e econômicos. Segundo a referida lei, a coleta seletiva tem como objetivo recolher materiais com potencial econômico para serem reaproveitados, como: papel, papelão, plástico, metal, vidro e alumínio. O intuito é que esses materiais, que agregam algum valor econômico, sejam reutilizados ou reciclados, a fim de evitar que sejam encaminhados aos aterros sanitários para serem aterrados como rejeitos (DANTAS, 2019).

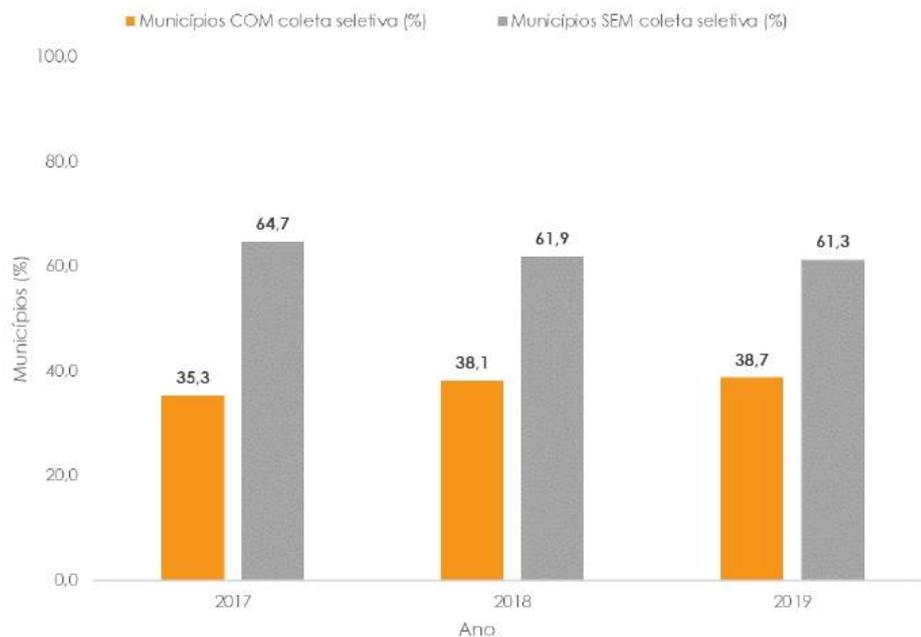
Para Conke (2015), a coleta seletiva é vista como um processo de gestão de material reciclável, que se inicia após o consumo domiciliar de determinados produtos ou serviços, gerando conseqüentemente, diferentes tipos de resíduos. Alguns desses geradores selecionam previamente esses materiais e os categorizam em: reciclável e não reciclável ou seco, molhado, orgânico e não orgânico, para que, posteriormente, sejam coletados. Ainda conforme Conke (2015), há dois tipos de coleta seletiva mais usualmente utilizadas, a do tipo porta a porta e pontos de entrega voluntária (PEVs). No primeiro tipo, os resíduos são dispostos em frente as casas ou comércios e os veículos coletores recolhem esses materiais. Já o segundo tipo, são locais protegidos

e de fácil acesso, podendo ser contêineres, tambores, caçambas ou qualquer outro tipo de recipiente identificado, cuja finalidade é armazenar, em grandes quantidades, o material reciclável das comunidades que reside em seu entorno.

Santos (2016) ressalta que dentre as várias vantagens proporcionadas pelo programa de coleta seletiva, destacam-se: a diminuição da exploração dos recursos naturais, redução do consumo de energia e da poluição do solo, água e ar, prolongamento da vida útil dos aterros sanitários, possibilidade de reciclagem e compostagem dos resíduos, fortalecimento de organizações comunitárias, redução de gastos com limpeza pública e geração de emprego e renda (devido à comercialização dos recicláveis).

De acordo com as informações exibidas no diagnóstico do manejo de RSU do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2019), a coleta seletiva ainda não é uma realidade para a maioria dos municípios brasileiros, tendo em vista que dos 3.712 municípios participantes desta edição, apenas 1.438 (38,7%) dispõem de alguma forma de coleta seletiva. No entanto, ainda há 2.274 municípios (61,3%) que não possuem esse serviço. Na Figura 3, mostra-se a evolução do índice de ocorrência do serviço de coleta seletiva de RSU dos municípios brasileiros do ano de 2017 a 2019 (BRASIL, 2020).

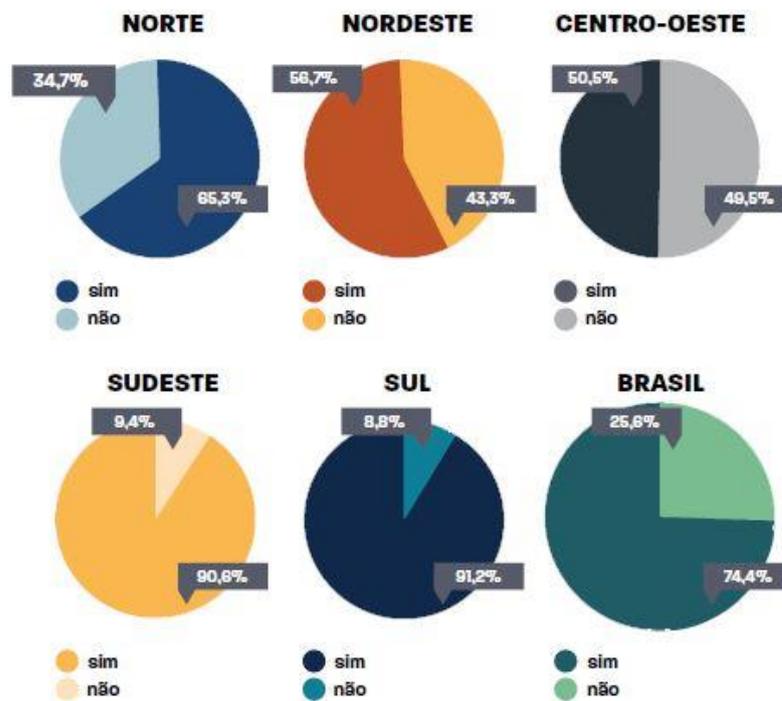
Figura 3 - Índice de municípios brasileiros com coleta seletiva



Fonte: BRASIL (2020)

Segundo a ABRELPE (2021), no ano de 2020, 4.145 municípios apresentaram alguma iniciativa de coleta seletiva, representando 74,4% do total do país. Contudo, em vários destes, as atividades de coleta seletiva ainda não abrangem a totalidade da população, podendo ser iniciativas pontuais. A concentração maior dos municípios que aderiram a essas atividades se deu nas regiões Sul e Sudeste. A Figura 4 apresenta em porcentagem a distribuição dos municípios com coleta seletiva no Brasil e regiões.

Figura 4 - Distribuição dos municípios com coleta seletiva no Brasil e regiões



Fonte: ABRELPE (2021)

3.3.3 Tratamento ou destinação final dos resíduos sólidos urbanos

Para Mendez (2017), o tratamento dos resíduos é um conjunto de procedimentos físicos, químicos e/ou biológicos, que visam reduzir os impactos ambientais negativos ocasionados pela disposição incorreta dos RSU, além de gerar benefícios econômicos, como a valorização dos resíduos e geração de emprego e renda.

Existem diversos tipos de tecnologias disponíveis para tratar os RSU, não existindo uma mais eficiente. No entanto, é preciso avaliar por meio de critérios

técnicos, econômicos e socioambientais a área de aplicação, para que assim, possa ser determinado a técnica mais adequada a ser implementada (BAPTISTA *et al.*, 2019).

As principais alternativas de tratamento para sistemas de gerenciamento dos RSU são:

- **Triagem:** As centrais de triagem são instalações destinadas à separar os resíduos recicláveis provenientes da coleta, seja ela convencional ou seletiva. Geralmente a triagem dos RSU é realizada de forma mecanizada ou manual. Outras atividades podem ser executadas nessas centrais (além da separação dos resíduos pela tipologia) como a lavagem, trituração, peneiramento, prensagem e enfardamento (OLIVEIRA, 2019). É de fundamental importância a eficiência da separação dos diferentes tipos de resíduos, pois afeta diretamente as etapas posteriores na linha do gerenciamento dos RSU, uma vez que materiais contaminados acarretam a inviabilização dos métodos de tratamento (CONCEIÇÃO, 2018).
- **Reciclagem:** A reciclagem pode ser definida como um processo no qual os materiais descartados são coletados, separados e reprocessados para serem utilizados como insumos ou matéria prima, na fabricação de novos produtos (CEMPRE, 2018).
- **Compostagem de resíduos orgânicos:** É um tratamento biológico, que atua decompondo aerobiamente a matéria orgânica presente nos RSU, ou seja, com a presença de oxigênio. Para que a compostagem seja eficaz, é necessário que exista condições adequadas de temperatura, umidade e nutrientes, resultando em um produto biologicamente estável, denominado de composto orgânico, que pode ser utilizado para fins agrícolas como fertilizante (adubo) (PRATES *et al.*, 2019). As principais vantagens da compostagem, são: processo simples e baixo custo de implantação e operação quando comparado a outros tratamentos (JARA-SAMANIEGO, 2017).
- **Digestão anaeróbia:** É uma técnica de tratamento biológico, na qual ocorre a degradação da matéria orgânica em biodigestores, por meio da ação de microrganismos, porém na ausência de oxigênio, resultando na formação de dois subprodutos, o biogás e o composto orgânico estabilizado (BAKMAN, 2021). Como vantagens, essa tecnologia apresenta: maior geração de biogás,

contribuição para a redução da emissão dos gases do efeito estufa na atmosfera e a geração de produtos valoráveis, como o composto orgânico com propriedades fertilizantes (JUCÁ *et al.*, 2014).

- **Incineração:** É um tratamento térmico que tem por objetivo a queima controlada de resíduos, transformando-os em materiais inertes e reduzindo seu volume e peso. Os resíduos orgânicos e os combustíveis não recicláveis passam por fornos que operam em temperatura média de 950 °C, podendo chegar até 1050 °C (LOUREIRO, 2019). Dentre as vantagens da incineração, destacam-se a capacidade de reduzir expressivamente o volume dos resíduos (dependendo da composição, pode ocorrer redução de até 90%), esterilização e estabilização dos resíduos, potencial de recuperação de energia e as cinzas resultantes podem ser utilizadas como cobertura do solo. Em contrapartida, esse método, apresenta como principal desvantagem, o elevado custo (NABAVI-PELESARAEI, 2017).
- **Coprocessamento:** É uma técnica indicado para o tratamento de resíduos industriais, que consiste na produção de um combustível a partir da queima dos resíduos sólidos, utilizado principalmente em fornos de cimento e centrais de energia elétrica em altas temperaturas. Após os materiais recicláveis e não combustíveis serem removidos durante a coleta e/ou centro de triagem, os demais RS são conduzidos à um processo de trituração, e depois, passam pela por secagem, para aumentar o poder calorífico e evitar processos de fermentação. Dependendo da qualidade final desejada do produto, os RS podem ser reduzidos ainda mais por um processo de refino e convertido em *pellets* ou briquetes (MORETTO E FERNANDES, 2019). Como principal vantagem dessa técnica, destaca-se o prolongamento da vida útil de aterros, redução das emissões de poluentes na atmosfera, transformação dos RSU em alternativa energética (JUCÁ *et al.*, 2014).

3.3.4 Disposição final dos resíduos sólidos urbanos

A disposição final compreende a última etapa do gerenciamento de RS. No Brasil, são três as principais formas de disposição final de RSU utilizadas: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

Conforme a PNRS, a disposição final ambientalmente adequada é definida como “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, 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).

