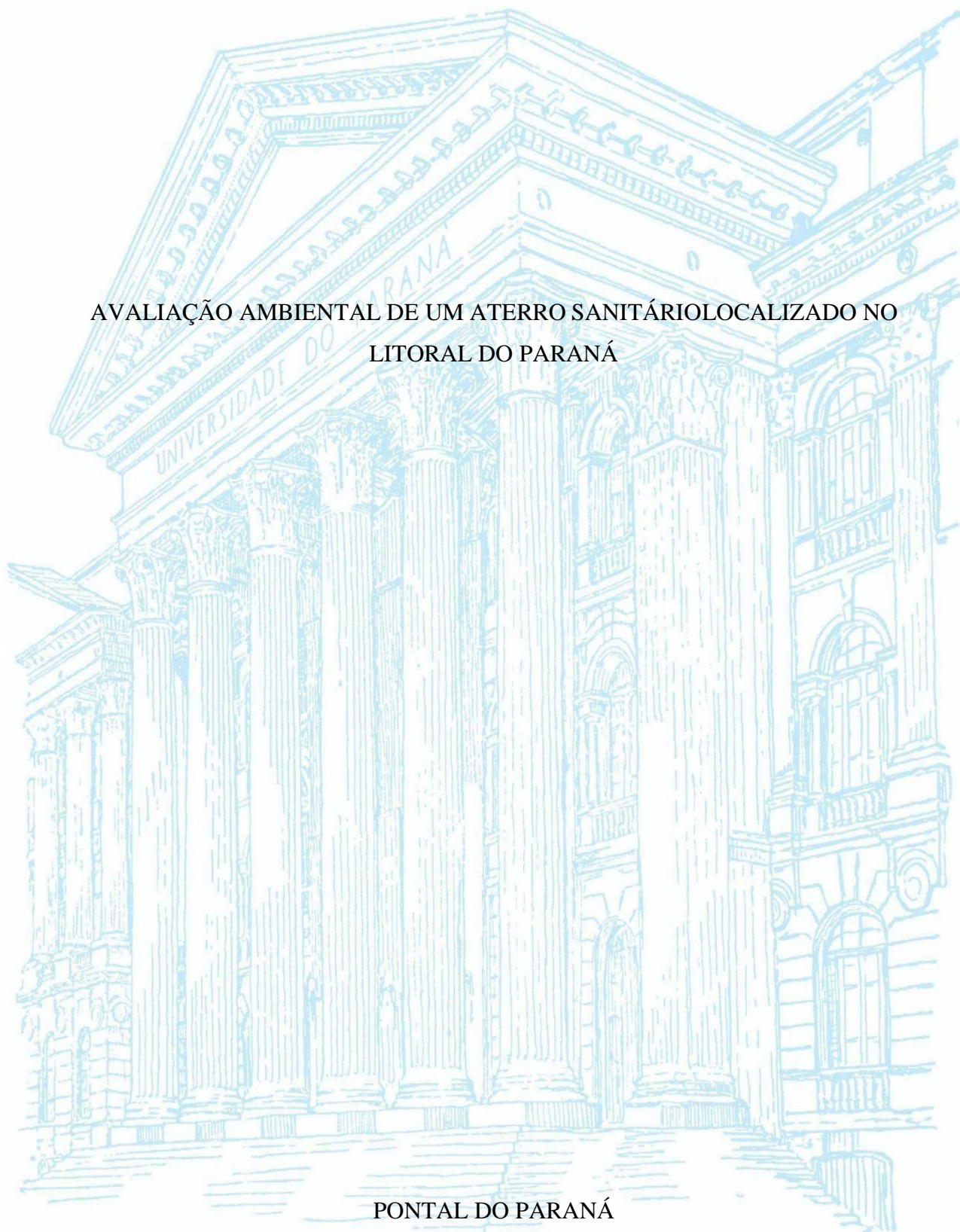


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDA KAROLINA MIRANDA

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UM ATERRO SANITÁRIO LOCALIZADO NO
LITORAL DO PARANÁ**



PONTAL DO PARANÁ

2023

EDUARDA KAROLINA MIRANDA

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UM ATERRO SANITÁRIO LOCALIZADO NO
LITORAL DO PARANÁ

Monografia apresentada como requisito parcial à
obtenção de título de Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária, Centro de Estudos do Mar, Universidade
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Aparecido da Silva

PONTAL DO PARANÁ

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Avenida Deputado Anibal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do
Paraná/PR, CEP 83255-976 Telefone: 4135118600 - <http://www.ufpr.br/>

TERMO


TERMO DE APROVAÇÃO

Eduarda Karolina Miranda

**“AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UM ATERRO SANITÁRIO LOCALIZADO NO
LITORAL DO PARANÁ”**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, da
Universidade Federal do Paraná, pela Banca formada pelos membros:

Mestrando Alan D'Oliveira Correia - UFPR

Documento assinado digitalmente
 **EDERVAL JUNIOR MARQUETTE LUBIANA**
Data: 07/11/2023 13:19:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Engenheiro Ederval Júnior Marquette Lubiana - CIETEC

**Prof. Dr. Cesar Aparecido da Silva -
CPP-CEM/UFPR Presidente**

Pontal do Paraná, 07 de Novembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **ALAN D OLIVEIRA CORREA**,
Usuário Externo, em 07/11/2023, às 12:04, conforme art. 1º, III, "b", da Lei
11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **CESAR APARECIDO DA SILVA**,
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 07/11/2023, às 12:25,
conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código
verificador
6144608 e o código CRC **93229167**.

Rua XV de Novembro, 1299 - Centro - CEP: 80.060-
000 - Curitiba-PRFone (41) 3360-5187 - E-
mail: contratos@ufpr.br

Dedico este trabalho a minha filha, Luiza Miranda Mendes, apesar de ainda ser muito pequena,
é minha fonte de forças e minha maior motivação, tudo é por você.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, e por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para ultrapassar todos os obstáculos.

À minha mãe Daniele dos Santos Miranda Ergang, meu padrasto Jeferson Leandro Jerke Ergang e aos meus avós Vera Lucia dos Santos Miranda e David Miranda Filho, por nunca medirem esforços para me proporcionar uma educação de qualidade, me criar, educar e ensinar tudo o que fosse preciso. Toda trajetória até aqui é visando orgulha-los e honrá-los.

Ao meu esposo Luiz Fernando Mendes dos Santos, que está comigo desde o início da minha trajetória, sempre me deu forças para continuar, e me ajudou na escolha dos meus caminhos durante essa trajetória, assim como nos cuidados com nossa filha enquanto me ausentei dedicada aos estudos.

A minha tia Andréia dos Santos Miranda Ribeiro, que esteve comigo desde sempre, foi uma das minhas maiores inspirações nas minhas escolhas de vida. Assim como meu tio Ademir Junior Ribeiro, por sempre estar ao meu lado me incentivando.

E, ao meu irmão, Lucas Miranda Ergang, e primo David Junior e Anthony Miranda Ribeiro, a quem busco inspirar e servir como bom exemplo.

Ao meu orientador, Cesar Aparecido da Silva, por toda dedicação, ensinamentos e paciência, que me permitiram apresentar um melhor desempenho e me tornar uma profissional mais qualificada. Agradeço também por contribuir no meu processo de formação.

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade ambiental de um aterro sanitário localizado no litoral do Estado do Paraná. Para isso, foram realizadas visitas *in situ* no aterro para avaliar se o ciclo de recebimento, tratamento, despejo final dos resíduos e tratamento de efluentes estão de acordo com as normativas legais vigentes. Além disso, para avaliação da qualidade ambiental foi aplicado o Índice de Qualidade Ambiental de Aterro (IQR), conforme metodologia da CETESB. Observou-se que o aterro atualmente atende quatro municípios do litoral do Paraná: Paranaguá, Pontal do Paraná, Antonina e Morretes, totalizando o atendimento de 213 mil habitantes. Diariamente o aterro recebe em média 350 ton/dia, chegando a 500 ton/dia em alta temporada, considerando o aumento da população flutuante. O aterro conta com 68 funcionários fixos, e uma área total de 500 m², com 14 equipamentos próprios de transporte e compactação de resíduos, e controle de cargas através de QR CODE com atualização em tempo real. Todo chorume drenado, é tratado por osmose reversa e filtros de zeólita, e seu efluente final é despejado no Rio Jacaré. O IQR calculado foi de 8,3 considerando parâmetros de ordem ambiental, operacional e sanitária, e pode ser considerado como desempenho ambiental adequado. Apesar disso, sugere-se estudos do grau de compactação aos resíduos aterrados, recirculação do chorume às células do aterro para diminuir o lançamento no corpo receptor, e programas ambientais para evitar a presença de aves na área do aterro. Observou-se que a aplicação do IQR constituiu de uma importante ferramenta para avaliar o desempenho ambiental do aterro, evidenciando os pontos fortes e fracos, e podendo subsidiar a geração de programas e projetos para a melhoria contínua do processo do tratamento de resíduos.

Palavras-chave: Índice de qualidade de aterro sanitário, desempenho ambiental, tratamento de resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the environmental quality of a landfill located on the coast of the State of Paraná. To this end, on-site visits were carried out at the landfill to assess whether the cycle of receipt, treatment, final disposal of waste and effluent treatment are in accordance with current legal regulations. Furthermore, to assess environmental quality, the Landfill Environmental Quality Index (LEQI) was applied, according to the CETESB methodology. It was observed that the landfill currently serves four municipalities on the coast of Paraná: Paranaguá, Pontal do Paraná, Antonina and Morretes, totaling 213 thousand inhabitants. The landfill receives an average of 350 tons/day daily, reaching 500 tons/day in high season, considering the increase in the floating population. The landfill has 68 permanent employees, and a total area of 500 m², with 14 waste transport and compaction equipment, and load control through QR CODE with real-time updates. All drained leachate is treated by reverse osmosis and zeolite filters, and its final effluent is dumped into the Jacaré River. The calculated LEQI was 8.3 considering environmental, operational and health parameters, and can be considered adequate environmental performance. Despite this, studies on the degree of compaction of landfilled waste, recirculation of leachate to landfill cells to reduce release into the receiving body, and environmental programs to avoid the presence of birds in the landfill area are suggested. It was observed that the application of the LEQI constituted an important tool for evaluating the environmental performance of the landfill, highlighting the strengths and weaknesses, and being able to support the generation of programs and projects for the continuous improvement of the waste treatment process.

Keywords: Landfill quality index, environmental performance, urban solid waste treatment.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DO ATERRO SANITÁRIO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ - PR. - FONTE DE DADOS: IBGE (2022),.....	27
FIGURA 2 - IMAGEM DE SATÉLITE DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ -PR	32
FIGURA 3 - LOGÍSTICA DE FUNCIONAMENTO DA ROTA	33
FIGURA 4 - ESQUEMA DO TRATAMENTO DO CHORUME NO ATERRO EM ESTUDO, INCLUINDO OS TRATAMENTOS PRELIMINAR, PRIMÁRIO POR OSMOSE REVERSA E SECUNDÁRIO POR FILTRO DE ZEÓLITA, E O SEU DESCARTE NO CORPO HÍDRICO RECEPTOR.....	36

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - TIPOS DE RESÍDUOS E SUA FONTE	14
--	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE ACORDO COM O IQR..30	
TABELA 2 - AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO - IQR APLICADO NO ATERRO SANITÁRIO EM ESTUDO	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTO DO PROBLEMA.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 OS RESÍDUOS SÓLIDOS	14
2.2 O SANEAMENTO BÁSICO.....	17
2.3 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E DISPOSIÇÃO FINAL.....	19
2.4 INCINERAÇÃO	19
2.5 COMPOSTAGEM	19
2.6 RECICLAGEM.....	20
2.7 ATERRO SANITÁRIO.....	20
2.8 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO.....	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 ÁREA DE ESTUDO	27
3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS	28
3.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ATERRO SANITÁRIO	28
3.4 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS PARA O ATERRO SANITÁRIO.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5. CONCLUSÃO	42
6. REFERÊNCIAS	433

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO DO PROBLEMA

O crescimento populacional, a urbanização acelerada e padrões de consumo insustentáveis levaram a uma geração crescente de resíduos sólidos em todo o mundo (SILVA et al., 2021).

