Submissão: 22/05//2024
Publicação: 18/12/2024
DOI:

# TÉCNICAS DE LOGÍSTICA REVERSA DO CHORUME DE ATERRO SANITÁRIO COMO MEDIDA DE CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO E IMPACTO A SAÚDE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

# REVERSE LOGISTICS TECHNIQUES FOR LANDFILL LEACHATE AS A MEASURE OF CONTAMINATION CONTROL AND HEALTH IMPACT: A LITERATURE REVIEW

Emily Gonçalves Santos Bezerra[1]
Márcia Clara Pilatti[2]
Gabriela Medeiros[3]

**Resumo:** A destinação inapropriada dos resíduos sólidos em lixões vem, por anos, afetando a qualidade ambiental e a saúde humana. Descartar resíduos de maneira inadequada resulta na contaminação do solo, dos recursos hídricos e do ar. Além disso, favorece a atividade informal de catadores de lixo sem medidas de segurança adequadas e também contribui com a disseminação de doenças. Como alternativa para tais situações, a inserção de aterros sanitários auxilia na manutenção do meio ambiente, melhora a qualidade de vida e traz ainda a possibilidade de produção energética através do aproveitamento do biogás. Considerando a importância da preservação dos recursos ambientais e a prioridade em destinar água potável para o consumo humano e dessedentação de animais, o chorume tratado e direcionado para bioenergia, pode ser uma alternativa para descentralização da produção energética das hidrelétricas, preservando a água e dando suporte ao abastecimento elétrico. Com o objetivo de incentivar o controle ambiental, oferecendo saúde e alternativas as fontes de energias renováveis, este trabalho irá demonstrar por meio da pesquisa de revisão da literatura os malefícios do chorume dos lixões e como solucioná-los por meio da captação e tratamento em aterros sanitários.

**Palavra-chave:** Saneamento Básico. Líquidos percolados. Sustentabilidade. Energia Renovável.

**Abstract:** The inappropriate disposal of solid waste in dumps has been affecting environmental quality and human health for years. Improper waste disposal results in the contamination of soil, water and air. It also encourages the informal activity of waste pickers without adequate safety measures and contributes to the spread of disease. As an alternative to these situations, the introduction of sanitary landfills helps to maintain the environment, improves quality of life and also offers the possibility of

[1] Graduanda em Biomedicina do Centro Universitário Univel.

[2] Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Ambiental – Unioeste.

[3] Doutora em Engenharia Agrícola pela Unioeste-PR e professora de Centro Universitário Univel.

energy production through the use of biogas. Considering the importance of preserving environmental resources and the priority of allocating drinking water for human consumption and animal watering, treated manure used for bioenergy could be an alternative for decentralizing energy production at hydroelectric plants, preserving water and supporting electricity supply. With the aim of encouraging environmental control, offering health and alternatives to renewable energy sources, this work will demonstrate, through a literature review, the harmful effects of leachate from rubbish dumps and how to solve them by capturing and treating it in landfills.

**Keywords:** Basic sanitation. Percolated liquids. Renewable energy. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado da humanidade, as quantidades de resíduos sólidos urbanos (RSU) aumentaram de forma insustentável (Kemerich et al., 2014). Como alternativa ao acúmulo destes resíduos, fez-se o uso de espaços sem infraestrutura, a céu aberto e afastados da comunidade para a realização deste descarte, negligenciando a necessidade do tratamento dos rejeitos, o que caracteriza como lixão (Soares, 2014). No Brasil, 39% do total de resíduos coletados (29,7 milhões de toneladas) é direcionado a áreas de disposição inadequada, incluindo lixões e aterros controlados (Abrelpe, 2022). No entanto, ao utilizarem deste método, a saúde pública e a qualidade ambiental são colocadas em risco (Freire, 2019).