De acordo com ABRELPE (2021), A maior parte dos RSU coletados no país, no ano de 2020, foram encaminhados para disposição em aterros sanitários, com 46 milhões de toneladas enviadas para esses locais, ou seja, mais de 60% dos resíduos coletados tiveram disposição adequada no Brasil. Em contrapartida, a quantidade de resíduos que seguiram para disposição inadequada também aumentou, de 29 milhões de toneladas por ano em 2019 para pouco mais de 30 milhões em 2020, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantitativo de RSU dispostos (t.ano⁻¹), entre os anos de 2019 e 2020, em diferentes tipos de disposição final nas regiões brasileiras

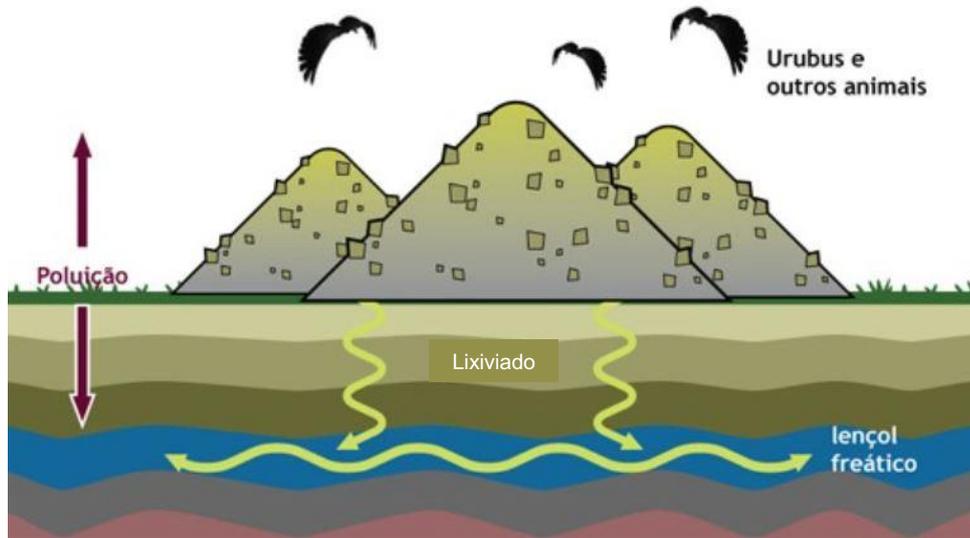
Região	2019		2020	
	Disposição Adequada	Disposição Inadequada	Disposição Adequada	Disposição Inadequada
Norte	1.683.745	3.086.440	1.773.927	3.209.013
Nordeste	5.686.700	10.286.795	6.016.948	10.558.666
Centro	2.252.415	3.201.050	2.456.849	3.323.972
Oeste	2.252.415	3.201.050	2.456.849	3.323.972
Sudeste	28.121.425	10.560.180	29.542.830	10.706.257
Sul	5.556.030	2.313.735	6.011.894	2.479.482
Brasil	43.300.315	29.448.200	45.802.448	30.277.390

Fonte: ABRELPE (2021)

3.3.4.1 Lixão

Para ABRELPE (2017), o lixão ou vazadouros é definido como depósito a céu aberto onde os resíduos sólidos são descartados de forma indiscriminada no solo, sem nenhum tipo de controle operacional e proteção do meio ambiente (Figura 5). Essas áreas possuem resíduos de diferentes origens e composições, raramente são cobertas ou compactadas, e muitas vezes ocorrem as queimas irregulares desses materiais. Não há controle para os resíduos depositados nesse local, nem sistemas de coleta para o lixiviado e gás metano produzidos.

Figura 5 - Desenho esquemático do lixão

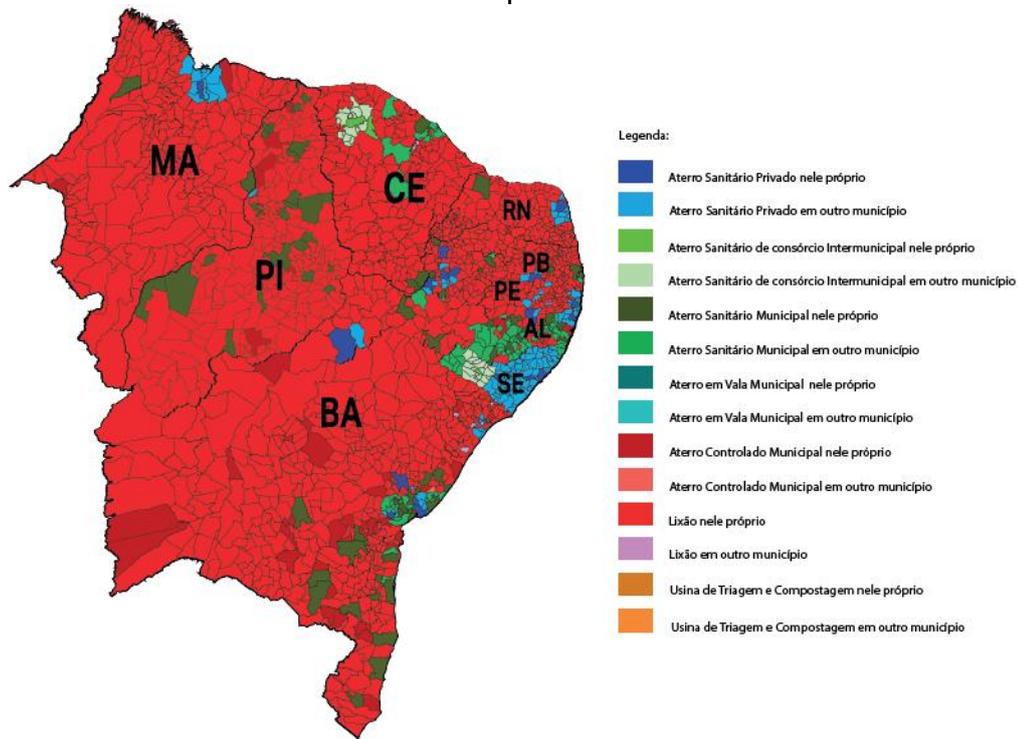


Fonte: Adaptado de Martins (2019)

A disposição final inadequada de resíduos sólidos em lixões causa diversos impactos negativos ao meio ambiente, podendo acarretar tríplice poluição (poluição do solo, água e ar), além de problemas de saúde pública, levando a disseminação de doenças zoonóticas e parasitárias, tanto às pessoas que vivem no entorno quanto aquelas envolvidas em sua operação (MENDES *et al.*, 2020). Por isso, é de fundamental importância o fechamento ou a adequação dos lixões como forma de controlar os impactos atuais e futuros ao meio ambiente, bem como na saúde pública, resultantes do gerenciamento inadequado de resíduos sólidos (ABRELPE, 2017).

Canejo (2022) destaca que o lixão é uma técnica criminosa de disposição final de RSU. O Novo Marco do Saneamento proíbe esta prática e determina que todos os lixões do Brasil sejam encerrados até dezembro de 2020, exceto algumas condições municipais específicas. Não há premissa para licenciamento ambiental desta atividade, sendo assim, perante a legislação ambiental brasileira, a operação de qualquer lixão em território nacional é considerada crime. Apesar disso, o uso dos lixões ainda é uma realidade brasileira, principalmente na região nordeste, que majoritariamente, conforme mostrado na Figura 6, utiliza esse local inadequado como forma de disposição final para os RSU.

Figura 6 - Figura ilustrativa dos tipos de disposição final de RSU na região Nordeste do país

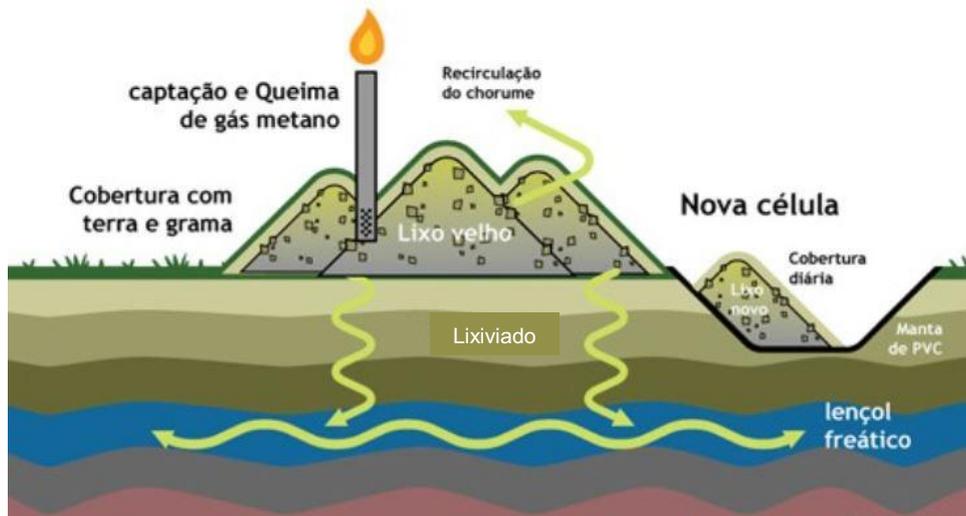


Fonte: ABETRE (2020)

3.3.4.2 Aterro controlado

Os aterros controlados podem ser definidos como áreas que são ambientalmente melhores que os lixões, entretanto, não possuem eficiência no tratamento de resíduos sólidos como os aterros sanitários. Essa técnica de disposição nada mais é do que lixões em estágio de recuperação parcial, afinal utiliza-se de alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, como compactação, construção de taludes e recobrimento dos RSU dispostos. Contudo, a ausência de sistemas de impermeabilização de base e drenagem de lixiviado ocasiona a contaminação constante do solo e das águas subterrâneas durante o seu ciclo operacional e décadas após o seu encerramento (CANEJO, 2022). A Figura 7 mostra-se um desenho esquemático de um aterro controlado.

Figura 7 - Desenho esquemático de aterro controlado



Fonte: Adaptado de Martins (2019)

3.3.4.3 Aterro sanitário

A NBR 8.419 (ABNT, 1996), que fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de RSU, define aterros sanitários como:

Uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde e à sua segurança e minimizando impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário (ABNT, 1996).

Nos aterros sanitários, diversos elementos devem ser projetados e planejados de acordo com as normas de engenharia, tais como: sistemas de impermeabilização de base, sistemas de drenagem de águas pluviais, sistemas de drenagem dos líquidos lixiviados e dos gases produzidos decorrentes da biodegradação dos resíduos em condições de anaerobiose, sistemas de cobertura de resíduos e estação de tratamento de lixiviado. Todos esses sistemas e unidades tem como finalidade garantir a segurança do aterro, controlar os efluentes, reduzir as emissões de gases, além de assegurar a disposição ambientalmente corretada e tratamento dos resíduos, minimizando assim, os impactos ambientais e garantindo a proteção da saúde pública (MARRA, 2016). Na Figura 8, ilustra-se um desenho esquemático de um aterro sanitário.

Figura 8 - Desenho esquemático do aterro sanitário



Fonte: Martins (2019)

Para Canejo (2022), o aterro sanitário é uma tecnologia universal de disposição final de RSU, mesmo em países onde já existem outras tecnologias de valorização e tratamento, como incineração, compostagem e reciclagem. No Brasil, a utilização de aterros sanitários tem se tornado cada vez mais frequente, com intuito de cumprir o que foi preconizado pela PNRS.

De acordo com Canejo (2022), o principal desafio dos gestores públicos e privados quanto aos aterros sanitários, é com relação ao envio adequado dos materiais para esses locais. Apenas rejeitos deveriam ser enviados, já que os RSU podem ser reciclados, tratados e/ou reutilizados, prolongando assim, a vida útil dos aterros. O mesmo autor ainda destaca, que a utilização desse método é mais popular em países em desenvolvimento, como uma das melhores alternativas econômicas e ambientais, em oposição aos lixões e aos aterros controlados.

Em países europeus, tais como Alemanha, França, Dinamarca e Reino Unido, possuem tecnologias e políticas de resíduos sólidos que buscam elevados índices de reaproveitamento, diminuindo significativamente a necessidade de envio aos aterros sanitários. Essa taxa mínima de resíduos direcionados aos aterros sanitários ocorre porque a gestão de RSU nesses países, se apresenta de forma eficiente e adequada, devido a implementação da hierarquia de resíduos que visa primeiro a sua redução na origem (prevenção), reuso, reciclagem, incineração, e, por fim, a disposição em aterros sanitários (BASSI *et al.*, 2017).

Dentre as principais vantagens proporcionadas pela utilização de aterros sanitários encontram-se: possibilidade de se utilizar áreas já degradadas por outras atividades; receber e acomodar quantidades variáveis de resíduos; apresenta menores custos de investimento e operação quando comparados a outras tecnologias; aproveitamento energético do biogás; e se projetado e executado corretamente, não ocasiona danos ao meio ambiente. Com relação as desvantagens, destacam-se: necessidade de grandes áreas para implantação do empreendimento; alterações na estética da paisagem; longo período necessário para a estabilização do aterro; e interferência de fatores climáticos em sua operação (JUCÁ *et al.*, 2014).

3.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS (IQR)

Os índices/indicadores tem sido uma ferramenta bastante viável no que tange a observação e acompanhamento da situação do meio ambiente, aos impactos e as consequências dos processos de desenvolvimento sobre os recursos naturais, as funções ecológicas e as inter-relações entre os diferentes fatores do desenvolvimento. São instrumentos capazes de medir cada indicador, nos quais são atribuídos valores numéricos, ou seja, o arranjo de diversas variáveis ou parâmetros em um único valor, atribuindo um peso relativo a cada componente do índice (MONTEIRO, 2006).

Diante disso, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), desenvolveu um dos principais indicadores que descrevem a qualidade de uma área de disposição final de RSU conhecido como o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR). Essa metodologia é constituída por 30 variáveis em um formulário padronizado, cuja pontuação máxima é de 110 pontos. Sendo subdividido em 3 partes: características do local, infraestrutura implantada e condições operacionais. Além disso, esse índice é disposto em um questionário e quando preenchido pode alcançar uma nota que permite enquadrar a instalação de disposição final dos RSU em duas condições: (i) adequada ou (ii) inadequada (CETESB, 2020).