Entende-se por resíduos tudo aquilo que não possui aproveitamento, advindo das atividades humanas, levando em consideração seu processo ou atividade de origem, assim como as características e os constituintes deste material. Considera-se também todos os rejeitos líquidos que não podem ser despejados em redes públicas de esgoto sem o devido tratamento, tal como lodos provenientes do tratamento de água, e gerados por equipamentos de instalações de controle de poluição (ABNT, 2004).

Mas o termo "resíduo" também pode ser definido como tudo aquilo que sobra de uma atividade, ou seja, aquilo que comumente é chamado de "lixo". No entanto, é importante compreender que, nas atividades humanas, são gerados resíduos e não lixo. Os resíduos possuem valores sociais, econômicos e ambientais que podem ser preservados por meio do descarte e coleta seletivos, visando a reciclagem ou até mesmo a geração de energia (FERNANDES, 2017; SILVA, 2013).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, mais de 2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos são produzidos anualmente (OMS, 2021), e só no Brasil, a geração diária chega a cerca de 240 mil toneladas (ROSA, 2017).

A origem dos resíduos é a mais diversa, e podem-se citar os domiciliares, rurais, industriais, hospitalares, entre outros (ALMEIDA et al., 2013). Conhecer sua origem e classificação, especialmente em relação à sua periculosidade, é de vital relevância para seu correto tratamento e disposição final, pois permite identificar os riscos associados a cada tipo de resíduo e direcionar as medidas de manejo, armazenamento, transporte e descarte de forma a prevenir danos ao meio ambiente e proteger a saúde pública (TABALIPA, 2006). Estudos e pesquisas atuais se aplicam a diversas maneiras de reaproveitamento de resíduos para as mais diversas finalidades.

Existem várias tecnologias capazes de tratar os resíduos sólidos de modo a evitar e/ou mitigar os efeitos negativos aos ecossistemas como a compostagem, incineração, reciclagem etc. (SILVA, 2013). Porém, ainda são poucos os municípios brasileiros que tratam adequadamente seus resíduos (SIQUEIRA, 2017). Dentre as tecnologias de tratamento

destacam-se os aterros sanitários, que são obras de engenharia realizadas com o objetivo de evitar a contaminação ambiental quando os resíduos são descartados no solo.

Entretanto, os aterros sanitários podem causar sérios problemas ambientais tais como a contaminação do solo, da água e do ar, além de colocar em risco a saúde pública pela possibilidade de propagação de vetores tais como roedores, mosquitos e baratas quando projetados ou operados inadequadamente e, por isso, é imprescindível o uso de ferramentas de diagnóstico e monitoramento de sua qualidade ambiental tal como Índice de Qualidade de Aterros Sanitários (IQR).

O Índice de Qualidade de Aterros Sanitários ao utilizar uma metodologia de verificação de atendimentos legais e normas técnicas de projeto, constitui-se em uma importante ferramenta de monitoramento e controle de aterros sanitários, pois auxilia no estabelecimento das medidas corretivas necessárias para melhorar a área e obter uma avaliação satisfatória. Com isso, promove-se uma gestão mais eficiente e sustentável dos resíduos sólidos (GUIMARÃES, 2009).

Neste contexto, esse trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade ambiental de um aterro sanitário localizado no litoral do Estado do Paraná utilizando o IQR, e propor medidas corretivas para possíveis não conformidades encontradas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A geração de resíduos pode causar sérios danos ambientais e para a saúde pública, uma vez que podem se tornar vetores de proliferação de doenças, e seu tratamento é de vital importância para mitigar os riscos associados (SILVA et al., 2021).

Os aterros sanitários são tecnologias muito utilizadas para tratamento de resíduos, mas podem contaminar o meio ambiente se operados inadequadamente, e por isso devem ser constantemente monitorados tendo em vista a proteção e conservação do meio ambiente, além da saúde pública, pois o despejo inadequado de resíduos pode contaminar o solo, o ar e as águas subterrâneas, prejudicando a fauna, a flora e os ecossistemas locais (HISATUGO; MARÇAL JÚNIOR, 2007). Além disso, a presença de aterros mal gerenciados pode ser uma fonte de riscos epidemiológicos, propiciando a proliferação de pragas e doenças.

Assim, a realização de uma avaliação abrangente do aterro sanitário utilizando-se o Índice de Qualidade de Aterro se faz necessária para identificar e mitigar possíveis problemas, uma vez que a análise dos processos de descarte, armazenamento e tratamento dos resíduos permitirá identificar falhas e propor soluções adequadas, visando a minimização dos impactos negativos. Ademais, a investigação da presença de vetores de doenças é fundamental para a

proteção da saúde pública, garantindo a segurança dos moradores e visitantes do litoral do Estado do Paraná, por exemplo, pois a geração de resíduos aumenta consideravelmente no período de veraneio.

Portanto, este trabalho de avaliação do aterro sanitário poderá contribuir para a proteção do meio ambiente, a conservação da biodiversidade, a prevenção de problemas epidemiológicos e a garantia de uma melhor qualidade de vida para a população local. Os resultados obtidos serão fundamentais para embasar a implementação de medidas corretivas e preventivas, visando a gestão sustentável dos resíduos e a preservação do equilíbrio ambiental na região costeira do Paraná.

Com base nessa análise, poderão ser propostas ações e medidas para aprimorar a qualidade do aterro sanitário. Essas melhorias podem incluir a implementação de práticas mais eficientes de gestão de resíduos, o fortalecimento do controle ambiental, a adoção de tecnologias mais avançadas, a promoção da reciclagem e da redução de resíduos, entre outras iniciativas que visem minimizar os impactos ambientais e garantir a sustentabilidade do aterro.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar um diagnóstico das condições ambientais de um aterro sanitário no litoral do Estado do Paraná através da aplicação do índice de qualidade de aterro.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar um diagnóstico das condições ambientais do aterro sanitário, desde o recebimento ao aterramento do resíduo.
- Identificar não conformidades e oportunidades de melhorias na operação do aterro.
- Aplicar o índice de qualidade de aterro visando quantificar seu desempenho ambiental. Identificar não conformidades e oportunidades de melhoria na operação do aterro sanitário.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 OS RESÍDUOS SÓLIDOS

O que exatamente é considerado lixo? O termo "lixo" é utilizado para designar os resíduos resultantes das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. O lixo geralmente apresenta-se em formas sólidas, semissólidas ou semilíquidas (com conteúdo líquido insuficiente para fluir livremente).

É importante reconhecer que o lixo não se limita a itens sem valor, uma vez que contém componentes recicláveis. Valores podem ser resgatados do lixo através de práticas como a redução do desperdício, a separação na fonte e o estímulo à cadeia produtiva da reciclagem (BERTAZI, 2023).

É fundamental considerar que as características do lixo variam ao longo do processo de gerenciamento, desde a sua geração até o destino final, bem como ao longo do tempo (CONSONI et al, 2002). Devido a isso, atualmente, muitos pesquisadores argumentam que o termo "lixo" não é apropriado, pois não leva em conta seu potencial econômico. Na comunidade científica, o termo mais utilizado é "resíduo", que é visto como matéria-prima para a fabricação de outros produtos (SILVA, 2013).

As fontes de resíduos sólidos podem ser categorizadas em várias áreas, sendo as mais comuns as fontes domésticas, comerciais, industriais e hospitalares como demonstrado no QUADRO 1 (JARDIM, 1995; SCHALCH, 2003).

QUADRO 1- TIPOS DE RESÍDUOS E SUA FONTE

Tipo	Origem
Domiciliar/Doméstico	Resíduos sólidos de atividades residenciais.
Comercial	Resíduos sólidos das áreas comerciais.
Público	Resíduos sólidos de produto de limpeza público.
Hospitalar	Resíduos hospitalares, ambulatoriais e farmácias.
Industrial	Resíduos produzidos pela indústria.
Entulho	Resíduos da construção civil.

FONTE: Adaptado de Almeida et al. (2013).

Dentre as diversas técnicas de tratamento e destinação final de resíduos sólidos existentes no Brasil, destacam-se os aterros sanitários, que são obras de engenharia realizadas de modo a prevenir contaminações ambientais quando os resíduos são dispostos no solo, tratando-os e produzindo biogás e chorume (VANELK, 2022). Contudo, ainda são poucos os municípios brasileiros que tratam adequadamente seus resíduos.

No Estado do Paraná, por exemplo, de acordo com o Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos, divulgado em 2019, reporta que o estado dispõe de 185 aterros e 164 aterros controlados. Totalizando uma geração de resíduos sólidos urbanos de aproximadamente 3.160 toneladas (276 kg/habitante). Desse montante, aproximadamente 2.372 toneladas foram destinadas a aterros sanitários e 211 toneladas seguiram para lixões/aterros controlados (SINIR, 2019).

No litoral paranaense a situação de geração de resíduos se agrava ao considerar a flutuação populacional que ocorre no período de veraneio, fazendo sobrecarga do sistema de gestão de resíduos municipal (SILVA et al., 2020). Assim, torna-se imprescindível realizar avaliações periódicas do sistema de coleta e disposição final nos aterros sanitários, a fim de mensurar sua qualidade ambiental.

Além disso, apesar dos aterros sanitários serem uma tecnologia reconhecida para o tratamento de resíduos, eles podem provocar sérios problemas ambientais quando projetados ou inoperados inadequadamente, e por isso devem ser avaliados e monitorados periodicamente. Uma das técnicas utilizadas é o Índice de Qualidade de Aterro (IQA) que faz uma avaliação abrangente do aterro sanitário na tentativa de identificar e mitigar possíveis não conformidades com o intuito de melhorar seu desempenho ambiental (MARINHO et al., 2013).

O Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos desempenha um papel fundamental na prevenção de problemas relacionados à contaminação por resíduos sólidos. Ele é uma ferramenta importante para monitoramento e controle dos aterros sanitários, pois auxilia no estabelecimento de medidas corretivas necessárias para melhorar a área e alcançar uma avaliação satisfatória, o que é fundamental para obter a licença de operação. O uso desses índices também permite monitorar a evolução ao longo do tempo, acompanhando o desempenho do aterro sanitário e avaliando a eficácia das medidas implementadas. Com isso, promove-se uma gestão mais eficiente e sustentável dos resíduos sólidos. (GUIMARÃES, 2009). Outro papel de destaque exercido pelo IQA é para determinação da melhor abordagem de aproveitamento ou destinação do resíduo.

Para melhor aproveitamento dos resíduos gerados, é necessário ter conhecimento de sua origem e classificação (CINQUETTI, 2004). No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece a classificação dos resíduos sólidos com base nos riscos potenciais ao meio ambiente.

Segundo a NBR 10.004 (2004), os resíduos podem ser classificados pelas seguintes classes: Classe I – Perigosos; Classe II - Não perigosos; Classe II A – Não inertes; Classe II B – Inertes, e essa classificação tem importância primordial, pois irá nortear toda a gestão de resíduos na cadeia produtiva (SILVA et al., 2021).

Os resíduos Classe I podem apresentar características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Já os resíduos Classe II A são os que não se encaixam nas especificações dos resíduos Classe I ou Classe II B, pois eles podem possuir características como: solubilidade em água, combustibilidade ou biodegradabilidade, e se enquadram nessa classe, por exemplo, os resíduos domésticos. Quaisquer resíduos que, quando expostos a um contato dinâmico e estático com água destilada em temperatura ambiente, não apresentarem constituintes solubilizados em concentrações com potabilidade superior aos padrões de potabilidade de água, executando aspecto, cor, turbidez, sabor e dureza segundo os padrões para o ensaio de solubilização são considerados Resíduos Classe II B (ABNT, 2004).

