

ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DE LIXIVIADO DE ATERRO

Carlos Augusto Laranja Modolo¹,
Luiz Henrique Ramos Guimarães¹,
Mônica Alves da Silva Mercier¹,
Mirella Gonçalves da Fonseca Miranda da Silva²

¹ Discentes do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Multivix Vitória

² Docente do Centro Universitário Multivix Vitória

RESUMO

A crescente preocupação com o manejo adequado de resíduos sólidos urbano (RSU) tem impulsionado a necessidade de estudos aprofundados sobre a sistematização da drenagem de lixiviado de aterro. O lixiviado, um líquido altamente poluente derivado da decomposição dos efluentes depositados, representa um desafio significativo para a preservação da qualidade da água e do meio ambiente. O objetivo deste artigo foi analisar o sistema de drenagem de lixiviado de aterro sob um ponto de vista técnico e ambiental, considerando a eficiência e a sustentabilidade. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura científica, abrangendo estudos e pesquisas sobre o tema. A análise destaca a importância de um projeto bem planejado e executado, englobando a seleção adequada de materiais, dimensionamento apropriado das tubulações, configuração eficiente das células de aterro e execução de medidas de tratamento e controle do lixiviado. Além disso, são discutidas as principais tecnologias utilizadas no sistema de drenagem, como geomembranas e sistemas de impermeabilização. A avaliação da eficiência do sistema de drenagem de lixiviado é baseada em parâmetros como a quantidade de lixiviado coletada, a concentração de poluentes, a taxa de percolação e a qualidade da água subterrânea. Os resultados da análise destacam a relevância de um sistema de drenagem de lixiviado bem projetado e operacional para assegurar a proteção do meio ambiente e a saúde pública. A integração de tecnologias inovadoras, aliada a uma gestão adequada, é fundamental para promover a eficiência e sustentabilidade do sistema, contribuindo para a mitigação dos efeitos causados pelo lixiviado de aterro.

PALAVRAS-CHAVE

Aterro; Resíduos; Lixiviado; Percolado; Efluentes.

ABSTRACT

The growing concern regarding the proper management of urban solid waste (USW) has driven the need for in-depth studies on the systematization of landfill leachate drainage. Leachate, a highly polluting liquid derived from the decomposition of deposited effluents, poses a significant challenge for the preservation of water quality and the environment. The objective of this article was to analyze the leachate drainage system from a technical and environmental perspective, considering efficiency and sustainability. To achieve this, a review of the scientific literature was conducted, encompassing studies and research on the subject. The analysis highlights the importance of a well-planned and executed design, including the appropriate selection of materials, proper sizing of pipes, efficient configuration of landfill cells, and the implementation of leachate treatment and control measures. Additionally, the main technologies used in the drainage system, such as geomembranes and impermeabilization systems, are discussed. The evaluation of the leachate drainage system's efficiency is based on parameters such as the amount of leachate collected, pollutant concentration, percolation rate, and groundwater quality. The results of the analysis underscore the relevance of a well-designed and operational leachate drainage system in ensuring environmental protection and public health. The integration of innovative technologies, combined with proper management, is crucial for promoting the efficiency and sustainability of the system, contributing to the mitigation of the effects caused by landfill leachate.

KEYWORDS

Landfill; Waste; Leachate; Percolate; Effluents.

INTRODUÇÃO

Desde os tempos remotos, o crescimento da população gera preocupações ambientais em nível global, mas atualmente o consumo exacerbado, na maioria das vezes desnecessário, vem desencadeando um aumento considerável na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Entretanto, o descarte ou reutilização desses resíduos não acompanham esse crescimento no Brasil (RMAI, 2022).

O panorama de 2022, divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), apresenta uma combinação de dados e informações que oferece um rico material, até mesmo de caráter inédito, para fomentar as novas dinâmicas e orientar os investimentos indispensáveis para a evolução da gestão de RSU no Brasil. Após um ano de privações devido à pandemia, o setor obteve transformações importantes, dentre eles a aprovação de dois decretos para auxiliar na melhor gestão, viabilização e foco no aproveitamento desses resíduos: o Decreto nº 10.936/2022, que trouxe nova regulamentação para a Lei nº 12.305/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e o Decreto nº 11.043/2022, que instituiu o Planares - Plano Nacional de Resíduos Sólidos (ABRELPE).

No Brasil, ainda é comum a utilização de lixões a céu aberto, aterros controlados e aterros sanitários. Porém, apenas este último é considerado uma prática legal de destinação de RSU (Puentes, 2022). O panorama de 2021 da ABRELPE revela que apenas 60% de todo o resíduo descartado no Brasil tem como destino final os aterros sanitários. O descarte inapropriado desses resíduos acarreta vários prejuízos, tanto ambientais - com a contaminação do solo, ar e recursos hídricos – quanto à biodiversidade e ao ser humano.

Os aterros sanitários produzem grandes quantidades de lixiviado, que é um líquido resultante da infiltração da água por entre os RSU, quando a água passa por esses resíduos, ela dissolve substâncias presentes neles, resultando em uma solução líquida contaminada. Geralmente contém uma variedade de substâncias, incluindo compostos orgânicos, metais pesados, nutrientes, produtos químicos tóxicos e micro-organismos. Essa combinação de substâncias pode tornar o lixiviado extremamente poluente e prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana, se não for tratado adequadamente. O controle e tratamento adequado do lixiviado são essenciais para minimizar os efeitos ambientais negativos (TENDEL, 1998).

Os aterros sanitários modernos são projetados para coletar e tratar o lixiviado, utilizando sistemas de drenagem e impermeabilização com o intuito de evitar sua dispersão no solo e na água subterrânea. O tratamento do lixiviado geralmente envolve processos físicos, químicos e biológicos para remover os contaminantes e torná-lo seguro antes do seu descarte ou reutilização. A análise do sistema de drenagem de lixiviado de aterro está correlacionada à necessidade de gerenciar os resíduos líquidos gerados pela decomposição de materiais existentes nos aterros sanitários (IWAI, 2005).

A análise do sistema de drenagem de lixiviado de aterro é uma prática padrão na construção e operação de aterros sanitários. Os projetos devem considerar não apenas a coleta e drenagem eficaz do lixiviado, mas também a sua destinação final por meio de tratamento adequado, de modo a minimizar os efeitos negativos ao meio ambiente e à saúde pública (COUTINHO, 2020).

O presente estudo objetivou-se na avaliação do sistema de drenagem de lixiviado de aterro (chorume) de um aterro sanitário localizado no município de Cariacica/ES. O estudo é justificado devido ao fato de que o lixiviado, um líquido percolado que contém substâncias tóxicas derivado da decomposição dos resíduos, requer tratamento adequado para impedir a contaminação do solo e das águas subterrâneas. Ao tratar o chorume de forma responsável, reduz-se os efeitos ambientais negativos, protege a saúde das pessoas e promovendo a sustentabilidade e a conservação de recursos naturais a longo prazo.