O descarte excessivo de rejeitos em lixões condiciona ambientes favoráveis ao crescimento e propagação de vetores que, ao entrar em contato com o ser humano, podem transmitir doenças como, dengue, leptospirose, febre amarela, entre outros (Pereira, 2009; Mello, 2009; Leal, 2016). Além disto, o acúmulo de materiais recicláveis neste ambiente incentiva o trabalho informal realizado pelos catadores, expondo-os aos riscos à saúde (Cardoso, 2016). O Movimento Nacional dos Catadores (MNCR) informa que até o ano de 2021 existiam cerca de 800 mil catadores no Brasil, ressaltando a importância com a segurança do trabalho (MNCR, 2021).

O descarte do lixo no meio ambiente reflete em alta demanda financeira para o tratamento dos efeitos negativos à saúde humana (Abrelpe, 2022). No Brasil, os valores utilizados para custear tais tratamentos entre os anos de 2016 e 2021, foram de 1,85 biliões de dólares (Abrelpe, 2022). A presença da matéria orgânica, do lixo a céu aberto, em contato com a água da chuva proporciona a geração de líquidos percolados (chorume) (Souza et al., 2015). O descarte inadequado de produtos eletrônicos, junto com o resíduo orgânico, impede o tratamento adequado do material, deixando-o propício a eliminação de substâncias tóxicas, contaminando o local com metais pesados através do chorume (Vianna, 2015).

Este líquido pode ser altamente concentrado em metais pesados, microrganismos, e outros subprodutos que, ao entrar em contato com o solo, o contamina, podendo atingir também os lençóis freáticos e expandir a contaminação para a água (Leal, 2016). A contaminação por chorume a médio e longo prazo, causa ao ser humano o acúmulo de metais pesados no organismo. Essa bioacumulação é prejudicial para o corpo uma vez que pode causar doenças crônicas, afetar órgãos reprodutores e principalmente o Sistema Nervoso Central e Periférico (Rocha, 2015; Azevedo, 2015).

O chorume sem tratamento libera gases considerados tóxicos; essa produção é altamente prejudicial para a atmosfera e a saúde humana. As concentrações de dióxido de carbono ($CO_2$), enxofre (S), nitrogênio (N), ácido sulfídrico ($H_2S$), metano

($CH_4$) entre outros gases liberados pela decomposição ou até mesmo pela incineração do lixo, contribui ao aumento do efeito estufa. Além disso, podem ser responsáveis por problemas respiratórios dos catadores e dos moradores próximos do local do despejo (Silva, 2020).

A emissão de gases tóxicos pode ainda influenciar na chuva ácida, causando problemas ao solo, à vegetação e à saúde humana. Os gases, ao serem liberados na atmosfera, reagem com outros compostos presentes capazes de gerar ácidos prejudiciais que interferem na qualidade da fauna, flora e de edificações (Vianna, 2015; Silva et al., 2014).

Apesar de existir outras formas para incentivar a redução dos RSU (compostagem orgânica, reciclagem e coleta seletiva etc.), ainda não é suficiente para solucionar a problemática da destinação. Comparando os impactos do lixão, aterro controlado e o aterro sanitário, o último representa a melhor opção, uma vez que permite o controle ambiental e a obtenção de bioenergia (Leite et al., 2021).

Em um aterro controlado, ao final de cada jornada, o lixo é coberto por uma camada de terra, porém ainda ocorre a contaminação do solo e consequentemente dos corpos d'água ao redor e dos aquíferos subterrâneos. Já em um aterro sanitário, além da impermeabilização do solo, é possível o controle e tratamento de gases tóxicos e do chorume (Zveibil, 2001; Lanza; Carvalho, 2006; Rosa et al., 2017).

O biogás gerado no aterro sanitário durante o processo de decomposição da matéria orgânica, pode auxiliar no racionamento das fontes de energia disponíveis (Soares, 2014). A variabilidade energética resulta na minimização da utilização de fontes não renováveis. Os dados apresentados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) indicam evolução de 3,7% (41,0% - 44,7%) entre 2000 e 2021 na utilização de energia renovável. Mesmo com a evolução apresentada, em 2021 o Brasil ainda apresentava o percentual de 55,3% na utilização de energia não renovável (EPE, 2022).