A falta de infraestrutura adequada e de práticas de gestão eficientes resulta em descarte inadequado e contaminação ambiental. A poluição dos oceanos por plásticos e a liberação de gases de efeito estufa provenientes da decomposição de resíduos são desafios globais que exigem ações conjuntas para minimizar os impactos (KRAPPENBAUER, 1992).

Uma das principais razões pelas quais a gestão de resíduos sólidos é tão importante é o impacto que esses resíduos têm nos ecossistemas naturais. Quando os resíduos sólidos não são tratados ou descartados corretamente, eles podem contaminar o solo, a água e o ar. Por exemplo, o descarte inadequado de resíduos tóxicos ou perigosos pode levar à contaminação do solo e da água subterrânea, tornando-os inutilizáveis para atividades agrícolas e prejudicando a saúde humana e animal (SANTANA, 2016).

Além disso, os resíduos sólidos mal gerenciados podem poluir os corpos d'água, como rios e oceanos. O descarte incorreto de plásticos, por exemplo, tem sido responsável pela poluição generalizada dos oceanos, ameaçando a vida marinha e causando danos irreparáveis aos ecossistemas costeiros (POMPÊO et al., 2022). A decomposição de resíduos orgânicos também pode liberar gases de efeito estufa, como o metano, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Outro aspecto importante da gestão de resíduos sólidos é a necessidade de conservação de recursos. Muitos dos materiais presentes nos resíduos sólidos, como plásticos,

metais e papel, podem ser reciclados e reutilizados. Ao adotar práticas de reciclagem e recuperação de materiais, é possível reduzir a extração de recursos naturais, minimizando os impactos ambientais associados a essas atividades. A reciclagem contribui para a economia, gerando empregos e estimulando o

desenvolvimento sustentável (IBGE, 2008).

A gestão adequada de resíduos sólidos também desempenha um papel fundamental na prevenção de doenças e na promoção da saúde pública. Resíduos mal gerenciados podem atrair pragas e vetores de doenças como os ratos, moscas e mosquitos, que podem transmitir enfermidades graves para os seres humanos (SCHNEIDER, 2003; MAYORGA, 2009).

Ademais, a exposição a substâncias tóxicas provenientes de resíduos sólidos pode causar problemas de saúde, como doenças respiratórias, câncer e distúrbios endócrinos. Portanto, a gestão adequada dos resíduos sólidos é essencial para proteger o meio ambiente, promover a sustentabilidade, conservar recursos, prevenir doenças e garantir a saúde pública.

Neste contexto, existem diversas legislações que tratam sobre os resíduos sólidos visando a proteção da saúde pública e ambiental. Dentre elas, se destaca a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

A PNRS (Lei Nº 12.305/10), regulamentada pelo Decreto 7.404/10, é considerada um marco histórico no setor, pois atribui responsabilidades aos geradores independentemente da origem tais como os domésticos, hospitalares, industriais, etc. e define os tipos de disposição final (SILVA, 2013). A lei impõe também aos municípios a elaboração de um Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS), no intuito de otimizar a gestão de resíduos nas cidades (NASCIMENTO et al., 2015).

A PNRS também instituiu como ferramenta o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PIGRS), onde é incluída a participação massiva da sociedade na solução do gerenciamento de resíduos para promover uma gestão ambiental com maior inclusão e democracia (GONÇALVES et al., 2021).

2.2 O SANEAMENTO BÁSICO

A conscientização da sociedade sobre a importância do saneamento básico como parte da problemática ambiental foi solidificada na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano em Estocolmo, em 1972 (UNITED NATIONS CONFERENCE ON THE HUMAN ENVIRONMENT, 1973). Entende-se por saneamento básico a relação dos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento dos resíduos sólidos, esgotamento sanitário e

drenagem urbana (SILVA et al., 2023).

Através do saneamento básico as condições de vida possuem troca direta com a saúde da população, e a ausência ou ineficiência da prestação desse serviço à população reflete de maneira direta na proliferação de doenças epidemiológicas relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (SANTOS, et al., 2018).

Na década de 1990, a Agenda 21 adotou uma abordagem integrada para o tratamento de resíduos, buscando soluções além do descarte seguro e promovendo a transformação de padrões de produção e consumo não sustentáveis. Como explícito na Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento, investir no saneamento básico melhora a qualidade de vida da população, protege o meio ambiente urbano e reduz a incidência de doenças transmitidas pela água. Além disso, o saneamento ambiental garante o abastecimento e a qualidade da água, evitando comprometer os recursos hídricos disponíveis (MOREIRA, 2011).

No Brasil, a importância do saneamento básico está expressa nos princípios da Constituição Federal de 1988. A Política Nacional de Saneamento Básico, estabelecida pela Lei nº 11.445/2007 e atualizada pela Lei nº 14.026/2020, busca uma abordagem integrada, alinhada com o desenvolvimento sustentável. A legislação abrange a gestão de resíduos sólidos, o saneamento de esgoto, a gestão de águas pluviais e o abastecimento de água, enfatizando o controle social, a transparência e a participação da sociedade na busca pela sustentabilidade ambiental e bem-estar coletivo (KANASHIRO, 2003).

O saneamento básico desempenha um papel fundamental na gestão adequada dos resíduos sólidos, especialmente na etapa da disposição final. O tratamento e a destinação correta dos resíduos têm impacto direto na saúde pública, no meio ambiente e na qualidade de vida das comunidades. O saneamento básico adequado engloba a coleta, o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos. Isso inclui a implantação de aterros sanitários, onde os resíduos são dispostos em camadas e cobertos com material impermeável, evitando a contaminação do solo e das águas subterrâneas. O saneamento básico contempla também a implementação de sistemas de reciclagem e compostagem, que permitem a reutilização de materiais e a redução da quantidade de resíduos destinados aos aterros (IBAM, 2001; CARMO, 2003).

A correta disposição final dos resíduos sólidos é essencial para evitar a propagação de doenças, a degradação ambiental e a proliferação de vetores de doenças, como mosquitos e roedores. Além do mais, a gestão adequada dos resíduos contribui para a preservação dos recursos naturais, a redução da demanda por matéria-prima virgem e a mitigação dos impactos ambientais causados pela extração e produção de novos materiais (OLIVEIRA; DIETER;

SILVA, 2023).

Portanto, o saneamento básico desempenha um papel crucial na disposição final dos resíduos sólidos, promovendo a saúde pública, a proteção ambiental e a sustentabilidade. É fundamental que os governos e as comunidades invistam em infraestrutura e políticas que garantam a adequada gestão dos resíduos, visando um futuro mais limpo e saudável para todos.

2.3 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E DISPOSIÇÃO FINAL

O tratamento de resíduos sólidos é um conjunto de procedimentos que buscareduzir a quantidade e o potencial poluidor desses resíduos, evitando seu descarte inadequado e transformando-os em materiais inertes ou biologicamente estáveis. Reciclagem, incineração, compostagem e aterro sanitário são algumas das principais formas de tratamento utilizadas.

Conhecer as características dos resíduos é essencial para determinar o tratamento mais adequado, garantindo a eficiência e eficácia do processo, além de contribuir para a redução dos impactos ambientais e promover a sustentabilidade na gestão dos resíduos sólidos (MONTAGNA et al., 2012).

2.4 INCINERAÇÃO

Um incinerador é uma tecnologia utilizada para eliminar resíduos, sejam eles domésticos, industriais ou hospitalares, por meio da aplicação de altas temperaturas. Esse processo é conhecido como queima de resíduos na presença de oxigênio em excesso (SILVA, 2019).

Durante a incineração, os materiais que contêm carbono são decompostos, gerando calor como resultado. Ao final do processo, são obtidas cinzas como resíduo. No entanto, é importante ressaltar que a incineração também pode resultar na emissão de poluentes atmosféricos, incluindo dióxido de carbono, o qual está associado ao efeito estufa (CONSONI et al., 2002).

2.5 COMPOSTAGEM

A compostagem é um conjunto de técnicas aplicadas para controlar a decomposição de materiais orgânicos, visando obter, em menor tempo possível, um material estável, rico em húmus e nutrientes minerais, com propriedades físicas, químicas e biológicas

superiores aos da matéria-prima (PRADO FILHO;SOBREIRA, 2005).

Durante o processo de compostagem, ocorrem três fases distintas: rápida decomposição, síntese de novas substâncias e formação de compostos resistentes, sendo que os resíduos vegetais e animais são decompostos em estágios diferentes (GOMES et al., 2016).

O material resultante, o húmus, possui propriedades diferentes da matéria-prima original. Existem diferentes métodos de compostagem, incluindo leiras revolvidas, leiras estáticas aeradas e sistemas fechados ou reatores biológicos. Além disso, a compostagem pode ser classificada como lenta ou acelerada, dependendo das condições de arejamento e aquecimento. A compostagem acelerada, que envolve a injeção de ar nas pilhas de composto, é um exemplo de processo mais rápido (KIEHL, 1985; SILVA, 2000).

2.6 RECICLAGEM

A reciclagem é um conjunto de técnicas que visa aproveitar os resíduos e reintegrá-los ao ciclo produtivo. Por meio de atividades como desvio, coleta, separação e processamento, materiais que seriam descartados ou estariam no lixo são transformados em matéria-prima para a fabricação de novos produtos, sejam eles idênticos ou diferentes do produto original (MATTEI, 2007). Papel, vidro, metal e plástico são alguns exemplos comuns de materiais que podem ser reciclados.

Além de contribuir para a redução do consumo de recursos naturais, muitas vezes não renováveis, a reciclagem também ajuda a diminuir a quantidade de resíduos que precisam de tratamento final, como o descarte em aterros ou a incineração. No entanto, é importante destacar que a reciclagem não deve ser confundida com reutilização (AZEVEDO, 2006).

Enquanto alguns materiais, como o papel, que têm suas propriedades físicas reduzidas a cada processo de reciclagem, outros, como o alumínio, podem ser reciclados continuamente sem perda de suas propriedades físicas. Assim, a reciclagem desempenha um papel fundamental na busca por uma economia mais sustentável e na redução do impacto ambiental causado pelos resíduos (FERREIRA, 1994; JAMES, 1997).

2.7 ATERRO SANITÁRIO

A utilização de aterros sanitários é uma prática reconhecida internacionalmente para a disposição final de resíduos sólidos, buscando reduzir a poluição do solo, da água e do ar, além de proteger a saúde pública. No Brasil é o método mais utilizado e estima-se haver cerca de

1.700 aterros sanitários em operação (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2023).

Esses aterros são projetados com base em princípios técnicos e normas ambientais, garantindo o confinamento seguro dos resíduos em camadas sobre o solo e a adoção de medidas para prevenir a contaminação. Eles contam com estruturas de contenção, como revestimentos impermeabilizantes e sistemas de drenagem para coleta e tratamento do chorume (NETO; CASTRO, 2005).

A técnica de disposição de resíduos sólidos no solo tem como objetivo evitar danos à saúde pública, assegurar a segurança e minimizar os impactos ambientais, utilizando os princípios da engenharia para confinar os resíduos ao menor volume possível. Após cada etapa de trabalho, ou em intervalos menores, se necessário, os resíduos são cobertos com uma camada de terra (ABNT, 2004; ALMEIDA, 2013). O aterro sanitário é construído com uma base que inclui um sistema de drenagem de líquidos percolados, chamados de chorume, acima de uma camada impermeável de polietileno de alta densidade. Isso evita o vazamento do chorume para o solo e a contaminação dos lençóis freáticos.

O aterro possui ainda um sistema de drenagem de gases para coletar o biogás composto principalmente por metano, dióxido de carbono e água, resultantes da decomposição dos resíduos (SOUZA et al., 2019).