1.REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Aterro Sanitário

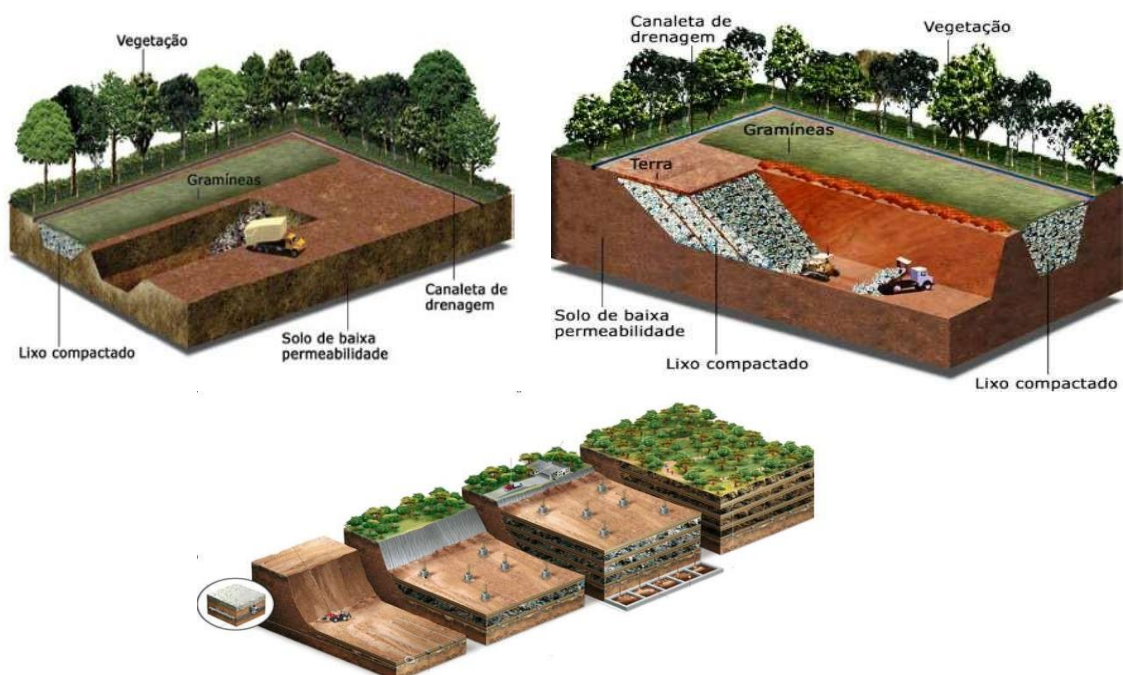
De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT-SP, 2018), o aterro sanitário é uma forma de destino final de resíduos sólidos, na qual o lixo é compactado e coberto por camadas de solo, visando reduzir o impacto ambiental e diminuir os riscos à saúde pública. Essa técnica é utilizada para o gerenciamento adequado dos RSU, oferecendo uma alternativa controlada em comparação com métodos mais antigos, como os lixões a céu aberto.

Segundo o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), a escolha apropriada de uma área para implantação e operação é a etapa inicial mais fundamental do projeto de um aterro sanitário. O bom funcionamento do aterro está diretamente

relacionado à escolha da área, considerando diversos aspectos sociais, econômicos e ambientais. O MDR também destaca que essa é uma das principais dificuldades enfrentadas pelas administrações municipais, uma vez que as informações e dados necessários geralmente não são disponibilizados (MDR/ReCESA, 2008).

Neto (2005) divide os aterros sanitários em três métodos, são eles: trincheira, rampa ou meia encosta e área, na figura 1 é possível analisar a diferença entre eles: Método da trincheira: realizado em terrenos planos ou pouco inclinados, envolve a escavação de uma trincheira onde os resíduos são depositados em um dos lados, sem acesso dos caminhões ao interior. Após o completo preenchimento da trincheira, o material escavado é utilizado para cobrir os resíduos diariamente; Método da rampa ou meia encosta: o material é depositado no pé da encosta, com níveis de altura entre 3 e 4 metros em cada célula. Utilizam-se máquinas específicas para espalhar e compactar os resíduos, e quando os níveis de altura são atingidos, as células são fechadas e um novo ciclo se inicia, a imagem 2 demonstra essas duas fases; Método de área: método mais genérico nos projetos e operações de aterros sanitários, nesse método o terreno é dividido em células ou áreas que são preenchidas sequencialmente com os resíduos sólidos ao longo do tempo. A figura 1 mostra o processo de inicial, na preparação do terreno, a evolução e o encerramento do aterro.

Figura 1 - Detalhamento dos métodos de trincheira; de rampa; e de área, respectivamente.

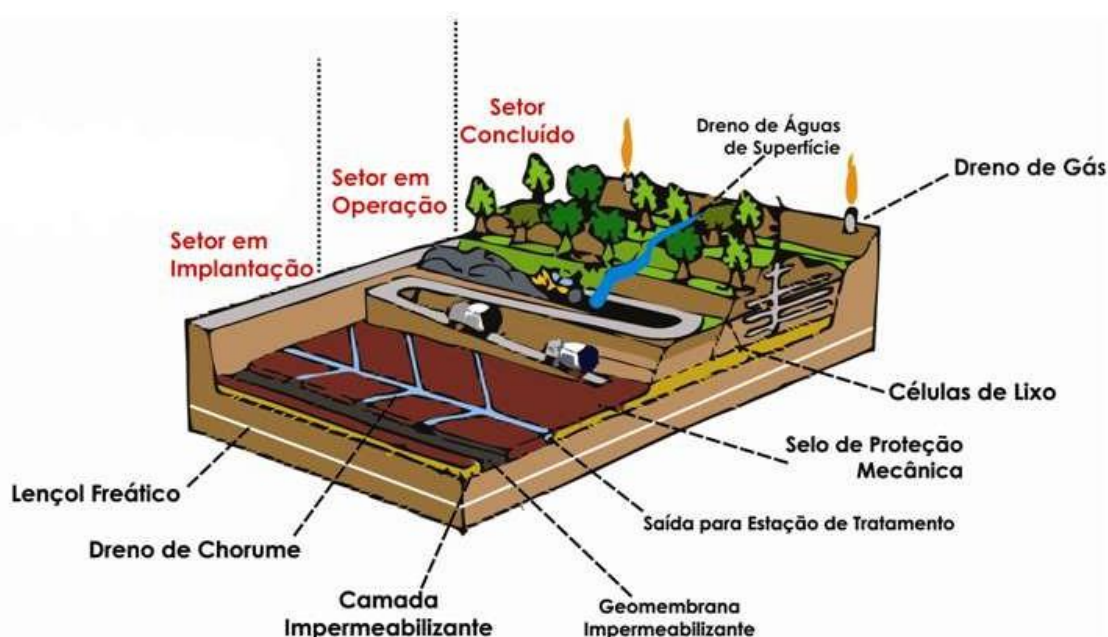


Fonte: Lanza, 2009 e site do Governo do Estado de Rondônia, adaptado.