Silva *et al.* (2016) avaliaram o sistema de disposição final do município de Riacho Frio - PI, por meio da aplicação do IQR, e obtiveram um valor de 1,84, mostrando que o lixão da área em estudo foi enquadrado em condições inadequadas para receber resíduos sólidos, em razão do valor obtido ter sido menor que 6,0.

Albertin, Silva e Viotto (2020) aplicaram o método IQR para o aterro sanitário localizado na cidade de Sarandi - PR, como forma de apontar as possíveis

potencialidades e fragilidades da área em estudo. Com isso, obtiveram um IQR com nota 10, tendo a infraestrutura e condições operacionais adequadas para disposição de resíduos sólidos urbanos, e, sobretudo, em acordo com a legislação vigente e licenciamento ambiental.

3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução N°. 01 de 23 de janeiro de 1986, estabelece a seguinte definição de impacto ambiental:

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: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986, p. 636).

A implantação de qualquer empreendimento ou atividade em determinado local, ocasiona diversos impactos ambientais sobre o meio ambiente da área de instalação e em seu entorno. Essas alterações são muitas vezes mais negativas do que positivas, mas para atender as necessidades humanas, tais atividades são implementadas sem nenhum planejamento ambiental (GOMES, 2015). Dentre todas as etapas que compõe o gerenciamento de RS, a que mais ocasiona impactos negativos ao meio natural é a disposição final, principalmente quando realizada de forma inadequada, como nos lixões a céu aberto. Essa degradação afeta não somente o meio abiótico e biótico, mas também o antrópico.

Dentre os possíveis impactos gerados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos, destacam-se: a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, assoreamento dos corpos d'água, contaminação e depreciação da qualidade do solo, aumento da turbidez e variações do gradiente de temperatura em corpos d'água e nascentes, intensificação de inundações, degradação da paisagem natural e do solo, danos à microbiota, proliferação e transmissão de doenças e poluição do ar (CORREIA, 2020).

Os impactos provenientes dos lixões não apenas prejudicam o meio ambiente, mas também causam sérios problemas sociais devido às práticas degradantes de trabalho a que estão expostos os catadores de materiais recicláveis, bem como a

vulnerabilidade das famílias que moram nas proximidades dessas áreas. Brito *et al.* (2019) analisaram os impactos socioambientais advindos de um lixão, localizado no distrito de Marudá – PA, no qual identificaram dois impactos de alto grau no meio antrópico, a poluição visual e a proliferação de doenças. Segundo os autores, das 30 pessoas que residiam nas proximidades do lixão, 43% afirmaram já ter obtido patologias, tais como: diarreia, verminoses, micoses e dengue.

Já em um estudo realizado por Gomes *et al.* (2019), no município de Corrente - PI, identificaram vários impactos ambientais de alto grau na área de disposição final de RS, a exemplo de: aumento dos processos erosivos, compactação do solo, possível depreciação do lençol freático, emissão de gases do efeito estufa, contaminação e redução da biota do solo, redução da capacidade de sustentação da flora, riscos de contaminação dos catadores e presença de vetores de doenças.

Contudo, existem variados métodos que podem ser utilizados como forma de auxiliar a identificação e classificação de impactos ambientais. De acordo com Cunha e Guerra (2010), as ferramentas ou metodologia usadas na avaliação de impactos ambientais (AIA) são mecanismos que visam organizar e analisar informações a respeito dos impactos ambientais de uma proposta, incluindo a apresentação escrita e visual dessas informações.

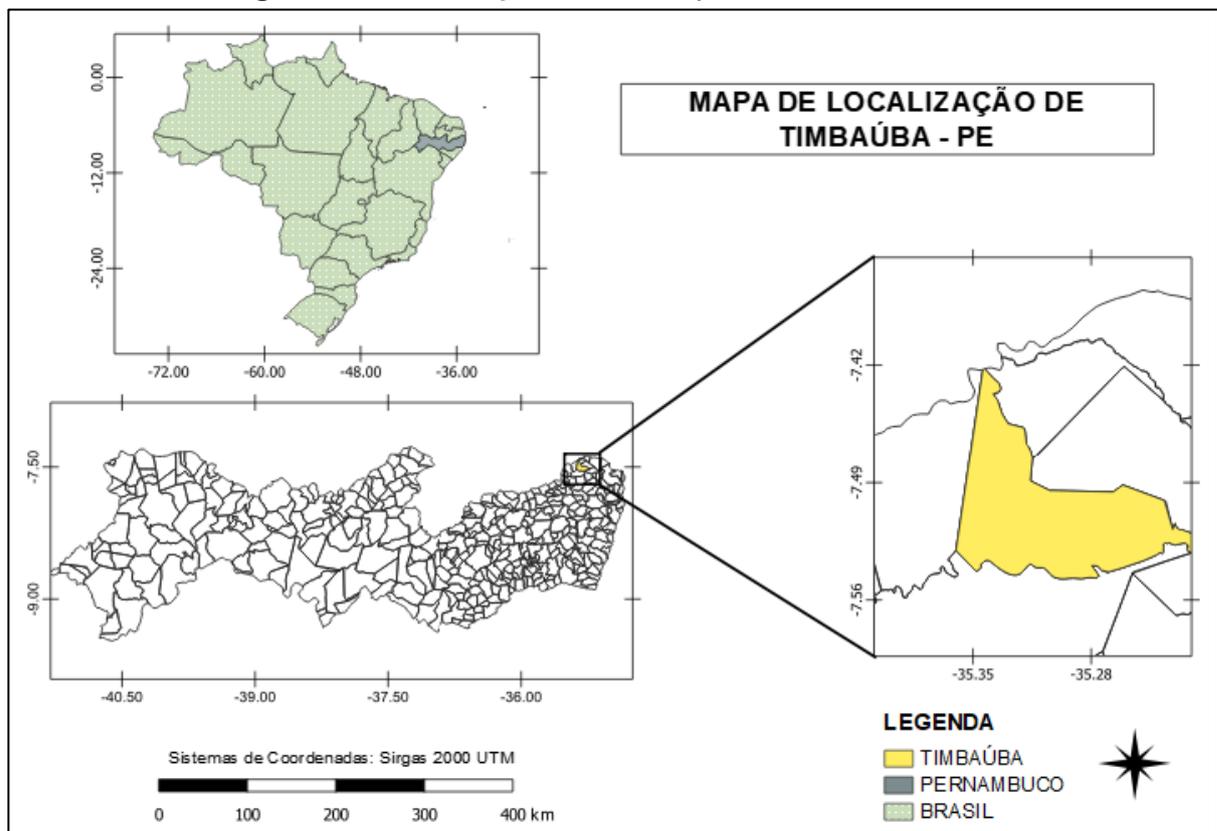
Portanto, o método de AIA utilizado neste estudo foi o Índice de Impacto, que segundo Lopes *et al.* (2000), de maneira geral, essa metodologia envolve a aplicação de valores e pesos aos impactos ambientais significativos, no qual a somatório desses valores deve ser ponderado em uma equação (linear ou logarítmica, por exemplo) possibilitando assim, um resultado quantitativo a respeito dos impactos ambientais decorrentes de um empreendimento ou atividade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na cidade de Timbaúba - PE, localizada na Zona da Mata Norte e na Microrregião da Mata Setentrional do Estado de Pernambuco, na região Nordeste do Brasil. Sua posição geográfica encontra-se na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, apresentando coordenadas geográficas de Latitude: 7° 30' 11" Sul e Longitude: 35° 18' 50" Oeste. Esse município possui 287,683 km² de extensão territorial, com uma população estimada de 52.587 habitantes (IBGE, 2021) e uma densidade demográfica de 184,63 habitantes por km², de acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Na Figura 9, ilustra-se a localização geográfica do município de Timbaúba - PE.

Figura 9 - Localização do município de Timbaúba - PE



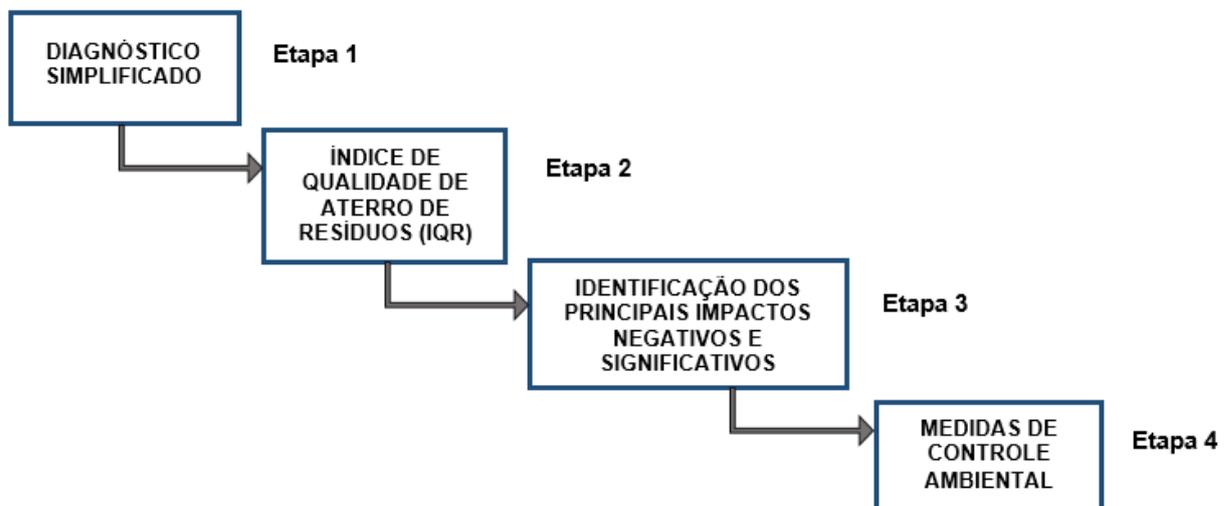
Fonte: Arquivo pessoal (2022)

4.2 ETAPAS METODOLÓGICAS DA PESQUISA

Para o desenvolvimento deste trabalho, os métodos adotados incluíram, principalmente, pesquisas bibliográficas em livros, periódicos e outros recursos científicos, o que permitiu um embasamento teórico à pesquisa. Também foi utilizado o *software* de Sistema de Informação Geográfica (*Qgis*), que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Além disso, ainda foram coletados dados secundários disponibilizados no site eletrônico do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), a fim de obter informações de indicadores para a elaboração do diagnóstico simplificado sobre o manejo de resíduos sólidos na cidade de Timbaúba - PE.

Na Figura 10, encontram-se as etapas metodológicas realizadas durante a execução desta pesquisa, visando analisar a situação dos serviços de gerenciamento de RSU na cidade de Timbaúba - PE.

Figura 10 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

4.2.2 Etapa 1: Diagnóstico ambiental simplificado

Para o diagnóstico ambiental simplificado dos serviços de coleta, transporte e disposição final dos RSU gerados em Timbaúba - PE foram realizadas buscas de dados no SNIS, com o intuito de coletar informações de indicadores sobre o manejo de resíduos sólidos na referida cidade.

O SNIS analisa e disponibiliza diversas informações relacionadas aos resíduos sólidos, desde dados gerais até informações mais específicas. Com isso, o levantamento de dados para a cidade de Timbaúba - PE compreendeu os anos 2012 a 2017, sendo coletadas informações referentes aos serviços de coleta, disposição final, quantidade de resíduos coletados e tipos de transportes utilizados na coleta convencional. Os dados disponibilizados pelo SNIS para o ano de 2020 não foram utilizados nesse estudo, pois após uma análise, percebeu-se inconsistências em relação aos outros anos, sendo, portanto, desconsiderados. Além disso, foram realizadas visitas técnicas no local de disposição final de RSU da cidade estudada, para a verificação da situação atual e consulta ao órgão municipal responsável (Secretaria de Serviços Urbanos) pela coleta, transporte e disposição final de RSU, em que foi realizada entrevista informal com o secretário desse setor.

4.2.3 Etapa 2: Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR)

As informações para o cálculo do IQR foram coletadas a partir de visitas técnicas realizadas entre os meses de dezembro de 2021 a março de 2022, no local de disposição final de RSU de Timbaúba - PE. Tais visitas foram realizadas para o preenchimento do *check list* padronizado pela CETESB (2021). Para isso, foram consideradas as características como estrutura de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior, estrutura de proteção ambiental, outras informações (como presença de catadores; ocorrência de queimas de resíduos; presença de moscas e odores; presença de animais e aves, recebimento de resíduos não autorizados, recebimento de resíduos industriais e estruturas e procedimentos) e característica da área. Além disso, essas visitas permitiram a realização de registro fotográfico *in loco*.

A utilização do *checklist* para determinar o IQR se deu devido à sua facilidade no processo de validação e tabulação dos dados coletados em campo, permitindo assim, efetuar uma estimativa confiável das condições ambientais, diminuindo a subjetividade na análise dos dados (GOMES *et al.*, 2020).