Sendo assim, a execução de projeto e operação de um aterro sanitário segue diversas etapas para garantir um processo eficiente e seguro. Primeiro, ocorre a preparação do local, com a instalação de sistemas de drenagem e impermeabilização para proteger o solo e as águas subterrâneas. Em seguida, os resíduos são compactados para reduzir o volume (ZAGO; BARROS, 2019). Diariamente, após o recebimento dos caminhões coletores de resíduos e sua respectiva pesagem, os resíduos são espalhados no solo, e uma cobertura de material inerte, como terra ou areia, é aplicada sobre os mesmos para evitar odores, vetores de doenças e riscos de incêndio. Durante todo o processo, ocorre o monitoramento ambiental, avaliando a qualidade do ar, das águas subterrâneas, a presença de gases, entre outros parâmetros, a fim de cumprir as normas ambientais (ITO e COLOMBO, 2019).

As principais vantagens do aterro sanitário são o baixo custo na disposição dos resíduos, a utilização do biogás gerado como fonte de energia e a possibilidade de atendimento de vários municípios. Porém, algumas desvantagens são sua vida útil, os impactos ambientais significativos causados como a poluição do ar, solo e da água, e também em casos de operações inadequadas que geram odores e atraem pragas (SILVA; ANDREOLI, 2010).

Ao final da vida útil do aterro, geralmente em cerca de 20 anos de operação, é realizado o encerramento controlado com a cobertura final dos resíduos e medidas de estabilização do

terreno. Além disso, é necessário monitorar o aterro por um período após o encerramento, garantindo a estabilidade e minimizando possíveis impactos futuros (D'ALMEIDA, 2002).

A implantação de uma Usina de Triagem, muitas vezes localizada na mesma área do aterro, apresenta aspectos fundamentais, conforme destacado por Jardim (1995).

Estes incluem o investimento inicial em equipamentos para a constituição da Usina, a necessidade de técnicos capacitados para operá-la (exigindo investimento em treinamento) e a qualidade dos resíduos separados, que podem ser prejudicados pela contaminação de outros componentes dos resíduos. Apesar disso, dentre as opções de tratamento de resíduos sólidos disponíveis, a Usina de Triagem/Compostagem ainda é considerada uma opção ambientalmente aceitável, pois prolonga a vida útil do aterro, uma vez que somente serão dispostos nele os materiais que não são considerados possíveis de aproveitamento na reciclagem e para compostagem (VAN ELK, 2022).

Isso ocorre porque possibilita o retorno dos resíduos recicláveis aos ciclos de produção e consumo. Esses sistemas geram produtos como resíduos recicláveis e composto orgânico, que são encaminhados para usinas de reciclagem e compostagem, respectivamente. Além disso, também produzem líquidos percolados, rejeitos, odores e vetores, os quais devem ser devidamente gerenciados para minimizar impactos negativos ao meio ambiente (GALVÃO JUNIOR, 1994). Apesar das vantagens evidentes dos aterros sanitários, eles também podem contaminar o meio ambiente quando sua operação é inadequada e, por isso, é necessário o uso de ferramentas capazes de averiguar sua qualidade ambiental, tal como o Índice de Qualidade de Aterro.

2.8 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO

O Índice de Qualidade do Aterro é uma ferramenta utilizada para avaliar a qualidade ambiental de um aterro sanitário.

O IQR é uma métrica utilizada para avaliar a eficiência e o desempenho de um aterro sanitário, que é uma instalação projetada para o descarte adequado e seguro de resíduos sólidos. Esse índice é uma medida que leva em consideração vários aspectos relacionados à gestão do aterro, como a conformidade com as regulamentações ambientais, a eficácia dos sistemas de impermeabilização e drenagem, o controle de odores e gases, a eficiência na coleta e tratamento de chorume (líquido resultante da decomposição dos resíduos) e a monitorização do impacto ambiental, entre outros fatores (CUNHA et al., 2020).

O objetivo do IQR é fornecer uma avaliação quantitativa da qualidade e do desempenho do aterro, permitindo que sejam identificadas áreas que precisam de melhorias e implementadas medidas corretivas, caso necessário. É uma ferramenta importante para garantir que o aterro esteja em conformidade com as regulamentações ambientais e que os resíduos sejam gerenciados de forma segura, minimizando os impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública (SILVA, et al., 2012). Dito isto, a partir do IQR, podem ser geradas propostas e/ou melhorias para as não conformidades observadas.

Os índices de qualidade do aterro são avaliados levando-se em consideração vários aspectos relacionados à sua gestão e desempenho. Alguns dos principais critérios e indicadores utilizados nessa avaliação são (LIMA et al., 2022).

1. Conformidade legal: Verifica se o aterro está em conformidade com as regulamentações ambientais e leis aplicáveis.
2. Controle de odores e gases: Avalia a eficácia dos sistemas de controle de odores e a mitigação dos gases gerados pela decomposição dos resíduos, como metano.
3. Controle de chorume: Verifica a eficiência dos sistemas de coleta, tratamento e disposição adequada do chorume, evitando a contaminação do solo e da água subterrânea.
4. Monitoramento ambiental: Realização de monitoramento contínuo para avaliar e controlar os impactos ambientais do aterro, como a qualidade do ar, água e solo ao redor da área.
5. Gerenciamento de resíduos: Avalia a eficiência na segregação, armazenamento e disposição final dos resíduos sólidos, garantindo práticas adequadas de manejo.
6. Sistemas de impermeabilização e drenagem: Verifica a eficácia dos sistemas de impermeabilização da base do aterro e das camadas de drenagem para evitar a contaminação do solo e da água.
7. Controle de vetores e pragas: Avalia as medidas adotadas para prevenir e controlar a presença de vetores, como ratos e insetos, que podem representar riscos à saúde pública.

Além disso, são avaliados vários aspectos técnicos na avaliação do IQR tais como (FARIA, 2002):

- Características do Local - Deve se localizar em uma área conveniente, onde os riscos à saúde e ao meio ambiente sejam as menores possíveis.

- Capacidade de suporte do solo - Conhecimento das características do substrato e a capacidade de carga do solo da fundação, para evitar desabamentos. De tal maneira que os resíduos sejam dispostos com estabilidade.
- Permeabilidade do Solo - Variando conforme o tipo e estado do solo, do grau de saturação, da saturação, da anisotropia e da temperatura.
- Proximidade de núcleos habitacionais - No mínimo 500 m para diminuir o incômodo aos moradores.
- Proximidade de corpos de água - No mínimo 200 m para evitar a contaminação de chorume.
- Proximidade do lençol freático - De acordo com a NBR 13.896 (ABNT, 1997b) tem que apresentar solo homogêneo de 3,0m de espessura entre a base do aterro e o nível do lençol freático mais alto, com coeficiente de permeabilidade de $K = 1,0 \times 10^{-6}$ cm/s.
- Disponibilidade do material para recobrimento - Deve atender em quantidade satisfatória no mínimo, para demanda diária.
- Qualidade do material para recobrimento - Deve apresentar fácil escavabilidade e textura argilo-arenosa de composição variando de 50% a 60% de areia e o restante uma mistura equilibrada entre silte e argila.
- Condições de sistema viário-trânsito-acesso - Deve apresentar acesso livre de trânsito.
- Isolamento visual da vizinhança - Evitar poluição visual e depreciação patrimonial da vizinhança.
- Legalidade de localização - Atender as restrições de âmbito federal, municipal e estadual.
- Infraestrutura implantada - Revisão das obras de engenharia para manejo adequado dos resíduos sólidos.
- Cercamento da área - Deve impedir livre acesso de catadores e animais de grande porte.
- Portaria/guarita - Deve ser o único acesso ao local, para controle de entrada e saída.
- Controle de recebimento de cargas - Verificação e admissão dos resíduos recebidos, recomenda-se pesagens periódicas utilizando balanças adequadas.
- Acesso à frente de trabalho - Evitar proliferação de vetores, e dispersão de material pelo vento.

- Trator de esteira ou compatível - Equipamentos de trabalho com manutenções constantes.
- Outros equipamentos - Auxiliares para escavação, transporte do material.
- Impermeabilização da base do aterro - Proteção e fundação do aterro para evitar contaminação do subsolo e aquíferos adjacentes. Deve apresentar: estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência às intempéries, 150 compatibilidade físico-química-biológica com os resíduos a serem aterrados e seus percolados.
- Drenagem de chorume - No Brasil os mais utilizados são: tubo de coleta e, planos inclinados.
- Drenagem de águas pluviais definitivas - As águas precipitadas provenientes de micro-bacias devem ser coletadas por canaletas escavadas no próprio terreno, e acompanhar as curvas de nível, garantindo a declividade do dreno. A drenagem continuará mesmo após o encerramento do aterro.
- Drenagem de águas pluviais provisórias - Composta por canaletas sem revestimento especial, que acompanham a evolução do terreno.
- Drenagem de gases - Drenos construídos com superposição de tubos perfurados, revestidos de brita nº4 com diâmetro de 1,0m.
- Sistema de tratamento de chorume - Reduzir o principal potencial poluidor de águas subterrâneas.
- Monitorização de águas subterrâneas - Controle de qualidade das mesmas, nos mesmos níveis ou mais próximos possíveis de como se encontravam anteriormente ao aterro.
- Monitorização de águas superficiais, lixiviados e gases - Amostras sistemáticas para avaliação ambiental das alterações.
- Monitoramento da estabilidade dos maciços de solo e de lixo - Devem ser utilizados os métodos de análise adequados ao local do aterro.
- Atendimento a estipulações do projeto - Estar em conformidade com o projeto.

- Condições Operacionais:
 - Presença de elementos dispersos pelo vento;
 - Recobrimento diário do lixo;
 - Compactação do lixo;
 - Presença de urubus-gaiivotas;

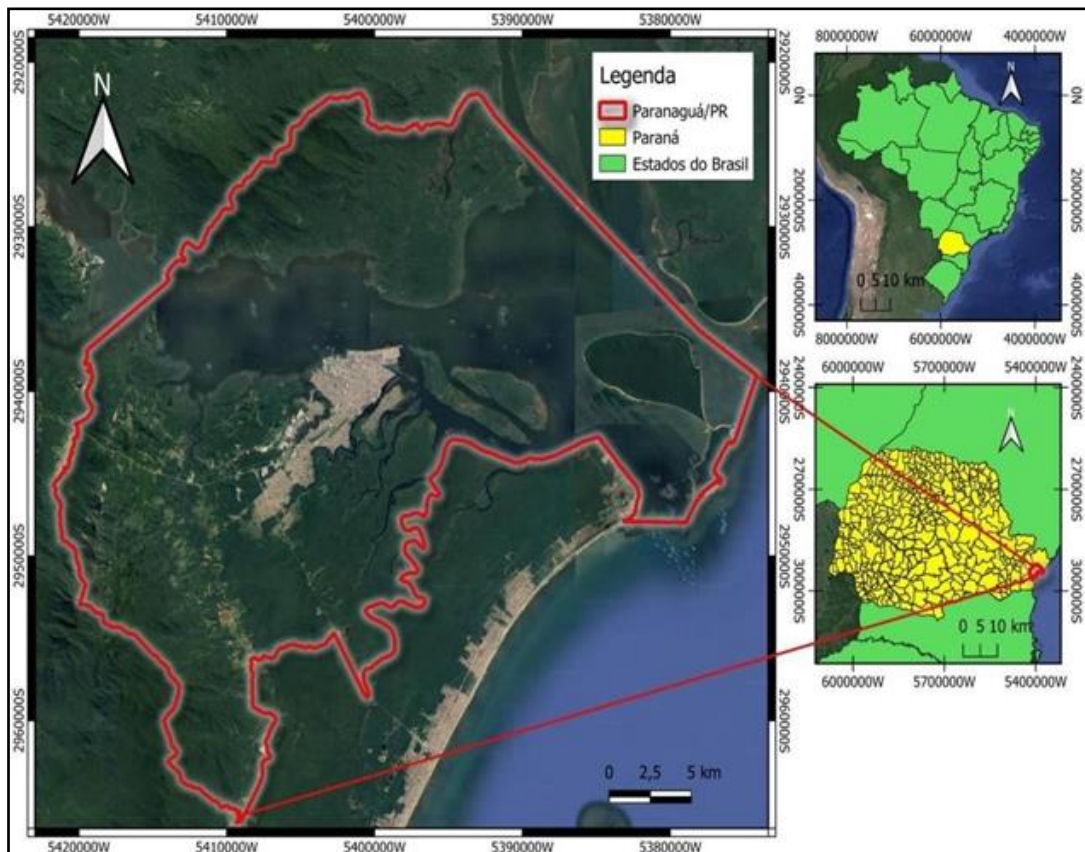
- Presença de moscas em grande quantidade;
- Presença de queimadas;
- Presença de catadores;
- Criação de animais (bois etc);
- Descarga de resíduos de saúde;
- Descarga de resíduos industriais;
- Funcionamento de drenagem de chorume;
- Funcionamento de drenagem pluvial definitiva;
- Funcionamento de drenagem pluvial provisória;
- Funcionamento de drenagem de gases;
- Funcionamento do sistema de tratamento de chorume;
- Funcionamento do sistema de monitoramento das águas subterrâneas;
- Funcionamento do sistema de monitoramento das águas superficiais, lixiviados e gases;
- Frequência de amostragem;
- Funcionamento de monitoramento de estabilidade de maciços de terra e lixo;
- Medidas corretivas;
- Dados gerais sobre o aterro;
- Manutenção dos acessos internos;
- Plano de fechamento do aterro.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O aterro sanitário de estudo está localizado no município de Paranaguá, litoral do Estado do Paraná, na região Sul do Brasil (FIGURA 1), e que apresenta uma população estimada de cerca de 157.378 habitantes (IBGE, 2021). A cidade é uma das mais antigas do país e desempenha um papel importante como centro econômico, especialmente devido ao porto internacional, e turístico da região litorânea paranaense. Paranaguá está localizado a uma altitude de 5 metros em relação ao mar, possuindo as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 25° 31' 14" Sul, Longitude: 48° 30' 34" Oeste. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o município de Paranaguá apresenta a classe Cfa com característica de verão quente, com grande teor de umidade e diversas ocorrências de precipitação durante todos os meses do ano (SALESBRAM; ROSEGHINI, 2019).