Os aterros sanitários são projetados levando em consideração diversos aspectos ambientais e de engenharia, tais como a impermeabilização do solo para evitar a degradação do lençol freático, a instalação de sistemas de drenagem de gases e líquidos, bem como a captação e tratamento do lixiviado (chorume), conforme esquema mostrado na figura 2 (IPT/CEMPRE, 2018).

Além disso, os aterros sanitários podem ser equipados com sistemas de coleta de gases, como o metano, produzido durante a decomposição anaeróbica dos resíduos. Esses gases podem ser capturados e utilizados para geração de energia ou queimados de forma controlada, reduzindo o impacto ambiental e contribuindo para a amenização das emissões de gases de efeito estufa. (Van Elk, 2007).

Figura 2 - Aterro Sanitário



Fonte: IPT 2018, <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf>.

1.2 Lixiviado de Aterro

Lixiviado de aterro é o líquido resultante da decomposição dos RSU depositados em aterros sanitários. Esse líquido é altamente poluente e contém uma variedade de substâncias químicas provenientes dos resíduos, como compostos orgânicos, metais pesados e substâncias tóxicas. Devido à sua composição e potencial de contaminação, o tratamento adequado do lixiviado de aterro é de extrema importância para prevenir danos ao meio ambiente e à saúde humana (KIRKBRIDE- Smith et al.,

2016).

Conforme descreve Reinhart e Grosh (1998), as características do lixiviado são variáveis e dependem de diversos fatores, como a composição dos efluentes, o volume de chuva e suas ocorrências, a hidrologia do local, os procedimentos de amostragem, a compactação, o modelo da cobertura, a idade dos resíduos, a interação do lixiviado com o meio ambiente e o projeto e operação do aterro sanitário. Na tabela 1 é apresentada a composição do lixiviado de alguns dos principais aterros brasileiros, o que serve como indício das possíveis variações encontradas nesse resíduo em diferentes locais do Brasil.

Tabela 1 - Variação das características de lixiviados gerados em aterros sanitários brasileiros

PARÂMETROS	FAIXA MÁXIMA	FAIXA MAIS PROVÁVEL	FVMP (%)
DBO (mg L ⁻¹)	< 20 - 30.000	< 20 - 8.600	75
DQO (mg L ⁻¹)	190 - 80.000	190 - 22.300	83
pH	5,7 - 8,6	7,2 - 8,6	78
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	80 - 3.100	Não há	-
Nitrogênio Amoniacal (mg L ⁻¹)	0,4 - 3.000	0,4 - 1.800	72
Nitrito (mg L ⁻¹)	0 - 50	0 - 15	69
Nitrato (mg L ⁻¹)	0 - 11	0 - 3,5	69
Condutividade (µS/cm ²)	2.950 - 2.500	2.950 - 17.660	77
Cloreto (mg L ⁻¹)	500 - 5.200	500 - 3.000	72
Sulfato (mg L ⁻¹)	0 - 5.400	0 - 1.800	77
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	3.200 - 21.900	3.200 - 14.400	79
Sólidos Totais Voláteis (mg L ⁻¹)	2.100 - 14.500	2.100 - 8.300	75

Fonte: Adaptado de Souto e Povinelli, 2007

Estudos têm demonstrado que o lixiviado de aterro é geralmente caracterizado por um alto teor de matéria orgânica biodegradável, que pode levar à produção de gases de efeito estufa, como metano, durante a decomposição (Kjeldsen et al., 2002). Além disso, substâncias tóxicas, como amônia, nitrito, sulfatos e cloretos, também são encontradas em concentrações elevadas no chorume. A presença de compostos tóxicos no lixiviado de aterro pode contaminar os corpos d'água, afetando a saúde dos organismos aquáticos e comprometendo as cadeias alimentares contribui para o aquecimento global (Yao et al., 2019).

A variação na composição dos resíduos depositados em aterros pode resultar em lixiviados contendo altas concentrações de metais pesados, substâncias químicas sintéticas provenientes de atividades humanas e microrganismos patogênicos prejudiciais à saúde (Ferreira, 2006). A tabela 2 demonstra as origens responsáveis

por alguns íons ou soluções moleculares presentes nos lixiviados.

Tabela 2 - Fontes de alguns íons encontrados em lixiviado

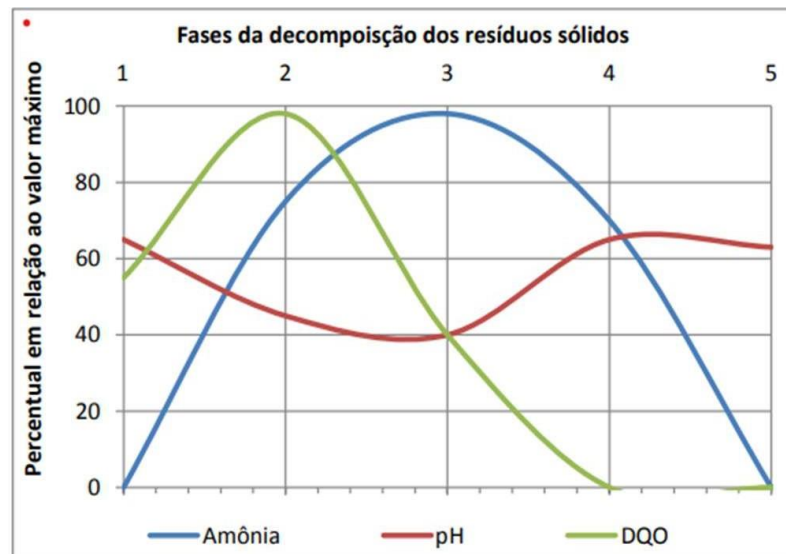
Íons	Fontes
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Material orgânico, entulho de construção, cascas de ovos
PO ₄ ⁻³ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻²	Material orgânico
Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Sn ²⁺	Material eletrônico, latas, tampas de garrafa
Hg ²⁺ , Mn ²⁺	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes
Ni ²⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺	Baterias recarregáveis (celular, telefones e automóveis)
Al ³⁺	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	Tubos de PVC, negativos de filmes e raio x
As ³⁺ , Sb ³⁺ , Cr ³⁺	Embalagens de tintas, vernizes e solventes orgânicos

Fonte: Segato e Silva (2000)

Para mitigar os impactos do lixiviado, são essenciais medidas de tratamento eficientes. Diferentes técnicas têm sido desenvolvidas e aplicadas para tratar o lixiviado de aterro, como tratamento físico-químico, tratamento biológico e tratamento combinado. O tratamento físico-químico envolve processos como coagulação, filtração, sedimentação, floculação e adsorção, que visam remover sólidos suspensos, matéria orgânica dissolvidas presentes no lixiviado de aterro (Li et al., 2022). Essas técnicas podem ser eficientes na remoção de poluentes específicos, como metais pesados e compostos orgânicos recalcitrantes. No entanto, é crucial levar em conta a destinação apropriada dos resíduos resultantes do tratamento físico-químico, a fim de prevenir a transferência de poluentes de uma forma de contaminação para outra. (ZHANG et al., 2017).