Segundo Silva *et al.* (2016), os indicadores, índices e subíndices podem ser utilizados como base para melhorar o planejamento operacional das cidades quanto aos serviços de limpeza urbana, uma vez que demonstram o impacto dos sistemas nas áreas de saúde pública, desenvolvimento econômico, social e ambiental.

O formulário do IQR disponibilizado pela CETESB (2021) é constituído por três macro conjuntos de dados, contendo 33 parâmetros no total. Para cada subitem que compõe o *checklist* atribui-se uma pontuação, que possui peso variando de 0 a 10, dependendo das informações obtidas e das características da disposição final dos RSU (Tabela 3). Ao atribuir os valores para cada subitem, em seguida, esses valores foram somados, gerando subtotaís para cada macro conjunto, totalizando, assim, três subtotaís. Logo após o somatório dos subtotaís, o resultado obtido foi dividido por 10, devido ao não recebimento de resíduos industriais no local de disposição de RSU (BARROS *et al.*, 2020). Diante disso, a determinação do IQR foi realizada utilizando a Equação 1:

$$IQR = \frac{Subtotal\ 1 + Subtotal\ 2 + Subtotal\ 3}{10} \quad (1)$$

Em que:

IQR - Índice de Qualidade de Resíduos;

Subtotal 1 - Estrutura de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior e estrutura de proteção ambiental;

Subtotal 2 - Outras informações;

Subtotal 3 - Características da área.

Após a determinação do IQR (Equação 1), os resultados encontrados foram analisados e interpretados de acordo com a CETESB (2021), que estabelece valores de IQR para os locais de disposição final dos resíduos sólidos. Logo, se o resultado obtido estiver entre 0,0 e 7,0 a avaliação é considerada como inadequada; caso contrário, se o resultado for entre 7,1 e 10, as condições são enquadradas como adequadas, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Enquadramento dos valores do IQR estabelecidos para os locais de disposição final dos resíduos sólidos

IQR	Avaliação
0,0 a 7,0	Condições Inadequadas
7,1 a 10	Condições Adequadas

Fonte: CETESB (2021)

4.2.4 Etapa 3: Identificação dos principais impactos ambientais significativos

Para avaliação quantitativa dos impactos ambientais significativos ocorridos nos meios bióticos, abióticos e antrópicos decorrente as etapas de coleta, transporte e disposição final RSU, utilizou-se o método índice de impacto, que segundo Calijuri e Cunha (2013), consiste no uso de equações matemáticas, que são estabelecidas por especialistas e expressam a qualidade ambiental de uma determinada área de implantação de um projeto ou atividade. O Quadro 3 ilustra-se um esquema geral do método de AIA adotado.

Quadro 3 - Esquema geral da aplicação do método índice de impacto

Meios	Impactos ambientais significativos	Peso	Nota
Biótico	Impacto 1	Peso 1	Nota 1
Abiótico	Impacto 2	Peso 2	Nota 2
Antrópico	Impacto n	Peso n	Nota n

Fonte: Adaptado de Oliveira (2016)

Para classificar a importância de cada evento do impacto identificado, utilizou-se a metodologia descrita por Tommasi (1994), na qual para cada evento listado é atribuído um peso de 1 a 5. As consequências desses eventos são atribuídas a uma classificação que varia de -5 a +5, com -5 sendo o impacto negativo mais forte, 0 (zero) sendo nenhum impacto e +5 sendo o impacto positivo mais forte.

Seguindo os critérios de avaliação de Oliveira (2016), os pesos e notas atribuídos para realização desse método, se dá a partir de visitas *in loco* e análises dos efeitos de cada ação sobre o meio ambiente, tendo como base, pesquisas bibliográficas com estudos semelhantes. Para este estudo, foram analisados os seguintes princípios: potencial de degradação dos recursos naturais e potencial de causar doenças na população.

Logo após os pesos e notas serem atribuídos, conforme os princípios e procedimentos citados anteriormente, o índice de impacto foi calculado a partir da Equação 2 (GOMES *et al.*, 2015):

$$I_{IMPACTO} = \frac{\sum(P_e * N_t)}{\sum P_e} \quad (2)$$

Em que:

$I_{IMPACTO}$ - Índice de Impacto;

P_e - Peso atribuído a cada impacto;

N_t - Nota atribuída a cada impacto.

4.2.5 Etapa 4: Medidas de controle ambiental

A proposição de medidas de controle ambiental para minimizar os efeitos negativos, ocasionados nas etapas de gerenciamento de RSU da cidade de Timbaúba - PE, foi realizada com base em pesquisas na literatura científica e em Estudos de Impacto Ambiental/Relatórios de Impacto Ambiental (EIAs/RIMAs) de empreendimentos que apresentarem impactos semelhantes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SIMPLIFICADO

5.1.1 Coleta e transporte dos resíduos sólidos gerados em Timbaúba - PE

Os serviços de coleta e transporte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados na cidade de Timbaúba - PE, são gerenciados pela Secretaria de Serviços Urbanos (SSU). De acordo com os dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), a citada cidade ainda não possui Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Para Berticelli e Korf (2016), é de fundamental importância a implantação do PMGIRS, tendo em vista que seu principal objetivo consiste em criar condições para o adequado gerenciamento dos RSU, e, conseqüentemente, evite danos ou riscos à população e ao meio em que está inserida e ao meio ambiente.

Na cidade de Timbaúba - PE, o serviço de coleta domiciliar de RSU abrange toda a sua área urbana (18 bairros), como também, dois distritos (Cruangi e Livramento do Tiúma). De acordo com informações disponibilizadas pela SSU (2022), no período de realização deste estudo (dezembro de 2021 a março de 2022), a periodicidade da coleta foi executada de forma alternada (3 vezes por semana) em ambos os locais. Além disso, o serviço foi realizado no período diurno nos bairros periféricos e nos distritos, enquanto no centro da cidade a coleta aconteceu diariamente, no período noturno, como forma de evitar engarrafamentos no trânsito.

Na Tabela 3, apresenta-se a frequência que a população foi atendida pelo serviço de coleta na cidade de Timbaúba - PE.

Tabela 3 - Percentual da frequência de atendimento do serviço de coleta da população de Timbaúba - PE

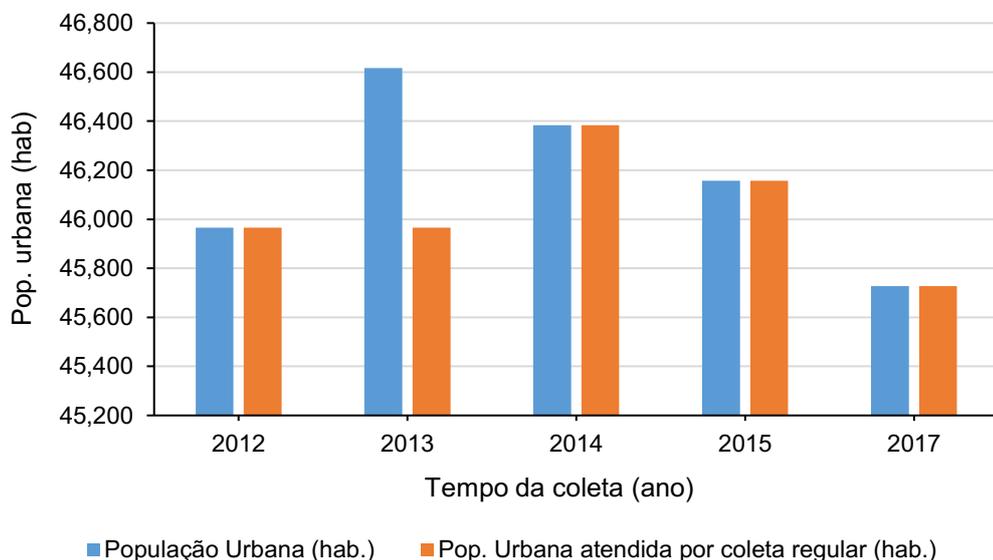
Ano de Referência	Frequência de atendimento (%)		
	Diária	2 ou 3 vezes por semana	1 vez por semana
2017	15	80	5
2015	20	80	0
2014	20	80	0
2013	20	80	0
2012	20	80	0

Fonte: BRASIL (2022)

Segundo os dados coleta de RSU disponibilizados pela SNIS (2022), entre os anos de 2012 e 2017, 80% da população timbaubense foi atendida pela coleta regular, com frequência de 2 ou 3 vezes por semana; 20% com coleta diária, exceto no ano de 2017, em que esse número caiu para 15%, sendo 5% da população atendida uma vez por semana, conforme mostrado na Tabela 3. Em um estudo realizado por Galdino e Martins (2015), em Mamborê - PR, o percentual da população urbana atendida com frequência diária de coleta foi de 10%, com as frequências de 2 a 3 vezes e de 1 vez por semana foram de 80% e 10 %, respectivamente. Verifica-se, portanto, que Timbaúba - PE possui uma cobertura diária maior do que a cidade de Mamborê - PR, mesmo apresentando uma quantidade maior de habitantes.

Na Figura 11, observa-se que a quantidade da população atendida pela coleta regular de RSU, quando comparada a população urbana total da cidade de Timbaúba - PE, nos anos de 2012 a 2017, possui em sua maioria, abrangência de 100%, exceto no ano de 2013, em que dos 46.617 habitantes, cerca de 98,60% foram contemplados com o serviço de coleta.

Figura 11 - População urbana da cidade *versus* população atendida pela coleta regular de resíduos sólidos urbanos



Fonte: Brasil (2022)

Dados semelhantes aos observados neste estudo foram obtidos por Fernandes (2021), que analisou o gerenciamento de resíduos sólidos na cidade de Camalaú - PB, entre os anos de 2009 e 2018. Por meio do diagnóstico do serviço de coleta de RSU, observou-se que no ano de 2009 a população atendida por esse serviço

representava 85,7% da população urbana, situação que melhorou a partir de 2013, com o atendimento de praticamente toda a população urbana.

Em relação à cobertura da coleta dos resíduos domiciliares para a população urbana de Timbaúba - PE (Tabela 4), verifica-se a universalização dos serviços durante os anos de 2012 a 2017, exceto no ano de 2013, em que a taxa de cobertura obtida foi de 98,60%. Apesar disso, esse resultado ainda é maior do que o índice de cobertura de coleta da região Nordeste do país no ano de 2019, que de acordo com a ABRELPE (2020), obteve o percentual de 81,5%. Conforme estudos realizados pela ABRELPE (2021), no ano de 2020, o Brasil apresentou um total de 76,1 milhões de toneladas de resíduos coletados, o que implica em uma média de cobertura de coleta de 92,2%. Além disso, nota-se que o principal tipo de coleta realizada na cidade, conforme Tabela 4, foi a coleta direta ou porta a porta.

Tabela 4 - Taxa de cobertura e massa de resíduos domésticos coletados na cidade de Timbaúba - PE

Ano de Referência	Indicadores sobre a coleta de RSU				
	Taxa de cobertura da coleta RDO em relação à pop. total (%)	Taxa de cobertura da coleta RDO em relação à pop. urbana (%)	Taxa de cobertura de coleta direta RDO relativo à pop. urbana (%)	Massa RSU coletada <i>per capita</i> em relação à pop. urbana (kg.hab.dia ⁻¹)	Massa RDO coletada <i>per capita</i> em relação à pop. total atendida (kg.hab.dia ⁻¹)
2017	94,57	100	100	1,79	1,63
2015	100	100	100	1,76	1,52
2014	100	100	100	1,74	1,50
2013	96,76	98,60	98,60	1,66	1,48
2012	98,10	100	100	1,54	1,36

Fonte: BRASIL (2022)

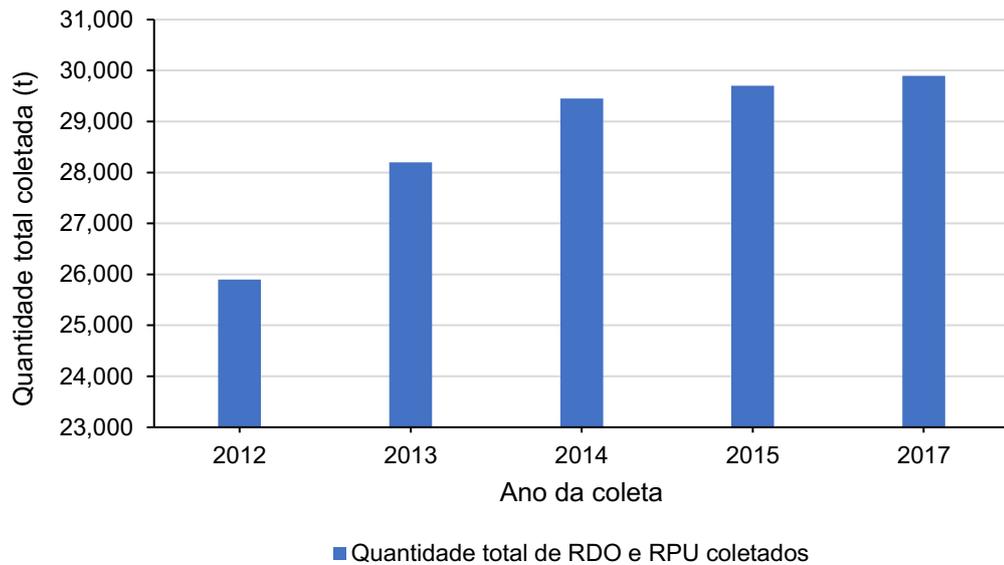
Legenda: Pop – População; RDO - Resíduos domésticos; RPU - Resíduos públicos.