A descentralização energética pode proporcionar autonomia aos municípios. Mesmo sendo em pequena escala, a oferta de energia de uma fonte mais próxima melhora a qualidade do produto e traz satisfação a comunidade (Lucinda, 2015). Lucinda (2015), ainda destaca que o planejamento otimizado proporciona benefícios a concessionária, ao consumidor e ao sistema interligado.

Havendo várias fontes de energia e sendo a hidráulica mais utilizada para o abastecimento elétrico, há uma necessidade em incentivar a utilização de outras formas de energia limpa. De acordo com a Agência Internacional de Eletricidade (IEA), mesmo com o aumento da capacidade, a produção pela hidrelétrica caiu em 2021 devido à escassez hídrica. A urgência em suprir a demanda elétrica acaba levando a utilização de fontes não renováveis (IEA, 2022).

Considerando as crises hídricas vivenciadas nos últimos anos, torna-se viável a utilização do biogás e de outros recursos para a produção de bioenergia. De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n°9.433/97), em situações emergenciais, a prioridade será para o consumo humano e dos animais; sendo assim, em tempos de estiagem, a bioenergia poderá ser utilizada como auxílio ao abastecimento energético no país, permitindo que os recursos hídricos sejam destinados às situações previstas pela Lei (Bermann, 2015; Galvão, 2015).

O gás produzido a partir da digestão anaeróbica da biomassa (biogás) é formado majoritariamente pelo gás metano e apresenta capacidade energética proporcional a quantidade presente no composto, sendo de 40% a 50% e a quantidade de energia interna pode chegar até 12000 kcal/$m^3$ (Gehm, 2016). Além do uso como fonte de energia elétrica, o biogás produzido em aterros sanitários pode ainda ser

disponibilizado para o uso veicular, iluminação a gás, energia térmica e entre outros (Manual para aproveitamento de Biogás, 2009; Montagna, 2013). Além do biogás, outros métodos também podem ser utilizados para a produção de bioenergia. Estudos realizados, mostraram resultados produtivos para a produção energética utilizando bio-hidrogênio e Células de combustível Microbianas (MFC) (Gu et al., 2019).

Pensando nos riscos causados pelo manejo inadequado dos rejeitos sólidos, em 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A Lei 12305/10, além de caracterizar quais os objetivos e as obrigações do Estado a respeito da disposição final, determina a elaboração e implementação da gestão de resíduos, visando substituir os lixões pelos aterros sanitários até o ano de 2024, de acordo com a quantidade populacional de cada município (Brasil, 2010).

Sendo assim, visto a urgência para buscar alternativas para melhorar a saúde humana e ambiental, alcançando tratamentos que forneçam segurança aos catadores e consequentemente atinja a descentralização elétrica, faz-se necessário estudos que realizem o levantamento e sintetização da bibliografia disponível acerca da disposição, tratamento e aproveitamento dos resíduos para produção energética.

Diante disso, o objetivo deste estudo é realizar um levantamento bibliográfico exploratório com o objetivo de analisar os benefícios proporcionados pela implantação de aterros sanitários, visando o aproveitamento econômico, bem como a redução e eliminação dos impactos da disposição inadequada de resíduos sólidos. Objetiva também analisar os impactos ambientais e à saúde humana causados pela destinação incorreta de resíduos sólidos; avaliar os benefícios da implantação de aterros sanitários no Brasil; analisar a necessidade de descentralização energética no Brasil e identificar os benefícios do uso da energia proveniente do tratamento do chorume.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo baseou-se em pesquisa bibliográfica, com base nos procedimentos técnicos utilizados, e pesquisa exploratória com base nos objetivos aqui apresentados. Para tanto, foram analisados documentos e revisados na literatura, utilizando-se arquivos publicados nos últimos 10 anos, nos idiomas português e inglês. As bases de dados United States National Library of Medicine (PubMed), Scientific Electronic Library Online (SciELO), Web of Science e Google Acadêmico foram utilizadas para a busca dos periódicos. As palavras-chave utilizadas para a busca nos arquivos foram: Aterro, Lixões, Biogás, Bioenergia, Líquidos percolados, Impactos ambientais e Riscos à saúde. Os critérios de escolha do material estudado foram o tempo de publicação, a relevância do texto para o tema em questão e a fundamentação teórica.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Baseando-se na necessidade de gerenciar os resíduos sólidos (RS), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classificou através da NBR 1004/2004 como resíduos urbanos àqueles que são “provenientes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e varrição” (ABNT, 2004). Além destas definições, são classificados de acordo com os riscos à