O tratamento biológico é outra abordagem aplicada no tratamento de lixiviado de aterro. Processos como a lagoa de estabilização, o reator anaeróbio de leito fluidizado e o reator de lodo ativado têm sido aplicados para remover a matérias biodegradáveis presentes no lixiviado (Christensen et al., 2001). Esses sistemas utilizam micro-organismos para degradar a matérias orgânica, convertendo-a em compostos mais estáveis e menos poluentes. No entanto, a deficiência do tratamento biológico pode ser influenciada por fatores como a carga orgânica, a temperatura e o pH do chorume (Hou et al., 2020). A figura 3 trata-se de um gráfico que relaciona variação das fases de decomposição do lixiviado com a concentração dos compostos de amônia, pH do lixiviado e DQO.

Figura 3 – variação na composição do lixiviado segundo as fases de decomposição



Fonte: (Bidone & Povinelli, 1999) - Adaptado

Além das técnicas de tratamento mencionadas, o tratamento combinado, que envolve a combinação de processos físico-químicos e biológicos, tem se mostrado promissor no tratamento eficiente do lixiviado de aterro. Essa abordagem permite a remoção de uma ampla gama de poluentes presente no lixiviado, maximizando a eficiência do processo de tratamento. É fundamental considerar a seleção adequada das técnicas de tratamento e otimizar as condições operacionais para garantir a eficiência e a conservação do sistema de tratamento (Kurniawan et al., 2010).

A seleção da técnica de tratamento apropriada pondera sobre a composição do lixiviado, as condições ambientais e os requisitos regulatórios que tem como base a NBR 10004 – Resíduos Sólidos, que é uma norma brasileira que estabelece as metodologias para a classificação de RSU quanto aos seus potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Ela define critérios para a identificação e a segregação adequada dos resíduos, com o objetivo de promover o gerenciamento seguro e adequado desses materiais. A norma divide os resíduos sólidos em duas categorias principais: resíduos perigosos e resíduos não perigosos. Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, podendo representar riscos significativos à saúde e ao ambiente. Já os resíduos não perigosos não apresentam essas características. O desenvolvimento contínuo de técnicas de tratamento mais eficientes e sustentáveis é essencial para minimizar os impactos negativos do lixiviado de aterro e promover a gestão adequada dos RSU. (ABNT 10004/1987).

1.3 Sistemas de Drenagem

A impermeabilização de base de um aterro tem como função impedir a percolação do chorume entre as camadas do solo e o lençol freático, que é um recurso de proteção ambiental. Para a camada de impermeabilização exercer sua função de forma adequada, deve ser composta por solos argilosos, com baixo coeficiente de permeabilidade, e/ou geomembranas sintéticas (mantas impermeabilizantes de PVC ou PEAD) de espessura adequada, conforme definido na (NBR16.199:2013).

Morais (2018) ressalta as importâncias do sistema de drenagem para coleta do lixiviado de aterro para que ele evite o acúmulo do líquido no interior do aterro e cause problemas como: Aumento da pressão hidrostática, que pode provocar rupturas na impermeabilização do aterro e vazamentos de lixiviado para o solo e o lençol freático; Diminuição da capacidade de acomodação dos resíduos, que pode reduzir a vida útil do aterro e aumentar os custos de operação; Redução da eficiência da produção e da captação do biogás, que pode diminuir o potencial energético do aterro e causar emissões de gases de efeito estufa; Dificuldade de controle das condições sanitárias e ambientais do aterro, que pode favorecer a proliferação de vetores de doenças, como moscas e ratos, e gerar odores desagradáveis.

É essencial, para o sistema de drenagem, coletar o lixiviado de forma rápida e segura, permitindo o seu tratamento adequado e a minimização dos impactos ambientais e sociais do aterro sanitário. Caso a drenagem não atenda as necessidades previstas, ela pode acarretar danos como a ruptura na impermeabilização do aterro e vazamento de lixiviado para o solo e o lençol freático, contaminando os recursos hídricos e afetando a saúde humana e animal. A redução da capacidade de acomodação dos resíduos, diminuindo a vida útil do aterro e aumentando os custos de operação e manutenção. Redução da eficiência da produção e captação do biogás, diminuindo o potencial energético do aterro e causando emissões de gases de efeito estufa, como metano e dióxido de carbono, que contribuem para o aquecimento global. Dificuldade de controle das condições sanitárias e ambientais do aterro, favorecendo a proliferação de vetores de doenças, como moscas e ratos, e gerando odores desagradáveis que podem incomodar a população vizinha. Além disso, se a drenagem for ruim, o lixiviado coletado pode ter uma qualidade pior, com maior concentração de poluentes e maior dificuldade de

tratamento. Isso pode exigir métodos mais complexos e caros para remover as substâncias nocivas do líquido e atender aos padrões de qualidade exigidos pela legislação municipal. (ABRELPE, 2019).

O sistema de drenagem usado na coleta e remoção de lixiviado do aterro deve seguir as seguintes etapas: o sistema de drenagem deve ser instalado imediatamente acima da manta de impermeabilização, dimensionada de forma a evitar a formação de uma lamina de líquido superior a 30 cm sobre a impermeabilização, construído de um material quimicamente resistente ao resíduo e ao lixiviado e as pressões originárias da estrutura total do aterro e dos equipamentos que são utilizados na operação. Esse sistema deve ser projetado e operado de forma a evitar obstruções durante todo o período de vida útil e após o fechamento do aterro (ABNT 13.896/1997).

O lixiviado, também conhecido como chorume, é um líquido escuro e malcheiroso resultante da decomposição dos resíduos depositados em aterros sanitários. Ele contém concentrações elevadas de compostos orgânicos e inorgânicos. Sua composição físico-química é versátil e depende de elementos como o tempo de disposição, condições de chuva, características intrínsecas dos resíduos e influência da temperatura. O chorume possui altas concentrações de sólidos, metais pesados e compostos orgânicos que provem de degradação de substâncias não metabolizadas.