No que concerne aos tipos de resíduos sólidos gerados na cidade de Timbaúba - PE, destacam-se os de origem domiciliar, público, comercial, podas de árvores, Resíduos de Construção Civil (RCC) e serviço de saúde. Conforme informações da SSU (2022), no período de realização deste estudo (dezembro de 2021 a março de 2022), mais de 50% dos RCC foram reaproveitados em outros empreendimentos, e a outra parte (50%) foi coletada e dirigida à disposição final, assim como os RSU. Salienta-se que a coleta de Resíduos Domésticos (RDO) foi realizada juntamente com os Resíduos Públicos (RPU). Por outro lado, os Resíduos de Serviço de Saúde (RSS),

foram coletados por uma empresa privada e encaminhados para tratamento em outro município.

Na Figura 12, ilustra-se a quantidade total de RSU (RDO + RPU) coletados em Timbaúba - PE entre os anos de 2012 e 2017.

Figura 12 - Total de resíduos domésticos e públicos coletados em Timbaúba - PE



Fonte: BRASIL (2022)

Legenda: RDO - Resíduos domésticos; RPU - Resíduos públicos.

Nota-se que o ano de 2017 apresentou a maior quantidade de RSU coletados em relação aos outros anos, com cerca de 29.896 t.ano⁻¹. Isso implica dizer que foram coletados 81,9 t.dia⁻¹. Em contrapartida, no ano de 2012, o serviço de limpeza urbana obteve a menor quantidade de resíduos coletados, com cerca de 70,95 t.dia⁻¹, aproximadamente 10,95 t.dia⁻¹ a menos que em 2017. É possível observar um crescimento diretamente proporcional da quantidade de RSU coletados em relação ao passar dos anos, mesmo que nos últimos 3 anos não tenha tido uma variação expressiva. Uma possível justificativa para isso, seria o não uso de balança para a pesagem rotineira dos RSU coletados na cidade em estudo.

Com relação ao indicador massa de RSU (RDO + RPU) *per capita* coletada em relação à população urbana de Timbaúba - PE, nos anos de 2012 e 2017, conforme ilustrado no Quadro 5, nota-se que em todos os anos estudados, o resultado se manteve elevado, muito acima da média nacional, que no ano de 2019 foi de 0,99 kg.hab.dia⁻¹, segundo o diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2020).

Soares *et al.* (2019), em seu estudo, realizaram uma análise comparativa dos sistemas de coleta e transporte de resíduos sólidos das cidades de São Paulo e Belo Horizonte, com quantidades de habitantes de 12.106.920 e 383.365, respectivamente, no ano de 2016. Os autores obtiveram valores de massa coletada *per capita* em relação à população urbana de 0,89 kg.hab.dia⁻¹ para São Paulo e 0,87 kg.hab.dia⁻¹ para Belo Horizonte.

No tocante aos veículos utilizados no serviço de coleta de RSU, a cidade de Timbaúba - PE, de acordo com a SSU (2022), possui um total de 12 veículos, sendo essa frota composta por 2 caminhões compactadores, 8 caminhões tipo basculante, baú ou carroceria de madeira e 2 tratores agrícolas com reboque. Todos esses veículos são fornecidos pela própria prefeitura e possuem idade maior que 10 anos.

Considerando que a cidade de Timbaúba - PE apresenta uma alta taxa de cobertura de coleta de RSU e possui cerca de 52 mil habitantes ou seja, cidade de médio porte (Conforme classificação da PL nº 316/2009), infere-se que os serviços de transporte para essa cidade é considerado adequado, apesar dos veículos serem suscetíveis a constantes reparos devido a sua idade, acarretando em possíveis custos para manutenção. Na Figura 13A, 13B e 13C, ilustram-se os veículos utilizados na coleta domiciliar na cidade de Timbaúba - PE.

Figura 13 - Transportes utilizados no serviço de coleta de RSU em Timbaúba – PE: (A) Caminhão tipo basculante; (B) Tratores agrícolas com reboque; (C) Caminhão compactador



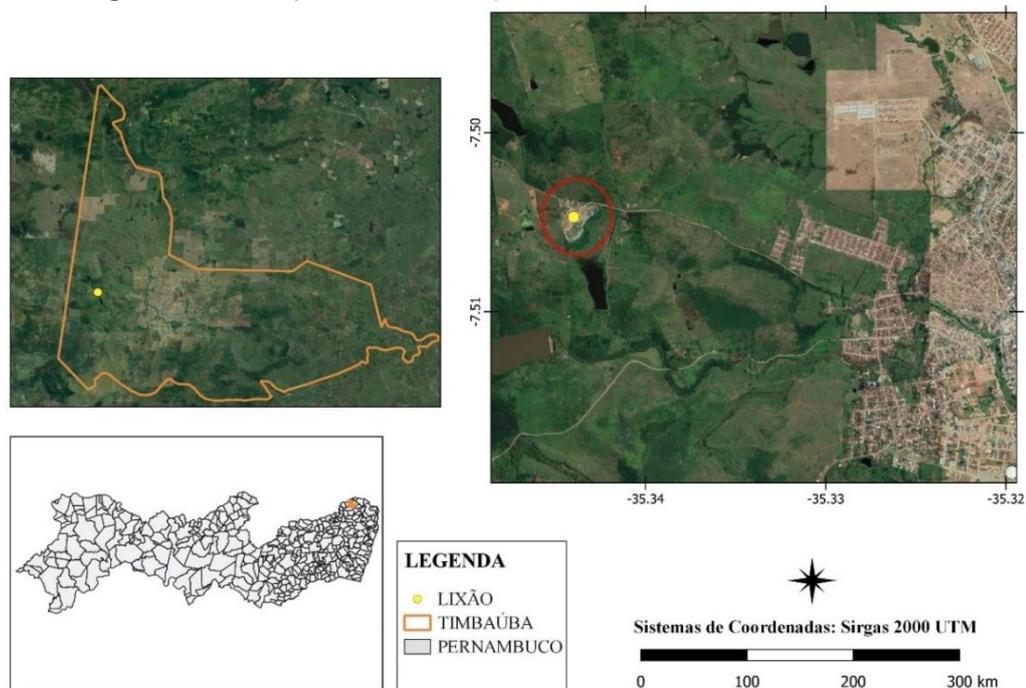
Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Segundo os dados do diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos, os tipos de veículos mais comuns utilizados para a coleta de RSU nos municípios participantes do SNIS, no ano de 2019, corresponderam a: 42,4% caminhões compactadores; 42,3% caminhões do tipo basculante, carroceria ou baú; 11,5% tratores agrícolas com reboque; e 3,8% caminhões do tipo poliguindaste (BRASIL, 2020).

5.1.2 Disposição final dos RSU gerados em Timbaúba - PE

Os RSU gerados na cidade de Timbaúba - PE e distritos tem como destino o lixão, que conforme os dados do SNIS (2020), entrou em operação no ano de 1997. Como pode ser visto na Figura 14, o local em estudo está situado dentro do município, porém fora do perímetro urbano. O acesso ao lixão ocorre por uma via não pavimentada, com cerca de 1,1 km de distância de núcleos habitacionais. O terreno ocupado por esse lixão possui aproximadamente 6 hectares, sendo a prefeitura municipal a proprietária desse local.

Figura 14 - Mapa de localização do lixão de Timbaúba - PE



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

A área do lixão é minimamente cercada e não possui guarita para controle de entrada e saída de veículos e pessoas, não existe placas de sinalização ou até mesmo vigilância noturna ou diurna na unidade. A cidade de Timbaúba - PE não dispõe de estação de transbordo, nem usina de triagem, sendo que os RSU coletados nos serviços de coleta são encaminhados diariamente ao local de disposição final. Na Figura 15, observa-se o depósito dos RSU a céu aberto e diretamente no solo sem camada de proteção, como por exemplo, manta de impermeabilização de PEAD (polietileno de alta densidade).

Figura 15 - Disposição de resíduos sólidos diretamente sobre o solo no lixão de Timbaúba - PE



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

De acordo com Leal (2017), o solo é um dos principais meios afetados com a disposição inadequada de RSU, uma vez que, existem uma grande diversidade de materiais de variadas composições, podendo conter metais pesados, hidrocarbonetos, compostos voláteis dentre outros, que podem causar a contaminação desse recurso natural. À medida que ocorre o processo de decomposição desses resíduos, os subprodutos são liberados no meio ambiente em forma de líquidos (lixiviados) e gases (biogás). No caso do lixiviado, este pode percolar todo o perfil do solo e contaminar o lençol freático, como também escoar e atingir os cursos d'água superficiais existentes nas proximidades do lixão.

Correia (2020) fez uma análise comparativa de duas amostras de solo: uma retirada do lixão desativado da cidade de Delmiro Gouveia - AL e a outra da área entorno a esse local (área controle). Observou que o descarte inadequado de resíduos no lixão provocou mudanças nas propriedades físico-químicas dos solos, resultando na presença de metais pesados, a exemplo de cádmio, em ambas as amostras analisadas, representando um grande risco a saúde humana.

Como forma de minimizar os impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada dos RSU, os responsáveis pelo manejo de resíduos da cidade de Timbaúba - PE realizam o espalhamento dos materiais após descarregamento, e, em seguida, fazem a compactação desses materiais, onde o trator de esteira (Figura 16A) realiza um ciclo de 4 a 5 passadas sobre os resíduos. Posteriormente a compactação, os RSU recebem uma camada de 30 a 40 cm de argila, porém o recobrimento ocorre de forma irregular, uma vez que esse processo acontece com periodicidade quinzenal, conforme dados do SNIS (2022). A Figura 16B ilustra o processo de espalhamento de resíduos no lixão da cidade em estudo.

Figura 16 - Frente de trabalho do lixão de Timbaúba - PE: (A) Compactação dos resíduos utilizando trator tipo esteira; (B) Espalhamento dos resíduos



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Nas visitas realizadas na área de disposição final de resíduos da cidade de Timbaúba - PE, observou-se há presença de animais, como cachorros, gaivotas, urubus, equinos e porcos. Além disso, notou-se a existência de insetos na área em estudo, especialmente moscas. Nas Figuras 17A, 17B e 17C, pode-se notar a presença de urubus e gaivotas, porcos, cachorros e equinos. Esses animais são atraídos, principalmente, devido à presença de restos de alimentos. Conforme Costa *et al.* (2016), a disposição de RSU a céu aberto favorece a proliferação de micro e

macro vetores, que podem ser via de acesso para organismos patogênicos, ocasionando problemas de saúde aos catadores que trabalham no local e aos moradores circunvizinhos.

Figura 17 - Condições da área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE; (A) Presença de urubus e gaivotas; (B) Presença de porcos; (c) Presença de cachorros e equinos



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Resultados semelhantes aos obtidos na presente pesquisa, também foram relatados por Ferreira (2017), em que observou a presença de diversos animais, como cachorros, gatos, urubus e moscas no lixão do município de Ipaumirim - CE. Esses animais podem ser transmissores de doenças e apresentam outros riscos para os catadores, trabalhadores ou população em geral. Outro problema associado à presença de animais nessas áreas, diz respeito aos riscos de acidentes, uma vez que, parte dos lixões localizam-se próximos a rodovias. Ferreira (2017) destaca que ocorreram vários acidentes próximo ao lixão de Ipaumirim - CE, devido à presença desses animais na rodovia, incluindo vítimas fatais.

As visitas *in loco* na área de disposição de RSU da cidade de Timbaúba - PE, permitiram notar a presença de vários catadores no local (Figuras 18A). Segundo a SSU (2022), existem atualmente 34 catadores de materiais recicláveis trabalhando diretamente no lixão. A cidade não possui coleta seletiva, porém existem diversos catadores que fazem a segregação dos RSU em recicláveis e rejeitos, sendo que todo

material reciclado é vendido à atravessadores. A Figura 18B ilustra os sacos utilizados no processo de segregação pelos catadores de materiais recicláveis.

Figura 18 - Condições da área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE; (A) Presença de catadores; (B) Sacos utilizados na segregação de materiais recicláveis.



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Conforme os dados do SNIS (2020), a cidade de Timbaúba - PE não possui catadores organizados em cooperativas ou associação, e os catadores que trabalham no lixão não possuem convênio com a prefeitura municipal, recebendo como benefícios, apenas cestas básicas, equipamentos de proteção individual (EPIs) e prioridade em programas do governo federal. Além disso, existem catadores informais espalhados pela cidade que, de forma autônoma, fazem o processo de triagem na busca de encontrar materiais valoráveis, antes do serviço de coleta domiciliar recolher os resíduos e encaminhá-los à disposição final.