saúde humana e ao meio ambiente, sendo: perigosos, não perigosos, inertes e não inertes (ABNT, 2004).

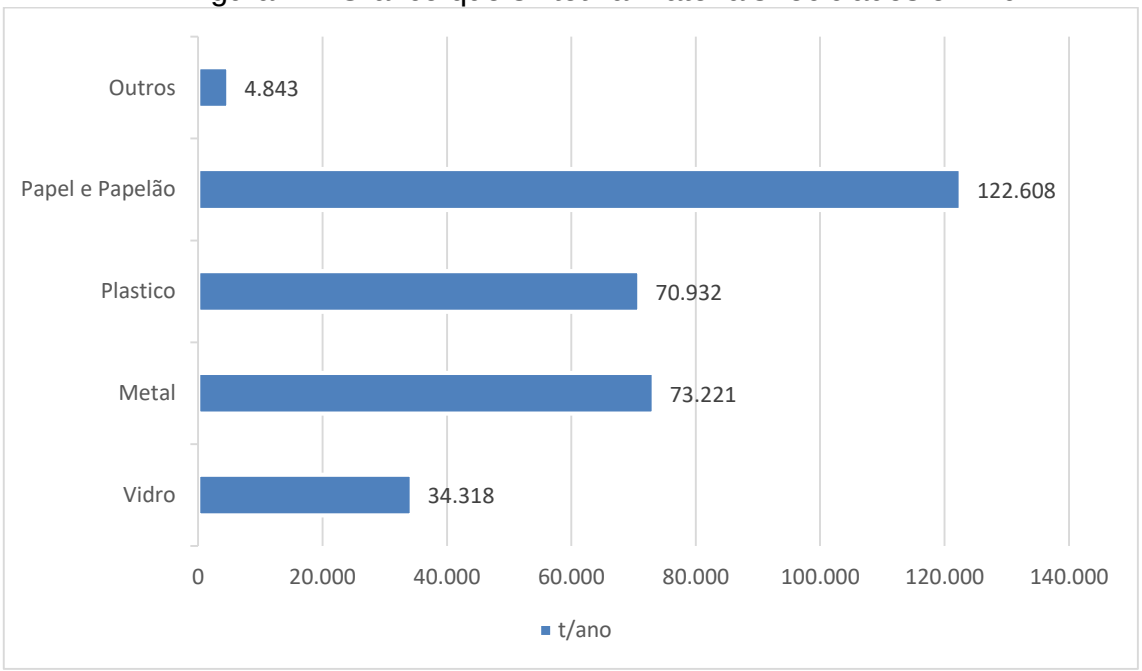
A fim de auxiliar o entendimento sobre os resíduos sólidos, foi definido através da Resolução CONAMA n° 05 de 05/08/1993, a divisão em grupos A, B, C e D, distribuídos em riscos biológicos, químicos, radioativos e em resíduos comuns, atribuindo as responsabilidades aos geradores.

Com o objetivo de facilitar a separação e coleta seletiva, o grupo de resíduos comuns foi dividido em cinco subclasses através do código de cores (CONAMA, 275/2001). A RDC 306/2004, separa os materiais em: I – Azul (Papéis), II – Amarelo (Metais), III – Verde (Vidros), IV – Vermelho (Plásticos) e V – Marrom (Resíduos Orgânicos).