A existência desse lixiviado representa uma ameaça às águas subterrâneas, uma vez que ele pode infiltrar-se em camadas bastante profundas do aterro. A falta de uma impermeabilização e um sistema de drenagem adequados para a coleta desse lixiviado está diretamente ligada à contaminação dos aquíferos localizados abaixo da camada do aterro. (BERTAZZOLI; PELEGRINI,2002)

1.4 Rede de Drenagem para Captação do Chorume

A coleta de chorume é feita por drenos que são implantados sobre a camada de impermeabilização, conforme mostrado na figura 4, e são projetados levando em consideração a topografia, o volume de lixiviados gerados, a distância entre o ponto de coleta e o ponto de tratamento. O Sistema é dividido, geralmente, por gravidade, bombeamento ou misto (combinação dos dois sistemas). A figura 5 mostra alguns modelos do sistema por gravidade, mas para este artigo o sistema avaliado foi o em formato de espinha de peixe, com drenos secundários conduzindo o chorume para o dreno principal que irá ser transportado para as lagoas, que posteriormente irá para o

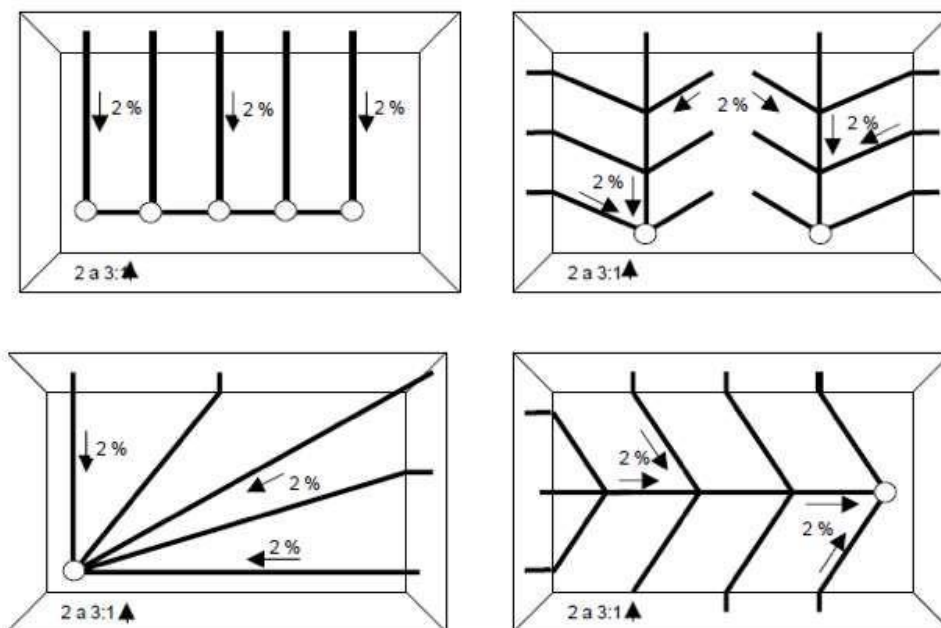
tratamento. O Canal dos drenos será em brita ou rachão, seguida de areia grossa ou media, afim de ser evitar a colmatção dos drenos pelos sólidos suspensos. Outra alternativa é instalar, dentro do leito de brita, um tubo perfurado feito de policloreto de vinila (PVC) ou polietileno de alta densidade (PEAD). As junções do tubo de brita devem ser cobertas por bidim ou geotêxtil similar, evitando que as perfurações no tubo sejam obstruídas A drenagem do lixiviado é constituída por meio de drenos horizontais com a manta permeável ou brita-rachão, fazendo a canalização dos líquidos e direcionando para fora do maciço, seguindo para os lagos de recebimento. (Monteiro, 2001).

Figura 4 – Preparação do solo com impermeabilizantes.



Fonte: Aterro Sanitário 2017

Figura 5 – Modelos do dreno da base



Fonte: Reichert, 2007.

Outra razão para drenar o lixiviado é evitar que ele cause danos às estruturas do aterro, como a camada de impermeabilização da base. A ausência de um sistema de drenagem de águas pluviais em aterros tem um impacto direto na estabilidade do terreno e aumenta a produção de lixiviado (D' ALMEIDA ,2000).

Os sistemas de drenos de chorume e de gases tem uma importância bem é crucial ter um sistema de drenagem eficiente para capturar e dissipar as pressões. Se a drenagem não for adequada, o líquido lixiviado pode se acumular em determinadas áreas do aterro, assim como os bolsões de gases. É importante lembrar que o biogás tende a subir verticalmente por ser mais leve que o ar, enquanto o lixiviado flui por gravidade, descendo para áreas mais baixas. São imprescindíveis os cuidados para assegurar o funcionamento perfeito do sistema de drenos, pois, se ocorrerem oclusões durante o processo de cobertura a estabilidade do aterro fica prejudicada e a situação tende a piorar à medida que o empreendimento ganha altura (BENVENUTO, 2018).

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

Este estudo teve por finalidade realizar uma pesquisa de natureza básica, uma vez que gera conhecimento, com foco na melhoria das teorias científicas já existentes. Para alcançar os objetivos propostos e melhor apreciação deste trabalho, foi utilizada uma abordagem qualitativa. Na abordagem qualitativa, a coleta de dados ocorre diretamente no ambiente em estudo. O pesquisador estabelece contato direto com o ambiente e o objeto de pesquisa em questão, exigindo um trabalho de campo mais aprofundado. (Gil, 2002).

Para realizar a análise do sistema de drenagem de lixiviado de aterro, foi utilizado um aterro sanitário representativo na cidade de Cariacica, na região metropolitana do estado do Espírito Santo, denominada célula VIII, concebida para disposição final de resíduos classe IIA – não perigosos, principalmente os resíduos sólidos urbanos (RSU). Aterro selecionado com base em critérios como localização geográfica, tamanho, tipo de resíduos depositados e disponibilidade de informações relevantes.

2.2 Estruturas de Aterro e Impermeabilização

Os métodos construtivos para execução da drenagem de lixiviado, começa por uma terraplanagem de base, conforme mostrado na figura 6. São realizadas obras de

regularização do terreno de modo possibilitar a implantação dos sistemas de proteção, além de promover a máxima disposição dos resíduos. A regularização da base tem uma declividade de média de 2,0%, mantendo declive suficiente para o funcionamento adequado do sistema de drenagem de lixiviados, e direcionando o percolato para o reservatório projetado para o armazenamento temporário ou estação de tratamento de efluentes.(AGOSTINI. Ronan Relatório de construção célula de resíduos classe II. Cariacica 2015.)

Figura 6 – Terraplanagem da base do aterro.



Fonte: Acervo próprio.

2.2 Imperbeabilização da Base

O objetivo desse sistema é isolar os resíduos e evitar a penetração do percolato (chorume) no solo, devendo ser aplicado a geomembrana nas regiões de taludes à medida que for aumentando as cotas de disposição. Desta forma, o sistema de impermeabilização é projetado para ser composto por uma camada de 0,60 m de solo compactado com permeabilidade de ordem de 10^{-6} cm/s, seguido por uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) de 1,5 m de espessura, que por sua vez, será recoberta com uma camada de 0,40 m utilizar uma camada de solo compactado como forma de proteção mecânica para a geomembrana, visando prevenir eventuais danos à manta geotêxtil. A norma ABNT NBR 13.896/1997 - Aterros de Resíduos Não Perigosos - estabelece os critérios para o projeto, implantação e operação de aterros sanitários, com o objetivo de reduzir ao mínimo a ocorrência de deslizamentos/vazamentos de resíduos/lixiviados que possam representar riscos à saúde humana ou ao meio ambiente.