Souza *et al.* (2021) realizaram um estudo de caso com os catadores do lixão no município de Codó - MA, e verificaram que as suas condições de trabalho são precárias, uma vez que, ficam expostos em média 8 horas ininterruptas, convivendo diariamente com o odor fétido dos gases advindos dos resíduos em decomposição e com a presença de animais (moscas, baratas, ratos e urubus), que são grandes proliferadores de doenças. Além do mais, estão propensos a acidentes de trabalho, devido à presença de materiais perfuro cortantes nos RSU, pois a maioria trabalhava sem EPIs.

Dados do SNIS (2020) apontam que não há ocorrência de queimas de RSU no lixão da cidade de Timbaúba - PE, porém como pode ser visto na Figura 19A e 19B, observa-se a presença de fumaça na área. De acordo com a SSU (2022), no período

de realização desse estudo (dezembro de 2021 a março de 2022), essa fumaça teria sido consequência de um incêndio, provavelmente, provocado por parte dos catadores, que utilizam o fogo para extração de metal ou cobre de algum material ou para afugentar animais peçonhentos.

Figura 19 – Presença de incêndios na área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Araújo (2020) analisou incêndios no lixão do município de Patos - PB, e demonstrou que essa atividade acarretou uma série de impactos negativos ao meio ambiente, assim como na saúde da população, principalmente, aquela que se localiza próxima ao lixão. O autor do estudo realizou aplicação de questionário à população, constatando que 45% das pessoas afirmaram ter tido problemas de saúde devido à fumaça dos incêndios no lixão, sendo os principais sintomas: tosse, falta de ar, irritação nos olhos e na garganta.

5.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS (IQR)

A estruturação do método IQR, para este estudo, foi subdividido em três macro conjuntos, sendo eles: infraestrutura implantada (Quadros 4 a 6), condições operacionais (Quadro 7) características do local (Quadro 8).

5.2.1 Infraestrutura implantada

No primeiro macro conjunto, infraestrutura implantada do local de disposição final dos RSU, foram analisados 22 parâmetros que caracterizaram os aspectos

estruturais do lixão de Timbaúba - PE. Nessa etapa foram analisados 5 itens: estrutura de apoio (Quadro 4), frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior (Quadro 5) e estrutura de proteção ambiental (Quadro 6).

Quadro 4 - Notas atribuídas a estrutura de apoio da área de disposição final dos resíduos de Timbaúba - PE

ITEM	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS	
ESTRUTURA DE APOIO	1. Portaria, balança e vigilância	Sim / Suficiente	2	0	
		Não /Insuficiente	0		
	2. Isolamento físico	Sim / Suficiente	2	0	
		Não /Insuficiente	0		
	3. Isolamento visual	Sim / Suficiente	2	0	
		Não /Insuficiente	0		
	4. Acesso à frente de descargas	Adequado	3	0	
		Inadequado	0		
	Total			-	0

Fonte: CESTESB (2021)

A estrutura de apoio do local de disposição final dos RSU de Timbaúba - PE, não possui portaria, balança e vigilância. Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997), o isolamento físico tem como função principal impedir o acesso de pessoas e animais na área em operação. Com base nas visitas *in loco*, notou-se que esse parâmetro é ineficaz, tendo em vista que a cerca de arame farpado existente na área estudada não abrange todo seu perímetro. Além disso, observou-se também a falta de isolamento visual, uma vez que não foi encontrada cerca viva arbustiva ou arbórea no entorno da instalação.

Quanto ao acesso à frente descarga, de acordo com Faria (2012), as vias de acesso ao aterro de resíduos devem ser mantidas em condições de tráfego, sob quaisquer condições climáticas. Recomenda-se que essas vias sejam pavimentadas, principalmente, quando o movimento de veículos for intenso.

As vias de acesso para a área de disposição final de RSU de Timbaúba - PE, como pode ser visto no Quadro 4, é inadequada, uma vez que a estrada não é pavimentada (Figura 20A), e o solo não é compactado, apresentando várias aberturas (Figura 20B), além de susceptibilidade à intensificação da erosão laminar (Figura 20C), causado pela água de chuva, especialmente devido ao relevo do local. Segundo

Perroni (2021), as condições inadequadas das vias de acesso podem inviabilizar a disposição de resíduos em épocas de chuvas e desgastar os veículos, ocasionando, conseqüentemente, um aumento dos custos para a manutenção.

Figura 20 - Vias de acesso para área do lixão de Timbaúba – PE: (A) Vias de acesso sem pavimentação (B) Presença de aberturas no solo; (C) Presença de erosão laminar



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Quadro 5 - Notas atribuídas a frente de trabalho, taludes e bernas e superfície superior da área de disposição final dos resíduos de Timbaúba - PE

ITEM	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS
FRENTE DE TRABALHO	5. Dimensões da frente de trabalho	Adequado	5	0
		Inadequado	0	
	6. Compactação dos resíduos	Adequado	5	5
		Inadequado	0	
	7. Recobrimento dos resíduos	Adequado	5	0
		Inadequado	0	
TALUDES E BERMAS	8. Dimensões e inclinações	Adequado	4	0
		Inadequado	0	
	9. Cobertura de terra	Adequado	4	0
		Inadequado	0	

Continua

ITEM	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	Conclusão
				PONTOS
TALUDES E BERMAS	10. Proteção vegetal	Adequado	3	0
		Inadequado	0	
	11. Afloramento de lixiviado	Não / Raros	4	4
		Sim / Numerosos	0	
SUPERFÍCIE SUPERIOR	12. Nivelamento da superfície	Adequado	5	0
		Inadequado	0	
	13. Homogeneidade da cobertura	Sim	5	0
		Não	0	
Total			-	9

Fonte: CESTESB (2021)

Para Bueno *et al.* (2018), a frente de trabalho refere-se a um local com dimensões favoráveis, onde é possível os veículos descarregarem o material e transitarem de forma segura. É importante que esse local seja o menor possível, a fim de evitar a exposição ainda maior dos resíduos e a proliferação de vetores. Visivelmente, conforme ilustrado nas Figuras 21A e 21B, as frentes de trabalho da disposição final de resíduos de Timbaúba - PE possibilitam que os caminhões descarregam os RSU e transitem livremente, ao mesmo tempo em que ocorre o processo de espalhamento e compactação desses resíduos.

Figura 21 - Frente de trabalho em relação a dimensão da área utilizada



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Com relação aos subitens compactação do solo e recobrimento dos resíduos, conforme discutidos na subseção 5.1.2, o primeiro ocorre de forma adequada, uma vez que, utiliza-se um trator de esteira diariamente, como forma de diminuir o volume dos resíduos. A frequência que o trator passa sobre o material disposto, ocorre em ciclos de 4 a 5 vezes consecutivamente. Já com relação ao recobrimento dos RSU, notou-se que não está sendo executado de forma eficiente, uma vez que a periodicidade desse processo acontece quinzenalmente. Segundo Lima *et al.* (2017) a cobertura dos resíduos por material inerte deve ser feita diariamente, no final de cada jornada de trabalho.

Por meio das visitas realizadas ao local de disposição final dos RSU, quanto aos subitens relacionados à proteção ambiental e cobertura terra, verificou-se que ambos encontravam-se em desconformidade, conforme o Quadro 5. Já com relação ao afloramento de lixiviado, não foi evidenciado nenhum ponto na supracitada área.

Quadro 6 - Notas atribuídas a estrutura de proteção ambiental da área de disposição final dos resíduos de Timbaúba - PE

ITEM	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	14. Impermeabilização do solo	Sim/Adequada (N. preencher o item 15)	10	0
		Não/ Inadequada (Preencher o item 15)	0	
	15. Prof. lençol freático (p) × permeabilidade do solo (k)	$p > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$	4	0
		$1 \leq p \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$	2	
		Condição inadequada	0	
	16. Drenagem de lixiviado	Sim/ Suficiente	4	0
		Não/ Insuficiente	0	
	17. Tratamento de lixiviado	Sim/ Suficiente	4	0
		Não/ Insuficiente	0	
	18. Drenagem provisória de águas pluviais	Suficiente/ Desnecessário	3	0
		Não/ Insuficiente	0	
	19. Drenagem definitiva de águas pluviais	Suficiente/ Desnecessário	4	0
		Não/ Insuficiente	0	
	20. Drenagem de gases	Suficiente/ Desnecessário	4	0
Não/ Insuficiente		0		

Continua

ITEM	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	Conclusão
				PONTOS
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	21. Monitoramento de águas subterrâneas	Adequado	4	0
		Inadequado /Insuficiente	1	
		Inexistente	0	
	22. Monitoramento geotécnico	Adequado	4	0
		Inadequado /Insuficiente	1	
		Inexistente	0	
Total			-	0

Fonte: CESTESB (2021)

Sobre a estrutura de proteção ambiental, no Quadro 6, observa-se que todos os parâmetros desse item encontram-se em inconformidade, uma vez que o local estudado trata-se de uma área irregular de disposição final de resíduos sólidos. Assim, essa área não dispõe de dispositivos de drenagem ou tratamento de lixiviado, drenagem de gases, drenagem provisória e definitivas de águas pluviais, como também não há monitoramento de águas subterrâneas e superficiais, nem tão pouco, monitoramento geotécnico, tendo em vista que não existe nenhum tipo de licença ambiental emitida pelo órgão de controle ambiental para a utilização desse local como disposição final. Terceiro *et al.* (2016) avaliaram a disposição final de um aterro de resíduos do município de Caraúbas - RN, e observaram as mesmas deficiências em relação ao item em estudo.

Para realização do subtotal 1 referente ao macro conjunto infraestrutura implantada da área de disposição final de resíduos de Timbaúba- PE, foi somado os totais dos itens do quadro 4 a 6. A Tabela 5, mostra o somatório dos valores totais obtidos nos itens estrutura de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas e superfície superior e estrutura de proteção ambiental.

Tabela 5 – Notas atribuídas a infraestrutura implantada da área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE

Itens do macro conjunto infraestrutura implantada	Total
Estrutura de apoio	0
Frente de trabalho, taludes e bermas e superfície superior	9
Estrutura de proteção ambiental	0
SUBTOTAL 1	9

Fonte: CESTESB (2021)

5.2.2 Condições operacionais

Com relação ao segundo macro conjunto, foram avaliados 7 parâmetros que caracterizam os aspectos operacionais da área estudada (Quadro 7).

Quadro 7 - Notas atribuídas as condições operacionais da área de disposição final de resíduos de Timbaúba - PE

ITEM	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS
OUTRAS INFORMAÇÕES	23. Presença de catadores	Não	2	0
		Sim	0	
	24. Queima de resíduos	Não	2	0
		Sim	0	
	25. Ocorrência de moscas e odores	Não	2	0
		Sim	0	
	26. Presença de aves e animais	Não	2	0
		Sim	0	
	27. Recebimento de resíduos não autorizados	Não	5	5
		Sim	0	
	28. Recebimento de resíduos industriais	Sim (preencher item 29)	-	Não
		Não (ir para o item 30)	-	
	29. Estruturas e procedimentos	Suficiente / Adequado	10	-
		Insuficiente /Inadequado	0	
SUBTOTAL 2.1			-	5

Fonte: CESTESB (2021)

Conforme discutido na subseção 5.1.2, nas visitas *in loco* a área de disposição final dos RSU gerados em Timbaúba - PE, verificou-se a presença de catadores na área, ocorrência de moscas, aves e animais. Além disso, foi evidenciado queima de resíduos.

Com relação ao subitem 27, a área estudada recebe apenas resíduos do município de Timbaúba - PE, somente os veículos do serviço de limpeza urbana da cidade podem descarregar os materiais coletados no local. Com relação ao parâmetro 29, o local analisado não recebe resíduos de origem industrial.

5.2.3 Características do local

O local de disposição dos RSU de Timbaúba - PE foi avaliado por meio dos parâmetros proximidade de núcleos habitacionais, proximidade de corpos de água, vida útil da área e restrições legais ao uso do solo (Quadro 8).

Conforme recomendo pela NBR 13.896 (ABNT, 1997), a localização do aterro de resíduos deve respeitar uma distância mínima superior a 500 m de núcleos populacionais, a partir do limite da área útil do aterro em relação ao núcleo populacional mais próximo. Com relação aos recursos hídricos, a supracitada norma recomenda uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.