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DO ATERRO SANITÁRIO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ - PR. - FONTE DE DADOS: IBGE (2022), SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM SIRGAS 2000, ZONA 22



Fonte: A autora (2023).

Além das praias, Paranaguá se destaca por sua importância econômica, especialmente devido ao Porto de Paranaguá. Considerado um dos maiores portos do Brasil e da América Latina, o Porto de Paranaguá é responsável pelo escoamento de mercadorias como grãos, fertilizantes, contêineres e veículos, desempenhando um papel estratégico na economia do estado do Paraná e do país (ALMEIDA, 2013).

O litoral paranaense possui uma extensão de aproximadamente 826,7 km², com praias de areias claras e águas geralmente frias devido à influência da corrente marítima da Antártida. No verão, são muito procuradas por turistas e moradores locais proporcionando um ambiente propício para o lazer e atividades náuticas, o que atrai centenas de milhares de turistas em época de veraneio, resultando no aumento expressivo da geração de resíduos (SILVA et al., 2021).

3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

A obtenção dos dados para este trabalho foi realizada através de uma abordagem metodológica que envolveu a pesquisa direta e visitas *in situ* na empresa que administra o aterro sanitário avaliado. Foram feitos agendamentos prévios com a empresa, permitindo a observação das instalações, processos e produtos em seu local físico. Durante as visitas, foram realizadas entrevistas com os responsáveis pela empresa, com o intuito de coletar informações relevantes sobre a gestão do aterro e sua operação.

Além das visitas *in situ*, foi conduzida uma pesquisa documental onde foram consultados registros públicos, e analisados os dados cadastrais, bem como informações obtidas em órgãos reguladores pertinentes ao setor, também foram analisados relatórios de sustentabilidade e outros documentos disponibilizados pela empresa.

3.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ATERRO SANITÁRIO

Com o intuito de avaliar o desempenho ambiental do aterro sanitário em estudo, foi realizado um diagnóstico da gestão operacional através de visitas *in situ* e análises de documentos, visando verificar se o mesmo está em conformidade com as regulamentações e dispositivos legais referentes ao manejo adequado dos resíduos sólidos urbanos, conforme apontado por Tamarindo e Forti (2015), com o intuito de reduzir os riscos de contaminação do solo e do lençol freático.

Além disso, foi descrito o detalhamento das características do aterro sanitário em relação à acomodação dos resíduos recebidos, conforme recomendado por Yin (2001). Para esse fim, os diversos componentes da estrutura do aterro sanitário foram analisados, utilizando-se a metodologia IQR empregada pela CETESB (2015) para a qualificação e fiscalização de aterros sanitários (EQUAÇÃO 1).

$$IQR = Subtotal 1 + Subtotal 2 + Subtotal 3 / 13 \quad (1)$$

Onde:

- $0 < IQR < 6,0$ – Expressa condições inadequadas para o aterro sanitário.
- $6,0 < IQR < 8,0$ – Expressa condições controladas para o aterro sanitário.
- $8,0 < IQR < 10,0$ – Expressa condições adequadas para o aterro sanitário.

Onde:

- Subtotal 1: Parâmetros de Ordem Sanitária, Subtotal
- 2: Parâmetros de Ordem Sanitária e Subtotal
- 3: Parâmetros de Ordem operacional.

Os parâmetros utilizados para o cálculo do IQR - Condições Operacionais: Ordem Sanitária (Subtotal 1) foram: capacidade de suporte do solo, proximidades de núcleos habitacionais, proximidades de corpos d'água, profundidade do lençol freático, permeabilidade do solo, disponibilidade de material para recobrimento, qualidade do material para recobrimento, condições do sistema viário, trânsito e acessos, isolamento visual da vizinhança e legislação da localização.

Para o cálculo do IQR - Condições Operacionais: Ordem Ambiental (Subtotal 2) foram utilizados os seguintes parâmetros: cercamento da área, portaria/guarita, drenagem do chorume, drenagem de águas pluviais (definitiva), drenagem de águas pluviais (provisória), trator de esteiras ou compatível, outros equipamentos, trânsito e acesso, sistema de tratamento do chorume, acesso a frente de trabalho, vigilantes, sistema de drenagem de gases, controle de recebimento de cargas, monitoramento de águas subterrâneas e atendimento às especificações do projeto.

Já para o cálculo do IQR - Condições Operacionais: Ordem Operacional (Subtotal 3) os seguintes parâmetros foram mensurados: aspecto geral, ocorrência de lixo a descoberto, recobrimento do lixo, presença de urubus ou gaiivotas, presença de moscas em grandes quantidades, presença de catadores, criação de animais (bois, porcos, etc.), descarga de

resíduos de serviços de saúde, funcionamento de drenagem pluvial (definitiva), funcionamento de drenagem pluvial (provisória), funcionamento de drenagem do chorume, funcionamento do sistema de drenagem do chorume, funcionamento do sistema de monitoramento de águas subterrâneas, eficiência da equipe de vigilantes e manutenção dos acessos internos.

Uma vez obtidos os dados do IQR, foi avaliado o desempenho do aterro sanitário em relação aos critérios estabelecidos pelo índice, conforme CETESB (2015), seguindo a seguinte classificação (TABELA 1):

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE ACORDO COM O IQR

IQR	AVALIAÇÃO
0 a 7	Condições Inadequadas (I)
7,1 a 10	Condições Adequadas (A)

FONTE: Adaptado da CETESB (2015).

3.4 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS PARA O ATERRO SANITÁRIO

Com base no diagnóstico realizado in situ e levando em consideração o Índice de Qualidade de Aterro, foram propostas algumas melhorias para o aterro sanitário, quando pertinentes, visando aprimorar sua eficiência e reduzir os impactos ambientais tais como ações relacionadas ao controle de gases, controle de líquidos percolados, monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas.

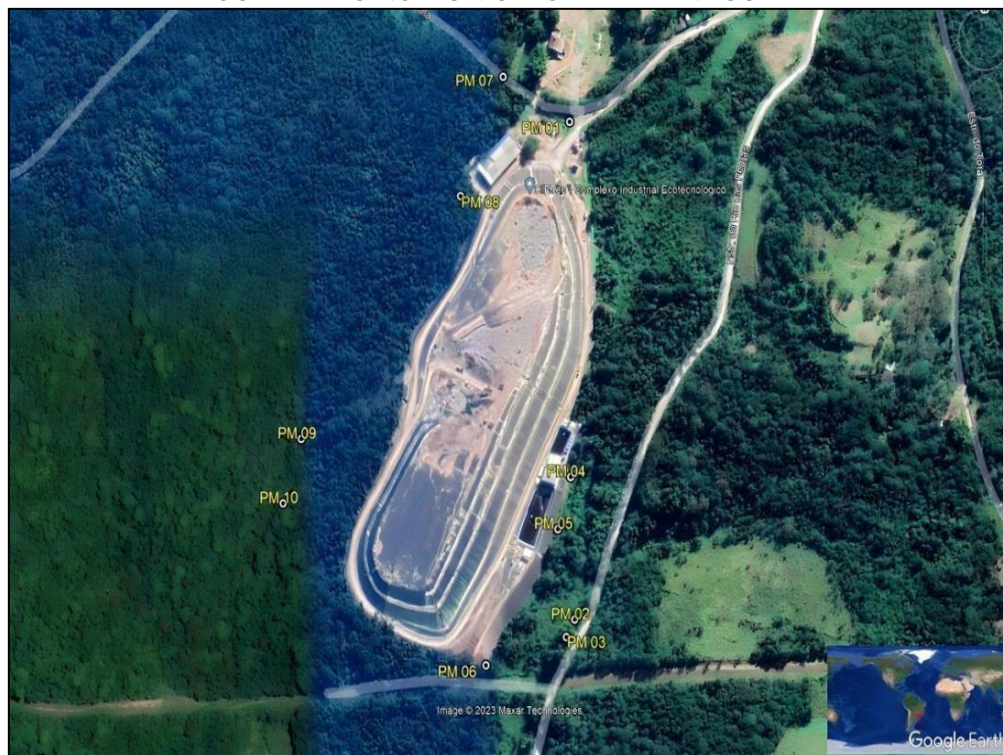
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que o aterro sanitário em estudo, iniciou suas atividades na região em 2007, porém, com outra gestora, atende 4 municípios localizados no Litoral do Paraná: Paranaguá, Pontal do Paraná, Antonina e Morretes atendendo, conforme o último censo, um total de 213 mil habitantes (IBGE, 2022). Ressalta-se, entretanto, que em épocas de alta temporada na região litorânea a população flutuante tende a aumentar consideravelmente. No período de baixa temporada o aterro recebe diariamente 350 ton de resíduos, mas em alta temporada esse valor chega a 500 ton/dia, tendo picos de recebimento geralmente no dia 02 de janeiro onde atinge aproximadamente 700 ton.

O aterro conta com 4 células já aterradas e 1 célula a ser completada, totalizando 5 células durante seu tempo de vida útil. A célula atual possui estimativa de preenchimento até abril de 2024.

O aterro conta com 68 funcionários fixos, e a maior parte possui residência nas imediações. A área total do aterro é de 500.000 m², sendo ocupados atualmente 90.000 m² destinados especificamente ao aterro, e conta com uma cortina vegetal em todo seu perímetro de aproximadamente 20 metros de extensão. Possui 10 poços de captação de monitoramento de águas subterrâneas, cuja as análises físico-químicas são realizadas por uma empresa terceirizada, sendo os poços 3, 6, 7 e 10 localizados a jusante do empreendimento. Os poços 1, 8 e 9 a montante do poço 10. Os poços 1 e 8 a montante do 3. Os poços 4 e 5 a montante do poço 6 (FIGURA 2). Segundo a gestora, as análises de água subterrâneas são realizadas duas vezes ao ano, enquanto as análises de águas superficiais são conduzidas trimestralmente.