2.3 Drenagem e Monitoramento de Lixiviado

O monitoramento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um processo importante para diversos fins, como o monitoramento ambiental, o cumprimento de regulamentações e normas ambientais, o planejamento de sistemas de tratamento de águas residuais, a determinação de cargas poluentes lançadas no meio ambiente, entre outros. Ela permite ter um conhecimento preciso sobre a quantidade desses resíduos gerados, auxiliando na implementação de medidas adequadas para o tratamento, controle e disposição correta dos mesmos, com o objetivo de preservar o meio ambiente e salvaguardar a saúde pública.

Para obtenção dos dados necessários foram utilizadas, a pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo, entre março a maio de 2023. Foram coletadas informações sobre o aterro sanitário em estudo, incluindo a verificação de um novo projeto de drenagem do aterro, histórico de problemas relacionados ao chorume, topografia do local, características dos resíduos depositados e dados hidrológicos disponíveis, essa análise é justificada pela proporcionalidade da quantidade e vazão de lixiviado produzida ser diretamente correlacionada ao tamanho do perímetro de resíduos e quantidade de resíduo depositado diariamente.

Após a impermeabilização são implantadas caixas de coleta desse lixiviado sob o leito impermeabilizado, conforme figura 7, considerados pontos de monitoramento, através desses pontos é possível medir a vazão do chorume, baseado nos estudos e cálculos referentes à quantidade de resíduo acumulado e chuvas, e conferir se ela está próxima do esperado, ou se tem algum entupimento na linha para fazer a desobstrução. Se a vazão der muito abaixo do previsto, significa que em algum ponto do maciço esse chorume está ficando acumulado, e como o passar do tempo ele começa a criar bolsões próximos dos taludes. Caso o problema não seja resolvido pode acontecer o que chamamos de ruptura úmida, que é quando ocorre o deslizamento de aterro por falha da drenagem do lixiviado.

Além disto as amostras coletadas são enviadas para análise em laboratório. Lá, diversos parâmetros são avaliados, como pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais e metais pesados. Essas análises permitem determinar a composição química do lixiviado e avaliar a sua qualidade. Se os resultados indicarem problemas, ações corretivas devem ser implementadas. Isso pode envolver ajustes no sistema de drenagem e tratamento do lixiviado, melhorias nas técnicas de cobertura do aterro, alterações nos processos de

disposição dos resíduos ou outras medidas para controlar a geração e o impacto do lixiviado.

Figura 7 - Dreno de camadas de lixiviados



Fonte: Acervo próprio

2.4 Sistema de Drenagem – Método Construtivo e Manutenção

A drenagem de base de lixiviado foi concebida para ser implantada sobre o sistema de impermeabilização, em contato direto com os resíduos, com espaçamento de 35 m entre si mantendo o declive da base em casa platô de escavação, permitindo o adequado funcionamento dos drenos em malha, direcionando o efluente para estação de tratamento, na figura 8 é possível visualizar a disposição dos drenos de base.

A disposição dos drenos verticais e horizontais, e o diâmetro dos tubos são definidos no projeto executivo, que forma dimensionados para atender a vazão máxima do maciço. Todos os drenos são envoltos por uma camada de transição brita-rachão-brita e geotêxtil não tecido de polipropileno RT16 (É um não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, fabricado sob rigorosos padrões internacionais de qualidade e possui certificado ISO 9001. Suas características são : Elevada resistência química e mecânica, baixa fluência, maior radiação UV, alta

resistência química e biológica a todos os tipos de solo. Com exceção do dreno central, que deverá ser envolto por geotêxtil RT31 (Tem as mesmas especificações do RT16, única diferença que, o RT31 tem as propriedades mecânicas mais elevadas, já suas propriedades hidráulicas e físicas são menores que o RT16). É utilizado com o propósito de proteger o dreno durante a fase de instalação e deverá ser "aberto" durante a fase de operação, a fim de evitar a colmatação pelo lixiviado. Os drenos de camadas serão aqueles implantados no término de cada camada de aterro, distanciados verticalmente a cada 5,0 metros, em trincheiras escavadas nos resíduos, na profundidade de 1,00 m, com abertura de 0,80 m x 0,80 m, preenchidas com rachão ou brita quatro.

Figura 8 - Sistema de drenagem da base de lixiviados.



Fonte: Acervo próprio

Mesmo com um bom projeto e execução de drenagem, o chorume pode conter uma mistura complexa de substâncias orgânicas, metais pesados, nutrientes e microrganismos patogênicos. Alguns desses elementos podem levar à formação de depósitos sólidos ou incrustações nas tubulações, reduzindo o fluxo e obstruindo a rede de drenagem. Portanto, é necessário desenvolver estratégias eficientes de tratamento e monitoramento do chorume para minimizar esses problemas.

É importante realizar inspeções regulares nas redes de drenagem para identificar possíveis problemas, como obstruções, vazamentos ou danos nas tubulações. Essas inspeções podem ser visuais ou feitas com o auxílio de equipamentos como câmeras de vídeo para alcançar áreas de difícil acesso. Caso sejam identificadas obstruções nas tubulações, é necessário removê-las para restaurar o fluxo adequado do lixiviado. Isso pode envolver o uso de equipamentos de desobstrução, como jatos

de água de alta pressão, ou até mesmo a substituição de trechos danificados da tubulação.

Periodicamente, é recomendado realizar a limpeza das tubulações para remover sedimentos, resíduos acumulados e incrustações que possam reduzir a capacidade de escoamento do lixiviado. Essa limpeza pode ser realizada utilizando métodos como a lavagem com água de alta pressão ou o uso de equipamentos de sucção a vácuo. Caso sejam encontrados danos significativos nas tubulações, é necessário realizar os reparos ou substituições necessárias. Isso pode envolver a substituição de trechos danificados, conexões defeituosas ou até mesmo a instalação de novas tubulações, se necessário.

Após a manutenção e limpeza das redes de drenagem, é importante continuar monitorando o sistema de forma regular. Isso pode incluir a verificação do fluxo de lixiviado, o monitoramento de níveis de líquido em poços de monitoramento e a avaliação dos resultados de análises laboratoriais para garantir que o sistema esteja funcionando corretamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A gestão adequada de lixiviado é um desafio crucial enfrentado pelos aterros sanitários em todo o mundo. O lixiviado é o líquido resultante da decomposição dos resíduos depositados no aterro e pode conter uma variedade de substâncias tóxicas e poluentes. Neste artigo, realizamos uma análise detalhada do sistema de drenagem de lixiviado de aterro, com o objetivo de identificar as principais questões relacionadas ao seu funcionamento e explorar possíveis soluções.