Quadro 8 - Notas atribuídas as características do local da área de disposição de resíduos de Timbaúba - PE

ITEM	SUBITEM	AValiação	PESO	PONTOS
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	30. Proximidade de núcleos habitacionais	≥ 500 m	2	2
		≤ 500 m	0	
	31. Proximidade de corpos de água	≥ 200 m	2	0
		≤ 200 m	0	
	32. Vida útil da área	≤ 2 anos	-	> 5 anos
		2 < x ≤ 5 anos	-	
		> 5 anos	-	
	33. Restrições legais ao uso do solo	Sim	-	Não
		Não	-	
	SUBTOTAL 3			-

Fonte: CETESB (2021)

Sendo assim, como observado no Quadro 8, o parâmetro 30 encontra-se em conformidade com a NBR 13.896 (ABNT, 1997), uma vez que o local avaliado se localiza a 1.100 m de distância de núcleos populacionais, conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22 - Mapa de distanciamento da área do lixão de Timbaúba - PE a núcleos habitacionais



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Com relação à proximidade de corpos hídricos, a área em estudo localiza-se próximo a vários corpos de água, a maioria deles encontram-se a uma distância maior do que 200 m, no entanto, como pode ser visto na Figura 23, verifica-se a presença de um curso d'água a 180 m do lixão de Timbaúba - PE.

Figura 23 - Mapa de distanciamento da área do lixão a corpos de águas



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Para Azevedo (2014), a contaminação dos corpos de hídricos perto de áreas de lixão, se dá principalmente, devido ao escoamento superficial, que carrega o lixiviado formado pela decomposição da matéria orgânica presente nesses ambientes, especialmente em épocas de chuvas.

No que se refere a vida útil da área, de acordo com os dados do SNIS (2022), a área do lixão avaliado está em operação desde 1997, ou seja, são 25 anos recebendo diariamente aproximadamente 51 toneladas de RSU. Essa estimativa foi baseada na geração *per capita* da região Nordeste do Brasil no ano de 2020, que foi de $0,97 \text{ kg.dia}^{-1}$, conforme dados disponibilizados pela ABRELPE (2021), multiplicado pela população estimada de Timbaúba no ano de 2021, de acordo com o IBGE.

5.2.3 Cálculo do IQR

Levando em consideração os valores totais obtidos em cada macro conjunto infraestrutura implantada (Tabela 5), condições operacionais (Quadro 7) e características do local (Quadro 8), o cálculo do IQR (Equação 3) para a área de disposição de RSU da cidade de Timbaúba - PE foi igual a 1,6.

$$IQR = \frac{9 + 5 + 2}{10} = 1,6 \quad (3)$$

A área de disposição final de RSU da cidade de Timbaúba - PE, por ter pontuação do IQR equivalente a 1,6, encontra-se em condições inadequadas de funcionamento, em razão desse valor ter sido menor que 7,1. Esse resultado indica sobretudo, a deficiência existente no processo de gerenciamento de RSU no município, principalmente, quanto à disposição final (OLIVEIRA, 2016). De certo modo, o valor de IQR obtido era esperado, uma vez que a área e disposição final se trata de um lixão e o índice avalia parâmetros típicos de aterros sanitários.

Estudo semelhante foi realizado no município de Cuiabá - MT, por Ribeiro e Cantóia (2020), em que analisaram a área de disposição final de RSU a partir do cálculo do IQR, obtendo uma pontuação igual a 1,4. Os resultados dessa pesquisa constataram que a disposição final estava operando de forma totalmente irregular e sem infraestrutura, e que a falta de adequação desse local causou a contaminação do solo e da água, além de impactos socioambientais referentes à presença irregular dos catadores de materiais recicláveis.

Gomes *et al.* (2020) também avaliariam o lixão do município de Corrente - PI, utilizando a metodologia adotada pela CETESB (2007), e obtiveram um valor de IQR de 1,27. Os referidos autores verificaram-se que dos 33 parâmetros analisados, apenas 4 estavam em conformidade com NBR 13.896 (ABNT, 1997).

5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS

Com base nas visitas realizadas ao lixão da cidade de Timbaúba - PE foram identificados 22 impactos ambientais ocasionados aos meios biótico, abiótico e antrópico em decorrência das atividades de coleta, transporte e, especialmente, disposição final de RSU.

Os impactos ambientais identificados foram de caráter negativo e significativo, e, para isso, foram atribuídos os respectivos pesos e notas. No Quadro 9, apresenta-se a listagem de controle com os impactos identificados, utilizando o método índice de impacto.

Quadro 9 - Aplicação do método índice de impacto no lixão de Timbaúba - PE

Meios	Impactos ambientais significativos	Pesos	Notas	Pesos x Notas
Biótico	1. Alteração da biota do solo	5	- 5	- 25
	2. Alteração das características naturais do solo	5	- 5	- 25
	3. Perda do <i>habitat</i> natural da fauna local	5	- 5	- 25
	4. Proliferação de macro e micro vetores	5	- 5	- 25
	5. Redução da biodiversidade nativa	5	- 5	- 25
	6. Redução ou perda total da flora	5	- 5	- 25
Abiótico	7. Aceleração dos processos erosivos	3	- 4	- 12
	8. Alteração das características do solo	5	- 5	- 25
	9. Alteração da drenagem natural local	5	- 5	- 25
	10. Alteração da estética da área	3	- 3	- 9
	11. Alteração do relevo local	4	- 4	- 16
	12. Alteração do microclima local	4	- 3	- 12
	13. Compactação do solo	5	- 5	- 25
	14. Contaminação dos animais	4	- 4	- 16
	15. Depreciação da qualidade da água subterrânea	5	- 5	- 25
	16. Poluição e/ou contaminação de águas superficiais e subterrâneas	5	-5	- 25
	17. Poluição e/ou contaminação do solo	5	- 5	- 25
	18. Poluição e/ou contaminação de áreas circunvizinha	4	- 4	- 16
Antrópico	19. Desvalorização da área do entorno	3	- 3	- 9
	20. Impacto na saúde pública	5	- 5	- 25
	21. Riscos de contaminação aos catadores	5	- 5	- 25
	22. Riscos de acidentes de trabalho	5	- 5	- 25
Total		100	-	- 465
Índice de Impacto		- 4,65		

Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Com base no Quadro 9, verifica-se que a área em estudo apresentou um índice de impacto de - 4,65, demonstrando a ação negativa que a falta de manejo adequado no local de disposição final de RSU da cidade de Timbaúba - PE acarreta aos meios biótico, abiótico e antrópico. Azevedo (2014) constatou que em áreas de lixões a céu aberto as perturbações causadas nas estruturas, seja de natureza física, química ou

biológica, leva à degradação da sociedade, do solo, dos recursos hídricos, da flora e da fauna.

Leite *et al.* (2019) identificaram doze impactos ambientais referentes ao manejo de resíduos sólidos do município de Salgado de São Félix - PB, sendo a maioria avaliada como de médio a grande impacto negativo. Como forma de avaliar o grau de importância de cada evento impactante, utilizaram-se o método índice de impacto, onde foi obtido um valor de - 4,56. Estudo semelhante também foi realizado por Oliveira (2016), obtendo um índice de impacto de - 4,36. De forma geral, a disposição inadequada de resíduos sólidos causa no meio ambiente local diversos impactos ambientais, destacando-se: assoreamento de corpos hídricos, aumento de micro e macro vetores transmissores de doenças, alteração das características do solo, morte de animais silvestres, riscos de incêndios e contaminação das águas subterrâneas e do solo (OLIVEIRA, 2016).

5.4 MEDIDAS DE CONTROLE AMBIENTAL

As medidas mitigadoras referem-se a um conjunto de ações que tem por objetivo minimizar os impactos negativos de determinada ação ou atividade. Diante disso, no Quadro 10, são apresentadas algumas medidas que podem ser implementadas visando minimizar os impactos significativos diagnosticados na área de estudo. Esses impactos encontram-se enumerados conforme o Quadro 10.

Quadro 10 - Medidas mitigadoras para os impactos ambientais significativos

Medidas mitigadoras	Impactos ambientais significativos
Implantação do PMGIRS e adoção do consórcio intermunicipal para disposição de resíduos em um aterro sanitário.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10, 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22
Construção de áreas verdes ou cinturão verde.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,12, 14, 15, 18 e 19
Construção de usinas de triagem e implantação de coleta seletiva.	14, 15, 16, 17, 18, 20, 21 e 22
Isolamento físico e sistema de segurança e controle da área.	14, 20 e 21
Impermeabilização do solo com manta de PEAD.	1, 2, 7, 8,11, 15,16 e 17
Monitoramento geotécnico da área.	7, 8,11, 13, 15, 16 e 17
Monitoramento de águas subterrâneas e superficiais.	15 e 16
Sistema de drenagem de gases, lixiviado e de águas pluviais (definitivas e provisórias).	1, 2, 4, 8, 9, 12, 14,15, 16, 17, 20, 21 e 22
Recuperação de matas ciliares dos corpos de água presentes no entorno do lixão.	10 e 16
Proibição de catadores na área do lixão e criação de uma associação de catadores.	20, 21 e 22
Criação de áreas de preservação ambiental com o intuito de abrigar a fauna (AZEVEDO, 2015).	3, 5, 6, 10 e 19
Manutenção e regulação dos caminhões e maquinários.	14, 17 e 22
Utilização obrigatória de EPIs por parte dos agentes de limpeza urbana.	20, 21 e 22
Usar técnicas de descontaminação do solo, como por exemplo, bioremediação microbiana, fitorremediação e <i>landfarming</i> (GOMES, 2015).	1, 2, 8 e 17
Implantação de programa de educação ambiental para o município em estudo.	20, 21 e 22
Evitar deixar o solo exposto por longos períodos e restringir cortes, aterros e compactação do solo.	1, 2, 7, 8, 9,11 e 12

Fonte: Arquivo pessoal (2022)

6 CONCLUSÃO

- O serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos na cidade de Timbaúba - PE apresentou uma ampla cobertura, atingindo nos anos de 2014 a 2017, uma taxa de atendimento populacional 100%.
- A frota de veículos disponibilizada para o serviço de coleta de RSU na cidade de Timbaúba - PE é suficiente para coletar 81,9 toneladas de resíduos gerados por dia.
- A disposição final de RSU na cidade de Timbaúba - PE é considerada irregular do ponto de vista ambiental, econômico e social.
- O lixão de Timbaúba - PE recebe resíduos de origem comercial, domiciliar, público, urbano e de construção civil gerados pela população urbana da cidade, os quais são depositados a céu aberto diretamente no solo sem nenhuma camada de proteção.
- O índice de qualidade de aterros de resíduos obtido para a área de disposição final da cidade de Timbaúba - PE foi igual a 1,6, indicando condições inadequadas de funcionamento.
- Foram identificados 22 impactos ambientais de caráter negativo e significativo decorrentes dos serviços do gerenciamento de RSU estudados, sendo o meio abiótico o mais afetado, com um total de 12 impactos.
- O índice de impacto ambiental obtido foi de - 4,65, mostrando a ação negativa que o gerenciamento inadequado de RSU, especialmente nas etapas de coleta, transporte e disposição final, ocasiona ao meio ambiente e à saúde da pública.
- Ao todo foram propostas 16 medidas de controle ambiental, dentre as quais destaca-se a implementação do PMGIRS na cidade de Timbaúba - PE e Consórcio Público Intermunicipal para disposição dos RSU em aterro sanitários, por minimizar a ação de 22 impactos negativos e significativos.
- O cenário atual dos serviços de coleta, transporte e disposição final dos RSU gerados em Timbaúba - PE evidencia a falta de um adequado gerenciamento integrado desses resíduos na cidade.
- Por fim, este estudo servirá como documento norteador aos órgãos governamentais de Timbaúba - PE para desenvolverem um PMGIRS adequado.

REFERÊNCIAS

ABETRE, Associação Brasileira de Empresas de Tratamento De Resíduos E Afluentes. Atlas Da Destinação Final De Resíduos– Brasil 2020. Disponível em: <https://abetre.org.br/atlas-da-destinacao-final-de-residuos-brasil-2020>.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2021.

ALBERTIN, R. M.; SILVA, J. C.; VIOTTO, H. G. ESTUDO E AVALIAÇÃO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE SARANDI – PR. Geoiingá: **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 97-116, 24 nov. 2020. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/geoinga.v12i2.52492>.

ALBUQUERQUE, N. C.; NASCIMENTO, E. C. H.; ROCHA, E. M. R. Análise qualitativa dos materiais recicláveis no município de João Pessoa: série histórica do snis (2005-2015). In: congresso brasileiro de gestão ambiental e sustentabilidade, 6. 2018, João Pessoa-PB. **Anais...** João Pessoa-PB: Ecogestão Brasil, 2018. p. 179-185.

DONATO, L.; BARBOSA, M.; BARBOSA, E. Reciclagem: o caminho para o desenvolvimento sustentável. *Polêm! ca*, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 023-034, jul. 2015. ISSN 1676-0727. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/17838/13286>. Acesso em: 22 dez. 2021.

ANTENOR, S.; SZIGETHY, L. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. **Centro de pesquisa em ciência, tecnologia e sociedade**. IPEA, 2020.

ANTES, E. S. **Proposta de adequação do acondicionamento e coleta dos resíduos sólidos na área central de Francisco Beltrão – PR**. 2015. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão – Pr, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.980**: Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação – procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR. 8419**: 1992 Versão Corrigida: 1996. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo, 20p.

AZEVEDO, P. B. **Diagnóstico da degradação ambiental na área do lixão de Pombal - PB**. 2014. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de engenharia ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB, 2014.