A utilização dos códigos auxilia no processo de separação de materiais reutilizáveis dos rejeitos que serão destinados ao aterro sanitário, diminuído a quantidade final de resíduos enviados. Desta forma, facilita o manejo e transporte e atua na destinação ambientalmente correta (Leite, 2016). Além disso, o código de cores pode ainda ser aplicado no sistema de logística reversa regulamentado pelo Decreto Federal n° 10.936/2022.

Por meio deste sistema é possível agilizar o encaminhamento aos setores empresariais e realizar o reaproveitamento dos materiais recicláveis. De acordo com a Abelpre (2022), no ano de 2022 foi possível recuperar 305.922 t/ano de materiais recicláveis (Figura 1), sendo: 11,2% em vidro, 23,9% em metal, 23,2% em plásticos, 40,1% em papel e papelão e 1,6% em outros materiais.

Figura 1 – Gráfico que sintetiza materiais reciclados em 2022




Fonte: ALBREPE (2021).

Além das diretrizes a respeito dos RSU (resíduos sólidos urbanos) no Brasil, outros países também demonstram preocupação com a gestão dos RS. A União Europeia (UE) através da legislação Waste Framework Directive (WFD, 2008/98/EC) revisada em 2008, destaca os RSU como recursos valiosos, inserindo-os em uma hierarquia de cinco níveis, priorizando a prevenção, reutilização, reciclagem,

valorização e por fim a disposição final em aterros sanitários como último recurso a ser utilizado (S. Astals et al., 2013).

A prevenção poderá ocorrer por meio da utilização de tecnologias que visam a redução do uso de recursos. Através da reutilização, é possível prolongar a vida útil do produto. Desta forma, além de garantir a durabilidade, irá desestimular a compra de itens descartáveis (S. Astals et al., 2013).

Quanto a reciclagem, podemos destacar novas finalidades tanto para resíduos secos quanto para os resíduos úmidos. Os compostos orgânicos poderão ser reaproveitados por meio das técnicas de compostagem, transformando a matéria orgânica em fertilizantes, melhorando a qualidade do solo (S. Astals et al., 2013).

As opções de valorização dos RSU apresentadas pela WFD (2008/98//EC) inclui processos de transformação em energia, destacando a capacidade energética dos materiais. No entanto, caso os resíduos sólidos não se encaixem mais a nenhum dos processos apresentados, serão então depositados em aterros sanitários, adequando-os a outras funcionalidades e garantindo o tratamento correto.

## 3.2 IMPACTOS NA SAÚDE

Os impactos causados pela liberação dos líquidos percolados ao ambiente podem provocar uma série de danos a qualidade de vida humana e ambiental (Fernandes et al., 2012). O manejo inadequado dos resíduos sólidos oferece riscos à população que reside próximo aos locais utilizados para o descarte de rejeitos, sendo favoráveis a propagação de animais que eventualmente poderão se tornar vetores de doenças (Fernandes et al., 2012).

Estudos realizados com catadores de lixo apontaram vários problemas de saúde relacionados ao trabalho informal. Dentre os efeitos adversos, havia principalmente distúrbios respiratórios, dérmicos, gastrointestinais, musculoesqueléticos e psicológicos (Zolnikov et al., 2018). A falta de percepção sobre os riscos a que estão expostos ou até mesmo de condições para procurar uma unidade de atendimento agrava o estado de saúde, tornando-os vulneráveis aos meios de contágio (Zolnikov et al., 2018).

A suscetibilidade aos problemas de saúde ocasionados pelo contato com o lixo se dá por dois modos: exposição direta, onde o indivíduo teve contato com o material contaminado e através da exposição indireta, ocorrendo por meio de veículos disseminadores de doenças (Franco; Cavalcante, 2007; Coimbra, 2013). Franco e Cavalcante (2007) ainda relatam que as exposições podem ocorrer por três vias, sendo: alimentar, ambiental e ocupacional.