Para realizar essa análise, foram considerados vários aspectos do sistema de drenagem de lixiviado, incluindo o projeto e a instalação dos sistemas de coleta, a eficiência das redes de drenagem, o monitoramento e o tratamento do lixiviado. Foram coletados dados de aterros sanitários da unidade de tratamento situada no município de Cariacica/ES. Mediante essa análise pode-se destacar alguns pontos relevantes como: O Projeto e instalação do sistema de coleta: onde verificou-se que uma das principais questões relacionadas ao sistema de drenagem de lixiviado é a qualidade do projeto e da instalação dos sistemas de coleta. Muitos aterros enfrentam problemas devido a erros no dimensionamento das tubulações, falta de manutenção adequada e uso de materiais de baixa qualidade. Essas falhas resultam em vazamentos, obstruções e redução da eficiência do sistema de coleta. A coleta de chorume em

aterros sanitários é um dos aspectos fundamentais do gerenciamento adequado de resíduos sólidos. O chorume é um líquido altamente poluente e perigoso, portanto, projetar e instalar um sistema eficiente de coleta de chorume é um desafio significativo que requer cuidadosa consideração e planejamento (BERTAZZOLI; PELEGRINI, 2002).

Um dos principais desafios enfrentados durante o projeto e a instalação do sistema de coleta de chorume é lidar com a complexidade e a variabilidade do próprio líquido. O chorume é uma mistura altamente heterogênea, composta por uma variedade de substâncias tóxicas, incluindo metais pesados, compostos orgânicos voláteis e patógenos. Por isto, é essencial projetar um sistema capaz de lidar com essa diversidade de contaminantes e garantir que o chorume seja coletado e tratado de forma adequada.

Outro desafio importante é a localização e a topografia do aterro sanitário. Muitos aterros estão localizados em áreas geograficamente desafiadoras, como encostas íngremes ou regiões com elevado lençol freático. Isso pode dificultar a instalação de sistemas de coleta de chorume, exigindo a utilização de tecnologias especiais, como bombas de sucção ou sistemas de drenagem subterrânea. Além disso, a instalação de tubulações e coletores em terrenos acidentados requer um planejamento cuidadoso para evitar vazamentos e garantir a eficiência do sistema.

Eficiência das redes de drenagem: A análise revelou que a eficiência das redes de drenagem de lixiviado varia consideravelmente entre os aterros. Alguns aterros possuem sistemas de drenagem bem planejados e executados, com redes de tubulação adequadas, sistemas de bombeamento eficientes e dispositivos de controle de fluxo. No entanto, em muitos casos, podem ocorrer problemas como acúmulo de sedimentos nas tubulações, falta de manutenção regular e deficiências no controle do fluxo, resultando em sobrecarga do sistema (MDR, 2008). As redes de drenagem de chorume em aterros sanitários desempenham um papel fundamental na gestão adequada de resíduos sólidos, para evitar a contaminação do solo, das águas subterrâneas e dos corpos d'água próximos, é essencial garantir a eficiência dessas redes de drenagem (Yao et al., 2019).

No entanto, existem vários desafios associados à eficiência das redes de drenagem de chorume. Um dos principais desafios é a quantidade e a composição variável do chorume gerado nos aterros sanitários. A quantidade de chorume

produzido pode variar dependendo da quantidade e do tipo de resíduos depositados, das condições climáticas e das práticas de gestão do aterro. Essa variabilidade torna difícil dimensionar corretamente as redes de drenagem e garantir que sejam capazes de lidar com o volume de chorume produzido.

Além disso, a composição química do chorume também varia, o que pode afetar a eficiência das redes de drenagem. O chorume pode conter uma mistura complexa de substâncias orgânicas, metais pesados, nutrientes e microrganismos patogênicos. Alguns desses elementos podem levar à formação de depósitos sólidos ou incrustações nas tubulações, reduzindo o fluxo e obstruindo a rede de drenagem. Portanto, é necessário desenvolver estratégias eficientes de tratamento e monitoramento do chorume para minimizar esses problemas.

A manutenção adequada das redes de drenagem, que é essencial para garantir sua eficiência e longevidade é também uma adversidade. Os coletores, tubulações e bombas utilizados na coleta do chorume estão sujeitos a desgaste e obstruções ao longo do tempo devido à presença de sólidos e substâncias corrosivas. Portanto, é fundamental implementar um plano de manutenção regular, incluindo inspeções periódicas, limpeza e substituição de equipamentos desgastados.

Além dos desafios técnicos, também existem desafios relacionados à gestão e monitoramento adequados das redes de drenagem. É essencial ter sistemas de monitoramento contínuo que permitam detectar e responder rapidamente a vazamentos, obstruções ou outros problemas nas redes de drenagem. Além disso, é necessário implementar medidas de controle de qualidade para garantir que o chorume seja tratado adequadamente antes de ser descartado ou reutilizado.

A análise destacou a importância do monitoramento contínuo do lixiviado, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade. Muitos aterros não possuem sistemas de monitoramento adequados ou não realizam monitoramento regular, o que dificulta a identificação precoce de problemas e a implementação de medidas corretivas. Além disso, foi observado que o tratamento do lixiviado também é um desafio, com a necessidade de métodos eficientes de tratamento para minimizar o impacto ambiental.

A gestão adequada do chorume também é um desafio crítico. O chorume não pode ser descartado de forma direta no meio ambiente, pois representa um risco significativo para a qualidade da água e a saúde humana. Portanto, é necessário implementar um sistema de tratamento adequado que possa remover ou reduzir os

contaminantes presentes no líquido antes de sua disposição final. O tratamento do chorume pode envolver processos físico-químicos, biológicos ou uma combinação de ambos, dependendo das características específicas do líquido e dos regulamentos ambientais locais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, a análise do sistema de drenagem de lixiviado de aterro revelou uma série de desafios e oportunidades para a gestão eficiente desse efluente. É essencial que os projetos de aterros sanitários considerem cuidadosamente o dimensionamento e a instalação dos sistemas de coleta, bem como a implementação de redes de drenagem adequadas e sistemas de monitoramento contínuo. Além disso, o tratamento adequado do lixiviado é fundamental para minimizar os impactos ambientais negativos. Essa análise destaca a importância de abordar de forma abrangente o sistema de drenagem de lixiviado de aterro, com o objetivo de garantir a sustentabilidade e a eficiência das operações de aterros sanitários.

Para enfrentar esses desafios, é importante investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de tratamento de chorume mais eficientes, duráveis e sustentáveis. Além disso, é fundamental capacitar os profissionais envolvidos na operação e manutenção das redes de drenagem, fornecendo treinamento adequado sobre as melhores práticas de gestão de chorume.