FIGURA 2 -- IMAGEM DE SATÉLITE DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ -PR



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Em relação ao contingente de equipamentos, evidenciou-se que o aterro conta com 14 equipamentos próprios para transporte e compactação dos resíduos recebidos, sendo eles: 7 caminhões, 1 carreta, 3 tratores, 2 escavadeiras e 1 retroescavadeira. Diariamente é feita a compactação dos resíduos, com passagem entre sete a oito vezes das retroescavadeiras.

Observou-se neste trabalho a logística de recebimento dos resíduos que, sucintamente, pode ser sumarizado da seguinte forma: na portaria da empresa é feito o controle através das câmeras, onde todo caminhão que chega é pesado, tem sua placa registrada e é feita a identificação do resíduo sólido. Todos os caminhões podem ser localizados em tempo real através de um QR CODE que vem anexado junto a documentação de entrada e saída do caminhão, respectivo a carga transportada. Todas as informações coletadas na portaria são planilhadas e armazenadas para controle. Durante todo o caminho percorrido na empresa, é feito o monitoramento através de câmeras espalhadas por todos os ângulos para segurança (FIGURA 3).

FIGURA 3 - LOGÍSTICA DE FUNCIONAMENTO DA ROTA



Fonte: A autora (2023).

No decorrer do processo de recebimento/transporte dos resíduos, alguns impactos ambientais são produzidos tais como possibilidade de vazamento, de despejamento de resíduos nas vias e exalação de odores, e isso pode ocorrer no trajeto até o aterro, pois as vias de acesso no bairro onde o aterro está localizado são de terra/chão batido, quanto dentro do próprio aterro durante o processo de descarregamento.

Além disso, segundo informações cedidas pela gestora, como o fluxo de caminhões até a empresa é intenso, a população local solicitou na prefeitura que a rota dos caminhões fosse desviada do bairro principal onde o aterro está localizado (Alexandra). Assim, atualmente os caminhões foram desviados para passar por dentro da colônia Toca do Coelho, até chegar ao aterro. A rota alternativa foi destinada pela prefeitura por possuir menos casas no caminho, e ter uma população menor. Como a estrada não possui pavimentação, a empresa ficou responsável por algumas vezes no dia disponibilizar um caminhão pipa para diminuir o pó levantado pelos caminhões na estrada. Ainda em relação aos impactos ambientais, dentro da empresa a produção de chorume e de gases, são os dois principais que demandam maior atenção e tratamento.

A empresa possui a detenção dos direitos minerários de um terreno localizado próximo ao aterro, de onde é retirada a terra para recobrimento. Fator de importante destaque, é que o litoral paranaense possui uma grande vantagem pois sua terra possui permeabilidade muito alta, o que é de grande ajuda pois o solo é parcialmente argiloso com permeabilidade de $10^{-6}\mu$, com uma porção de argila siltosa (NETO et al., 2005).

Nas visitas in situ, observou-se que o aterro possui taludes de 6 m com inclinação de 45° graus (1V:1H), e taludes de contenção de terra com aproximadamente 10 metros de comprimento. O projeto determina a divisão em camadas, com elevação de 6 em 6 m entre resíduo e terra. Para garantir a compactação ideal dos resíduos, o trator passa de 7 a 8 vezes sobre o material.

É feito um recobrimento com terra entre as camadas, e recoberto lateralmente com geomembrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) ou PVC (policloreto de vinila), com objetivo de reduzir o odor exalado pelos resíduos, fazer o isolamento do mesmo e também de prover mais estabilidade.

Durante a biodegradação da matéria orgânica é formado o chorume, sendo que a drenagem superficial nas células do aterro o capta para conduzi-lo ao tratamento. Neste trabalho, observou-se que o chorume é drenado através de uma cobertura com pedras rachão, dispostas entre as camadas. A pedra rachão é composta de um material firme, diminuindo o risco do peso da compactação provocar o esmagamento dos tubos de drenagem, provendo menor desprendimento de poeira o que reduz o entupimento dos vasos com sólidos incrustados, e por possuir um tamanho maior também concede mais espaços vazios diminuindo riscos de esmagamento dos tubos de drenagem do chorume (GONZAGA et al., 2020). Além das pedras rachão, é feita uma cobertura com tecido bidim, por cima e por baixo das pedras, com intuito de filtração parcial do chorume que passou pela pedrarrachão, realizando a retenção dos sólidos indesejados. O chorume então, é conduzido entre os vazios para as manilhas de captação com diâmetro de 60 cm nos drenos verticais e drenos de fundo (espinha de peixe) de 1 m.

O chorume é conduzido pelos tubos de drenagem até as duas lagoas de armazenamento de chorume bruto presentes no local, por bombeamento, ou gravidade, dependendo da localização do drenante. Antes do tratamento de osmose reversa ser iniciado, é feito o bombeamento desse chorume a 10 m³/h, conduzindo-o até um filtro de pano para retirada de sólidos grosseiros. Após, ele passa por um filtro de areia, e então é conduzido para o tanque de equalização, onde é adicionado ácido sulfúrico para a equalização do pH.

Com o pH ajustado, é iniciado o processo de osmose reversa no tratamento primário. O processo é feito em duas fases, passando ao total por oito vasos de porcelana. Na primeira fase, o chorume passa por seis vasos de porcelana, onde cada vaso possui seis membranas. O filtro de porcelana gera uma pressão elevada, fazendo com que ocorra a permeabilidade do líquido através dele, retendo os sólidos como metais pesados, entre outras substâncias. A fase um é para retirada de sólidos maiores, passando por um refinamento na fase dois onde é enviado para processamento por mais dois filtros que fazem uma retenção mais apurada dos sólidos

ainda presentes no líquido.

Todos os filtros passam por um processo de limpeza para retirada dos sólidos que ficam suspensos, para evitar perda de eficiência e aumentar a vida útil de cada filtro que possui um custo elevado, cerca de R\$ 7.596,00 por membrana. Depois das duas fases da osmose reversa concluídas, o líquido é passado novamente pelo ajuste de pH para adequação nas normas do padrão de lançamento de efluentes, que deve se enquadrar entre pH 5 e 9 segundo a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). Dos 10 m³ por hora que é iniciado o processo, aproximadamente 7 m³ do efluente são encaminhados para os cinco tanques de efluentes tratados presentes no local.

Verificou-se nos documentos avaliados que algumas amostras enviadas para análise pelo IAT (Instituto Água Terra), demonstraram níveis altos de nitrogênio amoniacal (NH₄⁺), mesmo após todo tratamento feito. Assim, por determinação do IAT, foi necessário a adoção de um tratamento secundário dos efluentes, sendo adotado o Filtro de Zeólita. Após os efluentes passarem por esse último filtro, são bombeados para os isotanques de armazenamento.

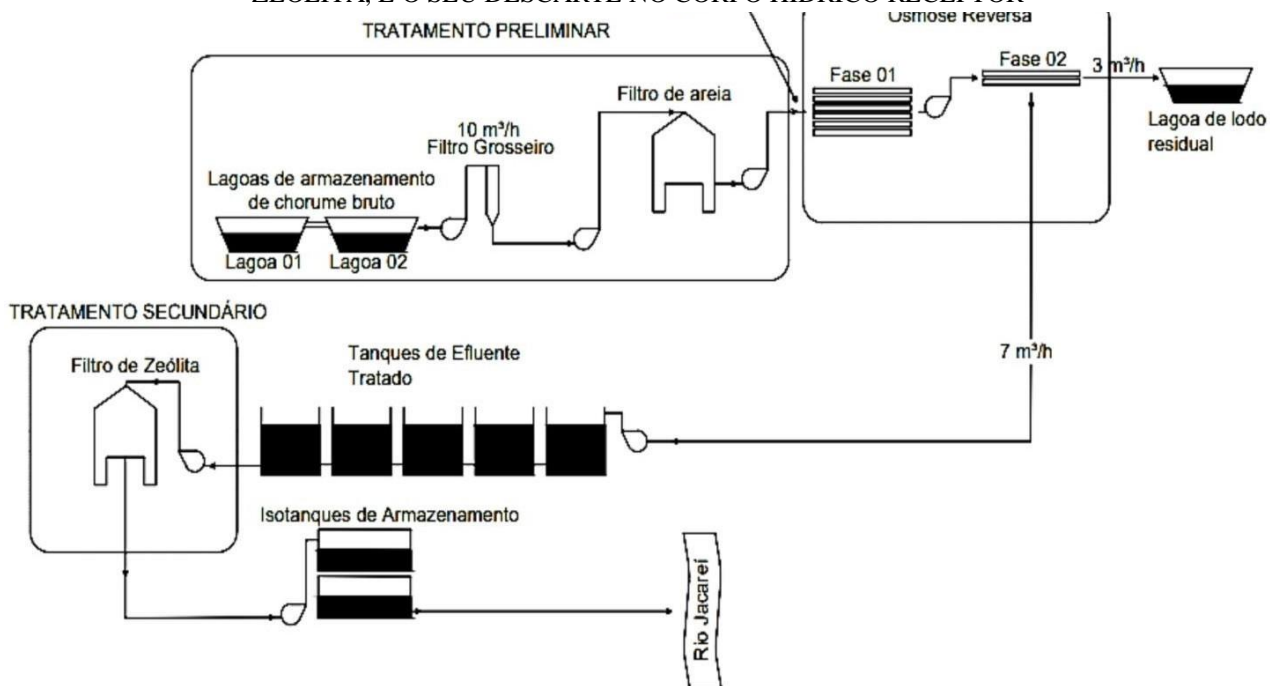
Neste contexto, sugere-se para a melhora do tratamento do efluente o retorno por bombeamento do chorume *in natura* para as células de resíduos, conforme recirculação orientada pela Resolução CEMA 86/2013, aproveitando a carga microbiana deste chorume, realizando um ciclo fechado, diminuindo o descarte no corpo hídrico receptor.

Por fim, o efluente tratado é despejado no Rio Jacareí, que possui linhas adutoras de 10 km. O Rio encontra-se em local mais baixo em relação à estação de tratamento, favorecendo o funcionamento do fluxo de escoamento, pois o líquido desce por gravidade tendo a colaboração da bomba por garantia.

Dos 10 m³/hora que são processados durante o tratamento, 7 m³/hora conseguem tratamento efetivo, gerando 70% de eficiência do processo completo. E 3 m³/hora resultam em lodo, que são bombeados para a Lagoa de Lodo Residual, após o fim do tratamento primário.

A Figura 4 sumariza os procedimentos adotados para o tratamento do efluente do aterro sanitário em estudo, contemplando o tratamento preliminar, tratamento primário e secundário, até a disposição final do efluente no Rio Jacareí.

FIGURA 4 - ESQUEMA DO TRATAMENTO DO CHORUME NO ATERRO EM ESTUDO, INCLUINDO OS TRATAMENTOS PRELIMINAR, PRIMÁRIO POR OSMOSE REVERSA E SECUNDÁRIO POR FILTRO DE ZEÓLITA, E O SEU DESCARTE NO CORPO HÍDRICO RECEPTOR



Fonte: A autora (2023).

Em relação ao índice de qualidade de aterro, verificou-se que o aterro em estudo atingiu o IQR de 8,3 que, segundo a classificação da CETESB (2015), é considerado adequado (TABELA 2). Dentre os parâmetros avaliados que destacaram-se positivamente estão os relacionados aos aspectos pertinentes ao solo como a capacidade de suporte e permeabilidade, a eficiência do sistema de drenagem de águas e do chorume e seu respectivo tratamento, além da captação dos gases oriundos do processo do tratamento dos resíduos. Elenca-se também o engajamento da empresa em sua preocupação com a população local, assim como na manutenção das vias de acesso.