BAKMAN, T. **A importância da compostagem no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos frente às mudanças climáticas: estudo de caso da cidade do Rio De Janeiro**. 2021. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

BAPTISTA, M.; CARVALHO, R. V.; FAGUNDES, P. H. P. R. M.; NÓBREGA, M. J. R.; análise de tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no brasil. **Revista tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 55-72, jan. 2019.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Interciência, 2012.

BASSI, S. A.; CHRISTENSEN, T. H.; DAMGAARD, A. Environmental performance of household waste management in Europe-An example of 7 countries. **Waste management**, v. 69, p. 545-557, 2017.

BERTICELLI, R.; KORF, E.P. Diretrizes para elaboração de um plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos. **Revista de engenharia civil Imed**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 19-24, 30 jun. 2016. Complexo de Ensino Superior Meridional S.A. <http://dx.doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v3n1p19-24>.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

BRASIL. 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. Brasília, DF, 2022.

BRASIL. Lei n.12305 de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Brasília: DOU, 2010.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 244 p.

Brasil. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 316, de 2009**. Altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, para incluir critérios de classificação do espaço urbano e rural, e dá outras providências. Brasília - DF: Senado Federal, 2009.

BRITO, F. S. L.; PIMENTEL, B. A.; MORAIS, M. S.; ROSÁRIO, K. K. L.; CRUZ, R. H. R. Impactos socioambientais provocados por um vazadouro a céu aberto: uma análise no distrito de Marudá/PA. **Revista ibero americana de ciências ambientais**, v.10, n.5, p.128-139, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0012>.

BUENO, L. O.; LONDON, I. P.; SOUZA, J. C. Índice de qualidade de aterro de resíduos (iqr) como subsídio para avaliação do aterro sanitário no município de Sorriso – MT. In: XIV SIBESA – Simpósio Ítalo-Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 14. 2018, Foz do Iguaçu/Pr. **Anais...** Foz do Iguaçu/PR: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2018. p. 1-8.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologias e gestão**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. P. 751-763.

CANEJO, C. **Gestão integrada de resíduos sólidos: múltiplas perspectivas para um gerenciamento sustentável e circular**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2021. 120 p.

CARIJÓ, R. S. **Análise e proposta de uma gestão integrada de resíduos sólidos: o estudo de caso da comunidade da babilônia**. 2016. 144 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

CASTRO, D.E. Tecnologias de recuperação térmica e energética de resíduos sólidos. CEFET MG. Belo Horizonte, 2015.

CESARO, A.; BELGIORNO, V.; NADDEO, V. A. Comparative technology assessment of the anaerobic digestion of an organic fraction of municipal solid waste. In: Biomass to Biofuels, S. Syngellakis (ed). WIT Press, Southampton. 2015.

COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos–2020. **São Paulo**, 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE –CONAMA. **Resolução nº 01**, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, seção 1, páginas 2548-2549. 1986.

CONCEIÇÃO, R. S. **Uso do método AHP na tomada de decisão para seleção de uma rota tecnológica aplicada ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Caxias do Sul/RS**. 2018. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

CONKE, L. S. Barreiras ao Desenvolvimento da Coleta Seletiva no Brasil. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

COPEL. **Manual para o gerenciamento de resíduos sólidos**. Curitiba - PR. 2015.

CUNHA, B. C.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e perícia ambiental**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 284 p.

DANTAS, J. H. L. **Índice de sustentabilidade para coleta seletiva no município de Aracajú/SE**. 2019. 70 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2019.

FRANÇA, C. R. JR.; ARANTES, D.F.L.; **Roteirização Através do SIG para Coleta de Lixo Doméstico: Um Estudo de Caso da Cidade de Silvânia – GO**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de engenharia de transportes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia, Goiânia-GO, 2019.

GAMA, R.; ROCHA, I. L. Aplicação do índice de qualidade de aterros de resíduos (iqr) em área de disposição de resíduos sólidos urbanos do município de riacho frio – pi. **Cadernos cajuína**, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 36, 23 dez. 2016. Cadernos cajuína. <http://dx.doi.org/10.52641/cadcaj.v1i3.57>.

GOMES, P N.; CARVALHO, C. S.; LOPES, L. S.; PEREIRA, L. C.; SILVA, M. M.; ROCHA, I. L.; BATISTA, A. N. Uma aplicação do índice de qualidade do aterro (IQR) na área de disposição dos resíduos sólidos urbanos do município de Corrente-PI. **Revista gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 445, 20 abr. 2020. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e12020445-459>.

GOMES, P. N.; SILVA, M. M.; PEREIRA, L. C.; LOPES, L. S.; CARVALHO, C. S.; SOUZA, R. O.; MACIEL, E. B. Levantamento dos impactos socioambientais na área do lixão a céu aberto no Município de Corrente, Estado do Piauí, Nordeste do Brasil. **Revista brasileira de gestão ambiental e sustentabilidade**, [S.L.], v. 6, n. 13, p. 469-480, 2019. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. <http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.061315>.

JARA-SAMANIEGO, J.; PÉREZ-MURCIA, M.D.; BUSTAMANTE, M.A.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; PAREDES, C.; LÓPEZ, M.; LÓPEZ-LLUCH, D.B.; GAVILANES-TERÁN, I.; MORAL, R. Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: suitability of the obtained composts for seedling production. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 141, p. 1349-1358, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178>.

JUCÁ, J. F. T. et al. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. **Recife: CCS Gráfica Editora Ltda**, 2014.

KAMINSKI, L. C. **Proposta de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para o município de união da vitória-PR: contribuições para a aplicação da política nacional de resíduos sólidos**. 2013. 224 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente Urbano e Industrial. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LEITE, A. A.; ANDRADE, M. O.; PAULINO, F. O.; CRUZ, D. D. Resíduos Sólidos: diagnóstico do cenário e impactos socioambientais no agreste paraibano. **Revista nordestina de biologia**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 19-43, 21 maio 2019. Portal de Periodicos UFPB. <http://dx.doi.org/10.22478/ufpb.2236-1480.2018v26n1.45967>.

LIMA, P. G.; TAMARINDO, U. G. F.; FORTI, J. C.; BRAGA JUNIOR, S. S. Avaliação de um aterro sanitário por meio do índice de qualidade de resíduos sólidos. **Revista brasileira de engenharia de biosistemas**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 88-106, 27 mar. 2017. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2017v11n1p88-106>.

LOPES, W. S.; LEITE, V. D.; PRASAD, S. Avaliação dos impactos ambientais causados por lixões: um estudo de caso. In: XXVII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2000, Porto Alegre-RS. 2000. 7 p.

LOUREIRO, S. M. **Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa pela implementação de políticas públicas de resíduos sólidos e mudanças climáticas no Brasil e no Estado e na cidade do Rio De Janeiro**. 2019. Tese de Doutorado. Tese de doutorado, 2019. Programa de Planejamento Energético. PPE/COPPE/UFRJ.

LOURENÇO, J. C. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Campina Grande-PB**. 2018. 202 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, 2018.

MARRA, A. B. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil e em Portugal: análise dos planos de resíduos sólidos e da disposição ambientalmente adequada**. 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MARTINS, C. **Entenda as diferenças entre lixão, aterro controlado e aterro sanitário**. 2019. Disponível em: <https://www.trilhoambiental.org/post/entenda-as-diferen%C3%A7as-entre-lix%C3%A3o-aterro-controlado-e-aterro-sanit%C3%A1rio>. Acesso em: 10 jan. 2022.

MELO, F. H. F. A. **Caracterização e estudo do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em um consórcio municipal do Estado de Pernambuco**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

MENDEZ, G. P. **Avaliação da gestão municipal de resíduos sólidos através de indicadores ambientais**. 2017. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MONTEIRO, J. H. P. et. al. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORETTO, S. R. O.; FERNANDES, J. C. Tecnologias para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. **Tecnologias para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos**, p. 1-388-416.

OLIVEIRA, A. L. A. R. **Avaliação do ciclo de vida aplicada na gestão dos resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Distrito Federal**. 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, Df, 2019.

OLIVEIRA, B. O. S. Impactos ambientais decorrentes do lixão da cidade de Humaitá, Amazonas. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 80, 31 dez. 2016. Grupo verde de agroecologia e abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i4.3941>.

OLIVEIRA, E. A. F.; GONÇALVES, J. F.; HOMEM, I. C. A.; JANUÁRIO, T. L. S.; SABIÁ, R. J. Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso no município de Crato (CE). **Nature and conservation**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 31-40, 25 set. 2018. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2318-2881.2018.002.0004>.

PENNA, L. F. R.; FIALHO, K. C. O.; ALMEIDA, J. B.; BARONY, F. J. A. Gerenciamento de resíduos sólidos: estudo de caso no município de Itanhomi-MG. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 8. 2017, Campo Grande/Ms. **Anais...** Campo Grande/MS: Congea, 2017. p. 1-9.

PEREIRA, E. V. **Resíduos sólidos**. São Paulo: Editora Senac, 2019.

PEREIRA, S. S.; CURI, R. C. Aplicação do índice de qualidade de aterros de resíduos sólidos urbanos no Aterro Sanitário de Puxinanã/PB. **Sustentabilidade em debate**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 108-124, 30 abr. 2017. Editora de Livros IABS. <http://dx.doi.org/10.18472/sustdeb.v8n1.2017.21163>.

PINHEIRO, I. S.; FERREIRA, J. A. Economicidade dos Serviços de Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos. **Rio de Janeiro, escola de contas e gestão do TCE-RJ**, 2017.

PRATES, L. F. S.; PIMENTA, C. F.; RIBEIRO, H. F. Alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos. **APPREHENDERE Aprendizagem & Interdisciplinaridade**, V (1), n. 2 (Edição Especial), 2019.

Beltrão, B. A.; Morais, F.; Mascarenhas, J. C; Miranda, J. L. F.; Junior, L. C. S.; Mendes, V. A. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Alagoa Grande**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

RIBEIRO, N. L. D.; CANTÓIA, S. F. O lixão de Cuiabá e a geração de impactos socioambientais. **Geosaberes**, [S.L.], v. 11, p. 100, 11 jan. 2020. Revista geosaberes. <http://dx.doi.org/10.26895/geosaberes.v11i0.778>.

RIBEIRO, R.L. M. **Dimensionamento de um coletor compactador de resíduos sólidos urbanos sobre chassi**. 2017. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SANTAELLA, S. T. et al. Resíduos Sólidos e a atual política ambiental brasileira. Universidade Federal do Ceará. Instituto de Ciências do Mar. Núcleo de Audiovisual e Mídias. 2014. pp. 13-98.

SANTOS, C. L. DOS. **Análise de possíveis locais para instalações de contêineres semienterrados – estudo de caso em áreas carentes do Distrito Federal**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2017.

SANTOS, G. O. Resíduos sólidos e aterros sanitários: em busca de um novo olhar. Recife: Imprima, 1. Ed, 2016. 80 p.

SILVA, A.K.M. **Estudo do comportamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em lisímetros preenchidos com resíduos de diferentes características**. 2013. 203 fls. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2013.

SILVA, G. S. **Análise do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de ilha solteira - SP**. 2021. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - Sp, 2021. Cap. 5.

SILVA, R. P. G.; AMORIM, M. F.; NOBRE, C. A.; COSTA, T. G. A.; ROCHA, I. L. Aplicação do índice de qualidade de aterros de resíduos (iqr) em área de disposição de resíduos sólidos urbanos do município de Riacho Frio – PI. **Cadernos cajuína**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 36-43, 2016.

SILVEIRA, A. L.; BERTÉ, R.; PELANDA, A. M. Gestão de Resíduos Sólidos: Cenários e mudanças de paradigmas. 2018.

SNIS - Série Histórica. Mdr.gov.br. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/municipio/index#>>. Acesso em: 01 Mar.2022.

SOUZA, M. A. P. **Gestão ambiental: importância do geoprocessamento no diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**. 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Ambiental, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2017.

SRISOWMEYA, G.; CHAKRAVARTHY, M.; DEVI, G. N. Critical considerations in two-stage anaerobic digestion of food waste – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.L.], v. 119, p. 109587, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.109587>.

TERCEIRO, S. F.; CHIANCA, C.G. C.; SILVA, C. K.; COSTA, M. N. Avaliação da área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Caraúbas - RN. In: VII congresso brasileiro de gestão ambiental, 7. 2016, Campina Grande – Pb. **Anais...** Campina Grande – PB: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2016. p. 1-7.

TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY (TCEQ). Wastes That May Be Accepted at Municipal Solid Waste Facilities. 2015. Disponível em:

https://www.tceq.texas.gov/permitting/waste_permits/msw_permits/msw_types.html. Acesso em: 22 out. 2021.

TOMMASI, L. R. **Estudo de impacto ambiental**. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. 1994.

VECCHI, T. P. B. **Otimização de rotas dos caminhões de coleta de resíduos sólidos urbanos**. 2016. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

VILHENA, A. (Org.) **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018.