É importante ressaltar que a implementação de um sistema eficiente de coleta de chorume em aterros sanitários requer uma abordagem multidisciplinar. Engenheiros, geotécnicos, hidrogeólogos e especialistas em tratamento de água e resíduos devem trabalhar em conjunto para enfrentar os desafios técnicos e regulatórios associados a esse tipo de projeto. Além disso, a colaboração entre os órgãos reguladores, as autoridades locais e as empresas responsáveis pela gestão dos aterros são fundamentais para garantir o cumprimento das normas ambientais e a proteção da saúde pública.

Em resumo, a drenagem de lixiviados desempenha um papel fundamental na gestão de resíduos sólidos e na proteção do meio ambiente. Investir em pesquisas, conscientização pública e regulamentações mais rígidas pode melhorar ainda mais essa prática e promover uma gestão sustentável de resíduos. Outro aspecto a ser considerado é a adoção de políticas governamentais mais rigorosas e regulamentações ambientais que exijam a implementação de sistemas de drenagem

de lixiviados em todos os aterros sanitários. Isso ajudaria a padronizar as práticas de gerenciamento de resíduos e a garantir a proteção ambiental em todas as áreas, assim como, investir em pesquisas e desenvolvimento de técnicas mais eficientes e sustentáveis para o tratamento de lixiviados.

5. REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. **NBR 8419**, 1984.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. **NBR 8849**, 1985.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT). Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. **NBR 15849**.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Resíduos Sólidos: classificação, **NBR 10.004**. Rio de Janeiro, 1987.

ABRELPE, **Panorama de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil 2018/2019/2021/2022**. <https://abrelpe.org.br>

ADMIN. **Geração de resíduos sólidos no Brasil chega a 82,5 milhões ton/ano**. Disponível em: <<https://rmai.com.br/2022/08/30/panorama-dos-residuos-solidos-brasil-geracao-de-residuos-chega-a-825-milhoes-ton-ano-no-brasil-e-aumenta-4-com-brasileiro-em-casa-durante-a-pandemia-da-covid-19/#:~:text=O%20aumento%20expressivo%20na%20gera%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BERTAZZOLI, R.; PELEGRINI, R. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo foto eletroquímico. **Química Nova**, v. 25, p. 470-476, 2002.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade e POVINELLI, Jurandyr. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP. 1999. Acesso em: 08 jun. 2023.

CAPELO NETO, J., & CASTRO, M. A. H. de. Simulação e avaliação do desempenho hidrológico da drenagem horizontal de percolado em aterro sanitário. **Engenharia Sanitaria E Ambiental**, 10(3), 229–235, 2005.

CHRISTENSEN, T. H. L., P. KJELDSEN, P. L. NJERG, D. L.JENSEN, J. B. CHRISTENSEN, A. BAUN, H. ALBRECHSTEN & G. HERON, 2001. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry** 16(7-8): 659-718.

COUTINHO, Marcela Luz. **REVISÃO DA LITERATURA: FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, IMPACTOS EM ATERROS SANITÁRIOS E COMPOSTAGEM COMO SOLUÇÃO**. Juiz de Fora/MG. (2020). 98p.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero, VILHENA, André. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

DECRETO Nº 11.043, DE 13 DE ABRIL DE 2022. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D11043.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2011.043%2C%20DE%2013>. Acesso em: 10 jun. 2023.

Decretonº 10.936 -D10936. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2010.936%2C%20DE%2012>.

ELK, A. G. H. P. Van. **Redução de emissões na disposição final**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

FERREIRA, M.A.S. Aplicação de modelos de avaliação qualitativa e quantitativa dos percolados gerados em um aterro sanitário. **Dissertação de Mestrado**. COPPE/UFRJ, 2006.

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed. Atlas, São Paulo, Brasil, 2002.

Guo, X., Liu, H., Wu, S. **Humic substances developed during organic waste 375 composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions**. *Sci. Total Environ.*, 662, 501, 2019.

HOU, D.; GUTHRIE, P.; RIGBYET, M. Assessing the trend in sustainable remediation: A questionnaire survey of remediation professionals in various countries. **Journal of Environmental Management**, v. 184, p. 18–26, 2016

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2018. 4ª edição. 316p.

IWAI, Cristiano Kenji. **Tratamento de chorume através de percolação em solos empregados como material de cobertura de aterros para resíduos sólidos urbanos**. 2005. 205p.

KIRKBRIDE-SMITH, A. E.; WHEELER, P. M.; JOHNSON, M. L. Artificial reefs and marine protected areas: a study in willingness to pay to access. Folkstone Marine Reserve, Barbados, West Indies. **Peer Journal**, v. 4, 2016.

KJELDEN P.I.; BARLAZ, M.A; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.32, p.297-336, 2002.

KURNIAWAN, T.A.; WAIHUNG, L.O.; SILLANPAABC, M.E.T. Critical Review Biological processes for treatment of landfill leachate. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 12, p. 2032-2047, 2010.

LANZA, V. C. V. **Caderno Técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos** / Vera Cristiana Vaz Lanza. – Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009.

LI, Shuo et al. Advanced oxidation process based on hydroxyl and sulfate radicals to degrade refractory organic pollutants in landfill leachate. **Chemosphere**, [S.L.], v. 97, p. 134214, jun. 2022.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterro Sanitário**. Belo Horizonte: ReCESA, 2008, 120p.

MONTEIRO, J.H.P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

Puentes, Beatriz, 27/10/2022. <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/cerca-de-40-dos-residuos-gerados-por-ano-no-brasil-vaio-para-lixoes-a-ceu-aberto/#:~:text=Entre%202010%20e%202019%20a,%C3%A9%20a%20realidade%20do%20pa%C3%ADs>.

REICHERT, G. A. **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Manual 2007**. 117 p. Disponível em: <<http://documentslide.com/documents/manual-aterro-sanitario2007-geraldo-reichertpdf.html>>. Acesso em: 15 set. 2018.

REINHART, D. R.; GROSH, C. J. **Analysis of Florida MSW landfill leachate quality**. University of Central Florida, 1998.

SEGATO, L. M.; SILVA, L. C. Caracterização do Chorume de Aterro Sanitário de Bauru. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. P. 9. 2000.

SOUTO, G.B.; POVINELLI, J. Características de lixiviados de aterros sanitários no Brasil. In: **24º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**, de 2 a 7 de setembro de 2007, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.

TANDEL, R. Y. Contribuição ao estudo da poluição provocada no aquífero freático e no solo pelo aterro controlado da cidade de Rio Claro, SP. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. 1998.

YAO, J.; KONG, Q.; QIU, Z.; CHEN, L.; SHEN, D. Patterns of heavy metal immobilization by MSW during the landfill process. **Chemical Engineering Journal**, v. 375, 2019.

ZHANG, C.; LIU, J.; YANG, X.; CAO, W.; QIANA, G. Degradation of refractory organics in biotreated landfill leachate using high voltage pulsed discharge combined with TiO₂. **Journal of Hazardous Materials**, v. 326, p. 221-228, 2017.