TABELA 2 - AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO - IQR APLICADO NO ATERRO SANITÁRIO EM ESTUDO

ORDEM	Parâmetro	Avaliação	Peso	Valor Obtido
ORDEM SANITÁRIA	Capacidade de suporte do solo	Adequada	2	2
		Inadequado	0	
	Proximidades de núcleos habitacionais	Longe > 500 m	2	2
		Próximo	0	
	Proximidades de corpos d'água	Longe > 200 m	5	5
Próximo		0		
Profundidade do lençol freático	> 3 m	5	5	
		1 a 3 m	1	

	Baixa	4	
	Média	2	
Permeabilidade do solo	Alta	0	0
	Suficiente	2	
Disponibilidade de material para recobrimento	Insuficiente	1	
	Nenhuma	0	2
	Boa	2	
Qualidade do material para recobrimento	Ruim	0	2
	Boas	3	
Condições do sistema viário, trânsitos e acessos	Regulares	1	
	Ruins	0	3
	Bom	5	
Isolamento Visual e Físico da vizinhança	Ruim	0	5
	Local Permitido	5	
Legislação da Localização	Local Proibido	0	5
		Subtotal 1	31
	Sim	2	
Cercamento da área	Não	0	2
	Sim	2	
Portaria, Balança e Vigilância	Não	0	2
	Suficiente	5	
Drenagem do chorume	Insuficiente	1	
	Inexistente	0	5
	Suficiente	4	
Drenagem de águas pluviais(Definitiva)	Insuficiente	3	
	Inexistente	0	4
	Suficiente	2	
Drenagem de águas pluviais(Provisória)	Insuficiente	1	
	Inexistente	0	2
Trator de Esteiras ou compatível	Inexistente	0	0
	Sim	1	
Outros Equipamentos, trânsito e acesso	Não	0	1
	Existente	5	
Sistema de tratamento do Chorume	Inexistente/Insuficiente	0	5
	Bom	3	
Acesso a frente de Trabalho	Ruim	0	3
	Sim	1	
Vigilantes	Não	0	1
	Suficiente	3	
Sistema de drenagem de gases	Insuficiente	2	
	Inexistente	0	3
	Sim	2	
Controle do recebimento de cargas	Não	0	2

		Suficiente	3	
		Insuficiente	2	3
		Inexistente	0	
	Monitoramento de águas subterrâneas			
		Sim	2	
		Parcialmente	1	2
		Não	0	
			Subtotal 2	35
		Bom	4	4
		Ruim	0	
	Aspecto Geral			
		Não	4	
		Sim	0	4
	Ocorrência de lixo a descoberto			
		Adequado	4	
		Inadequado	1	
		Inexistente	0	4
	Recobrimento do lixo			
		Sim	1	
		Não	0	1
	Presença de urubus ou gaiivotas			
		Sim	0	
		Não	2	2
	Presença de moscas em grandes quantidades			
		Não	3	
		Sim	0	3
	Presença de catadores			
		Não	3	
		Sim	0	3
	Criação de animais(bois, porcos, etc.)			
		Não	3	
		Sim	0	3
	Descarga de resíduos de serviço de saúde			
		Não	3	
		Sim	0	3
	Descarga de resíduos industriais			
		Não/Adequado	4	
		Sim/Inadequado	0	4
	Funcionamento de drenagem pluvial (definitiva)			
		Bom	2	
		Regular	1	2
		Inexistente	0	
	Funcionamento de drenagem pluvial (Provisória)			
		Bom	2	
		Regular	1	2
		Inexistente	0	
	Funcionamento de drenagem do chorume			
		Bom	3	
		Regular	2	3
		Inexistente	0	
	Funcionamento do sistema de tratamento do chorume			
		Bom	3	
		Regular	2	3
		Inexistente	0	
	Funcionamento do sistema de monitoramento de águas subterrâneas			
		Bom	2	
		Regular	1	2
		Inexistente	0	
	Eficiência da equipe de vigilantes			
		Bom	1	1
		Ruim	0	

	Bom	2	
	Regular	1	2
	Inexistente	0	
Manutenção dos acessos internos			
		Subtotal 3	43
		TOTAL	109
		IQR	8,3

FONTE: A autora (2023)

Todavia, apesar do IQR apontar um desempenho ambiental satisfatório para o aterro em estudo, alguns pontos demandam de atenção para melhorias como: presença de urubus e gaivotas no local evidenciados em todos os dias de visitação, o que pode provocar riscos epidemiológicos; melhoria na qualidade dos materiais utilizados para drenagem do chorume; aperfeiçoamento necessário no tratamento do chorume com o procedimento de recirculação e aumento do número de maquinários disponíveis para diminuir o intervalo entre o recobrimento do resíduo, na intenção de diminuir o tempo que o resíduo fica descoberto.

Além disso, evidenciou-se a falta de estudos para análise do grau de compacta o do solo e dos resíduos após as passagens com a retroescavadeira. Essa avaliação é importante porque conseguiria estimar com mais acurácia o volume que pode ser comportado no aterro, e aumentar sua vida útil caso seja observado que   possível melhorar ainda mais a sua compacta o.

Destaca-se, contudo, alguns pontos positivos como a passagem frequente dos caminhões pipa para diminuição do p  levantado nas estradas, e mitigando o incômodo   população local. Também evidenciou-se a prontidão dos gestores em atender as demandas exigidas pelo Ministério Público, assim como pelo IAT, a eficácia na resolução de problemas cotidianos e treinamento dos funcionários para atendimento a emergências. O aterro também conta com vigilância constante, inclusive aos finais de semana.

Ademais, o empreendimento possui planejamento futuro para expansão de suas atividades e conseguiu licença para comercialização de produtos recicláveis de fabrica o própria, que encontra-se em fase de testes, e será iniciado nos próximos meses.

O IQR, como utilizado neste trabalho, tem se tornado uma importante ferramenta para avaliar o desempenho ambiental dos aterros sanitários. Em estudo reportado por Albertin et al. (2011), por exemplo, evidenciou-se no aterro sanitário de Cianorte (PR) um IQR de 10,0, sugerindo um bom desempenho ambiental desse aterro que recebe 49,71 ton de resíduos diariamente. Utilizando metodologia semelhante, Bocchiglieri (2010) avaliou um aterro sanitário localizado no município de Tupã (SP) e obteve IQR de 9,6 para 30 ton/dia, sugerindo

que o uso deste índice pode ser utilizado para avaliar e propor melhorias na qualidade em aterros, independente de sua capacidade operacional.

Essa aplicação generalizada do IQR foi evidenciada por Duarte (2019) que avaliou o uso deste índice em vários aterros localizados no Estado de São Paulo e, entre outros, foi auferido IQR de 7,5 para o aterro sanitário de Aramina (SP), que recebe cerca de 3,67 ton/dia de resíduos e IQR de 9,2 para o aterro de Ituverava (SP) com recebimento de 31,19 ton/dia, sugerindo a importância do uso do IQR para o levantamento dos parâmetros que estão ou não adequados na operação do tratamento de resíduos em aterros sanitários, auxiliando a proposição de melhorias e mitigando possíveis impactos ao meio ambiente, corroborando com os resultados encontrados neste presente estudo, onde foi possível verificar os pontos fortes e fracos na operação do aterro.

Dentre as melhorias que poderiam ser sugeridas estão as relacionadas à triagem dos resíduos para diminuição da perda de materiais com potencial reciclável e de compostagem. Além disso, as geomembranas utilizadas para recobrimento atualmente possuem vida útil em torno de 5 anos e, assim, sugere-se a troca das mesmas por outras com vida útil mais longa e que possuam proteção de raios UV que prolongam sua vida útil. Recomenda-se também a elaboração de estudos para aproveitamento do biogás gerado pelo processo anaeróbico do tratamento dos resíduos, e a implementação de uma avaliação da porcentagem de redução do volume original do resíduo em função da passagem de equipamentos, auferindo seu grau de compactação, com o intuito de prolongar a vida útil do aterro o que poderia, em tese, aumentar sua capacidade de recebimento de resíduos.

Salienta-se, contudo, que o aterro está em fase de planejamento do processo de instalação de setores novos. As novas células a serem implementadas contarão com a separação dos resíduos para reciclagem de materiais, compostagem e produção do Combustível de Resíduos (CDR). Também, estará investindo no aprimoramento do processo de triagem, para tornar eficaz a implementação das novas células. O empreendimento já está em fase de testes para produção de materiais reciclados produzidos no próprio aterro, como sacolas plásticas de alta qualidade, e totalmente recicladas. A parte de documentação e negociação com o ministério público já está em andamento e a previsão para início do processo é no ano de 2024.

Em síntese, o aterro sanitário atende à legislação pertinente, mas precisa implementar medidas preventivas para evitar a presença de aves. Também deve-se atentar a qualidade dos materiais para recobrimento, que demandam melhorias. Os parâmetros analisados referentes ao tratamento dos seus efluentes, recobrimento de resíduos, manutenção de equipamentos e cercamento da área com a cortina vegetal apresentaram resultados satisfatórios. Em continuidade a esse estudo, recomenda-se um monitoramento periódico anual, visando

41

encontrar não conformidades e corrigi-las, objetivando-se uma melhoria contínua do processo, e estudos relacionados às células de reciclagem e compostagem que serão implementadas futuramente no aterro.

5. CONCLUSÃO

O aterro sanitário recebe resíduos de 4 municípios do litoral paranaense totalizando aproximadamente 350 ton/dia de resíduos em baixa temporada e cerca de 500 ton/dia em período de veraneio, chegando a 700 ton na virada do ano. Possui tratamento para o chorume gerado utilizando filtros de membranas e filtro de zeólita como tratamento secundário. Embora proceda-se o recobrimento diário com solo dos resíduos recebidos, o aterro não possui informação do grau de compactação, e existem aves que o sobrevoam, levando a riscos epidemiológicos. O IQR calculado foi de 8,3 e em face disso, conclui-se que o aterro sanitário possui desempenho ambiental satisfatório.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos:Classificação. NBR – 10.004. Rio de Janeiro: novembro, 2004.

ALBERTIN, R.M.; SILVA, J.C.; VIOTTO, H.G. **Estudo e avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos urbanos no município de Sarandi - PR.** Geoiingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, v.12, n.2, p. 97- 119, 2020.

ALMEIDA, Cleibson et al. Rodovia Transoceânica: uma alternativa logística para o escoamento das exportações da soja brasileira com destino à China. **RESR**, Piracicaba, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 351-368, Abr/Jun 2013 – Impressa em Julho de 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/resr/a/4VhmRzxGdGRJ4q9tKfGNFSx/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 08 jun. 2023.

ALMEIDA, R. N. de, Pedrotti, A., & Santos, L. C. P. A problemática dos resíduos sólidos urbanos. Interfaces Científicas - **Saúde E Ambiente**, 2(1), 25–36. <<https://doi.org/10.17564/2316-3798.2013v2n1p25-3>>. Acesso em: 07 jun. 2023.

ALVARENGA, P.; ARAÚJO, M.; PRADO, J.; RIBEIRO, H.; FANGUEIRO, D. **Efeitos da utilização de chorume de suíno bruto ou tratado na substituição da adubação fosfatada de fundo na cultura do milho.** Revista de Ciências Agrárias, v. 45, n.4, p. 431-440, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10005: Lixiviação de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos - Procedimento. Rio de Janeiro/RJ.

AZEVEDO, G.O.D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L.R.S. **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável.** Engenharia Ambiental e Sanitária, v. 11, n. 1, p. 65-72, 2006.

BERTAZI, M.; COLACIOS, R. **Educação Ambiental nas Lareiras do Capital: uma crítica à agenda neoliberal.** Educação & Realidade, v.48, 2023.

BOCCHIGLIERI, M. M. **O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos.** 2010. 255f. Tese (Programa de Pós Graduação em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública. São Paulo, 2010.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, Distrito Federal, 2021. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 05 jun. 2023.

BRASIL. Decreto n. 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 117-A, p. 1-7, 22 jun. 2010. Edição extra. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/decreto/d7217.htm>. Acesso em: 13 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, SINIR**. Disponível em: < Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos (sinir.gov.br)>. Acesso em: 14 jun. 2023.

BRASIL. Portaria n.º 259, de 14 de outubro de 2014. Dispõe sobre a inscrição de ocupação em terrenos e imóveis da União, define procedimentos para a outorga, transferência e cancelamento e estabelece a definição do efetivo aproveitamento de que trata o art. 2, I, "b", do Decreto n. 3.725, de 10 de janeiro de 2001.

BRASIL, Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.

CARMO, C. M. **Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA**. 2003. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5836>>. Acesso em: 06 jun. 2023.

NETO, C. J.; CASTRO, M. A. H. **Simulação e avaliação do desempenho hidrológico da drenagem horizontal de percolado em aterro sanitário**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.3, p. 22-235, 2005.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos. São Paulo, 2015. Disponível em: <[Microsoft Word - Inventário RSD 2015 \(cetesb.sp.gov.br\)](http://microsofword-cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 08 jun. 2023.

CINQUETTI, H.S. **Lixo, resíduos sólidos e reciclagem: uma análise comparativa de recursos didáticos**. Educar, Curitiba, n. 23, p. 307-333, 2004. Disponível em: <[Educara 23.pdf \(scielo.br\)](http://educar23.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2023.

CONSONI, Â. J. et al. **Origem e composição do lixo**. In. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. Brasília: CEMPRE, 2002.

CUNHA, C.E.S.C.P.; RITTER, E.; FERREIRA, J.A. **O uso de indicadores de desempenho na avaliação da qualidade operacional dos aterros sanitários do estado do Rio de Janeiro no triênio 2013-2015**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 2, p. 345-360, 2020.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero (org.) **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. Brasília: CEMPRE, 2002.

DUARTE, J.P.P.; SILVA, J.G. 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2019, Foz do Iguaçu. Aplicabilidade do IQR: Desempenho dos aterros sanitários dos municípios da microrregião de Ituverava - SP. IBEAS: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2019.

FARIA F. S., 2002. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos - IQA**. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <[tese.doc \(ufrj.br\)](#)>. Acesso em: 15 jun. 2023.

FERNANDES, M.; FILHO, L. **Um modelo orientativo para a gestão municipal dos RCC'**. Ambiente Construído, 2017.

FERREIRA, N.M.A. **A reciclagem do lixo e suas leis**. Rio de Janeiro, 1994.

GALVÃO JÚNIOR, A. de C. **Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil**. 1994. 113p.

GOMES, L.P.; KOHL, C.A.; SOUZA, C.L.L.; RAMPEL, N.; MIRANDA, L.A.S.; MORAES, C.A.M. **Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n.3, p 547-560, 2016.

GOMES, R.; CÂMARA, V.; SOUZA, D. P. **Modificação do conhecimento sobre acidentes de trabalho entre escolares residentes de uma área impactada por aterro sanitário**. Revista Brasileira de Epidemiologia, 2016.

GONÇALVES, C.J.M.; MARTINEZ, I.B.; MAICHAK, P.G.; SANTOS, P.R.A.; TELES, P.S.; SILVA, C. **Resíduos Sólidos Urbanos: A percepção ambiental dos moradores de Pontal do Paraná - PR**. Divers@ Revista Eletrônica Interdisciplinar, v.14, n. 1, p. 92-99, 2021.

GONZAGA, C. M. G.; BEZERRA, F. S. C.; OLIVEIRA, F. H. L. **Uso de resíduo de construção e demolição para reforço de subleito em regiões de solo com elevado teor de umidade**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Infraestrutura/Materiais%20e%20Tecnologias%20Sustent%C3%A1veis%20II/5_327_CT.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

HISATUGO, E.; MARÇAL JÚNIOR, O. **Coleta Seletiva e reciclagem como instrumentos para conservação ambiental: Um estudo de caso em Uberlândia, MG**. Sociedade & Natureza, v. 19, n.2, p. 205-216, 2007.

IBAM, Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro, et al. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001. 200 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos 2007**. Inovações e impactos nos sistemas de informações estatísticas e geográficas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos 2020**. Inovações e impactos nos sistemas de informações estatísticas e geográficas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

ITO, M.H.; COLOMBO, R. **Resíduos volumosos no município de São Paulo: Gerenciamento e valorização**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, 2019. JAMES, Barbara. **Lixo e reciclagem**. São Paulo: Scipione, 1992.

JARDIM, N. S. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

KANASHIRO, M. A cidade e os sentidos: sentir a cidade. **Desenvolvimento e meio ambiente**, Curitiba, n.7, p. 159-164, jan/jul 2003.

KIEHL, J. E. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KRAPFENBAUER, A. **O ser humano e o meio ambiente: uma crise sem saída?**. Ciência Florestal, 1992.

LIMA, J.D. **Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. João Pessoa: ABES, 2002.

LIMA, P.M.; OLIVO, F.; FURLAN, M.B.; JUSTI JUNIOR, J.; PAULO, P.L. **Análise de custos do planejamento estratégico do sistema integrado de resíduos sólidos urbanos em Campo Grande/ MS**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 4, p. 749-759, 2022.

MARINHO, R.C.; OLIVEIRA, R.M.S. Avaliação da qualidade do aterro sanitário de Palmas – TO, utilizando a ferramenta Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos – IQA. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 01, n. 02, 2013, pp. 123-141. Disponível em: <[c18359098a2968c041c367502c0b0883bc7b.pdf](https://www.semanticscholar.org/paper/c18359098a2968c041c367502c0b0883bc7b) (semanticscholar.org)>. Acesso em: 14 jun. 2023.

MATTEI, G.; ESCOSTEGUY, P.A.V. **Composição gravimétrica de resíduos sólidos aterrados**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 3, p. 247-251, 2007.

MAYORGA, R. D. et al. **Os resíduos da construção civil e suas implicações socioambientais e econômicas na cidade de Fortaleza – CE**. In: SOBER, 47, 2009, Porto Alegre, 2009. MONTAGNA, A. et al. Curso de Capacitação/Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: planejamento e gestão. Florianópolis: AEQUO, 2012.

MOREIRA, P.A.A **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e seu legado na política ambiental brasileira**. I Seminário Nacional de Pós-Graduação em Ciências Sociais, UFES, Vitória, ES, v. 1, p. 1-19, 2011.

NASCIMENTO, V.F.; SOBRAL, A.C.; ANDRADE, P.R.; OMETTO, J.P.H.B. **Evolução e desafios no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Revista Ambiente & Água, v. 10, n. 4, p. 889-902, 2015.

NETO, J.C.; CASTRO, M.A.H. **Simulação e Avaliação do desempenho hidrológico da drenagem horizontal de percolado em aterro sanitário**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 229-235, 2005.

OLIVEIRA, L. F.; DIETER, W.; SILVA, S.W. **Proposição de modelo para estimativa de custos de coleta de resíduos sólidos domiciliares em pequenos municípios do estado do Rio Grande do Sul**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.28, 2023.

OMS. Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment. 2021. E-book. Disponível em:

<https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who_compendium_chapter4_v2_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc_5>. Acesso em: 07 jun. 2023.

PIRES, A.; MATTIAZZO, M.E. **Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura**. Circular Técnica, Jaguariúna, SP, novembro, 2008. Disponível em:

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/15550/1/circular19.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

POMPÊO, M.; RANI-BORGES, B.; PAIVA, T.C.B. **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: USP, 2022. E-book. ISBN 978- 65- 88234-11-2. Disponível em:

<http://ecologia.ib.usp.br/portal/microplastico/livro_todo.pdf> Acesso em: 08 jun.2023.

PRADO FILHO, J.F. & SOBREIRA, F.G. **Desempenho Operacional e Ambiental de Unidades de Reciclagem e Disposição Final de Resíduos Sólidos Domésticos Financiados pelo ICMC Ecológico de Minas Gerais**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 1, p. 52-61, 2005.

ROSA, M. E. R. C. **Desenvolvimento de produto educativo para crianças com transtorno de espectro autista a partir da reciclagem de resíduos poliméricos gerados por impressão 3D**. Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba. 98p. 2017.

SALESBRAM, J.A.M.; ROSEGHINI, W.F.F. **Análise da variabilidade térmica da capacidade de Paranaguá-PR para aplicação em estudos sobre a proliferação dos aedes aegypti**. Geo UERJ, n. 34, 2019.

SANTANA, I.C. **Análise dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos de construção e demolição em Conceição do Almeida – BA**. TCC — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA, CRUZ DAS

ALMAS, 2011. Disponível em:

<https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/20190314175553_2015.2>

SCHALCH, V. **Estratégias para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos**. 149 p. Livre-Docência – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

SILVA, C. A.; ANDREOLI, C.V. **Compostagem como alternativa a disposição final dos resíduos sólidos gerados no CEASA Curitiba/PR**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 2, p. 027-040, abr./jun. 2010.

SILVA, C.; CORREA, A.; FIGUEIREDO, M.; PRANDINI, M. **Análise de Geração de Resíduos Sólidos em Pontal do Paraná, litoral paranaense**. Engenharia Ambiental e Sanitária: Interfaces do Conhecimento 3. Atena Editora, cap. 1, 2020.

SILVA, C; REBINSKI, T. J. ; TELES, S. P. ; KRUGER, G. T. ; BARROS, M. M; CORREA, A. D. ; LOPES, A. B. Uso de drones para estimar o volume de resíduos sólidos aparentes e diagnosticar as condições ambientais de um aterro sanitário no litoral do estado do Paraná - Brasil. Revista Técnico Científica do CREA - PR, v. 25, p. 1-14, 2021.

SILVA, Cesar. **Gerenciamento de resíduos sólidos**. Curitiba: IFPR, 2013.

SILVA, E.; TONELI, J.; PALACIOS-BERECHE, R.; **Estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos de biodigestão anaeróbica e incineração**. Engenharia Ambiental e Sanitária, v.2, n.2, p 347-357, 2019.

SILVA, F.; CHAVES, A.F.F.; MORAES, V.M.C.; LESSA, R.J.O.; JUNIOR, O.C.D. **Correlação entre saneamento básico e vulnerabilidade à pandemia decovid-19 no Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 28, 2023.

SILVA, M.E.C. **Compostagem de lixo em pequenas unidades de tratamento**. Viçosa: CPT, 2000.

SILVA, S.S.F.; SANTOS, J.G.; CÂNDIDO, G.A.; RAMALHO, A.M.C. **Indicador de Sustentabilidade Pressão - Estado - Impacto - Resposta no Diagnóstico do Cenário Sócio Ambiental resultante dos Resíduos Sólidos Urbanos em Cuité, PB**. REUNIR - Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade, v. 2, n. 2, p 76-93, 2012. Disponível em: ><https://doi.org/10.18696/reunir.v2i2.68><. Acesso em: 14 jun. 2023.

SCHNEIDER, D. M.. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo**. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, SP, 2003.

SIQUEIRA, D.S.S.; CRUZ, D.A.O.; POLIGNANO, M.V.; VILLELA, L.C.M.; GUERRA, V.A. **Revitalização da Bacia do Ribeirão do Izidora: educação ambiental como estratégia**. Saúde em Debate, Belo Horizonte, 2017.

SOUZA, A.R.; SILVA, A.T.Y.L.; TRINDADE, A.B.; FREITAS, F.F.; ANSELMO, J.A. **Análise do potencial de aproveitamento energético de biogás de aterro e simulação de emissões de gases do efeito estufa em diferentes cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos em Varginha (MG)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 5, p. 887-896, 2019.

TABALIPA, N.L.; FIORI, A.P. Caracterização e classificação dos resíduos sólidos do município de Pato Branco, PR. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, núm. 4, Pato Branco, Paraná, p. 28, 2006.

TAMARINDO, U. G. F.; FORTI, J. C. **Água e seus Instrumentos Legais de Proteção**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 9, n. 1, p. 39-52, 2015.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZAGO, V.C.P.; BARROS, R.T.V. **Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 2, p. 219-228,2019.