O descarte de resíduos orgânicos em lixões, por sua vez, atrai animais que ao ingerir e entrar em contato com outros membros da cadeia alimentar, repassam microrganismos patogênicos, como: parasitas, vírus, bactérias ou fungos. Esse contato pode levar a surtos, tornando-se um fator preocupante à saúde mundial (Franco; Cavalcante, 2007; Coimbra, 2013).

A ausência de equipamentos de proteção individual (EPI’s) prejudica a saúde ocupacional. Os agentes físicos, químicos e biológicos encontrados neste ambiente são capazes de interferir no bem-estar dos catadores expondo-os a inalação de gases tóxicos, ferimentos com objetos perfurocortantes, contaminação com patógenos e entre outros (Franco; Cavalcante, 2007).

Segundo a OMS, aproximadamente um quarto das doenças em humanos são ocasionadas pela exposição de crianças ao lixo no meio ambiente, manifestando-se durante a fase adulta. O estresse oxidativo atribuído ao contato com metais pesados

presente no ar pode ocasionar danos celulares, interferindo na produção de lipídeos, proteínas, síntese de RNA e DNA. Estudos realizados com crianças em Matuail, Bangladesh demonstraram alterações nos componentes celulares, indicando elevação nos níveis séricos (Lahiry et al., 2011).

A decomposição de matéria orgânica juntamente com os resíduos eletrônicos, resulta em impactos ambientais. Os gases gerados pelos microrganismos agravam o efeito estufa e retornam ao ambiente por meio de chuvas ácidas, alterando o pH do solo. Além disso, o líquido gerado neste processo é absorvido pela terra e causa a contaminação dos lençóis freáticos, estendendo-se a corpos d'água próximos e levando os moradores ao contágio por utilizarem para consumo próprio (Coimbra, 2013).

Alguns dos gases liberados na decomposição são altamente inflamáveis. A presença desses compostos facilita a combustão do lixo, instigando a incineração acidental ou até mesmo proposital (Pereira et al., 2017). Durante os anos de 2016 e 2017, por consequência da queima destes resíduos, houve um aumento de problemas respiratórios em moradores próximos aos lixões (Pereira et al., 2017).

Além dos problemas causados pelas partículas tóxicas dispersas no ar, outro risco encontrado é a reprodução de insetos que podem causar doenças em humanos e animais. Em seu trabalho, Qasin e colaboradores (2020) destacaram a preocupação com a reprodução de vetores como Aedes aegypti em água parada e a reprodução de baratas devido a quantidade de matéria orgânica disponível para a alimentação.

No Brasil, mesmo havendo o direcionamento financeiro ao Sistema Único de Saúde (SUS) para o tratamento das doenças ocasionadas por esses ambientes, ainda não é o suficiente para a alta demanda de pacientes; a Organização Mundial de Saúde (OMS) ressaltou que os custos para a prevenção seriam menores quando comparados aos dos tratamentos, podendo destinar as verbas para outros procedimentos voltados a melhorias a saúde (Stockmann, 2014).

De acordo com Conde e colaboradores (2014) não há como evitar a geração desses resíduos, sendo necessário então o condicionamento desses rejeitos em locais próprios para o tratamento e aproveitamento. Para isso, torna-se essencial a coleta seletiva e a destinação do lixo para o aterro sanitário.

## 3.3 DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, implementada pela Lei nº 12.305/10 (Brasil, 2010), visa regulamentar a gestão dos resíduos sólidos no país. Estabelece diretrizes para responsabilidade compartilhada entre a sociedade, o setor público e o setor privado no sistema de logística reversa (Mathias, 2021). A política enfatiza a importância do descarte adequado de resíduos, incluindo a redução, reutilização e reciclagem, bem como a implementação de aterros sanitários (Alves *et al*., 2021).

Sabendo os tipos de disposição final para os RSU entende-se que o aterro sanitário é o mais adequado. Por isso, foi criado o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). O Plansb foi constituído em cima de quatro componentes, dentre eles, destacando a coleta de lixo e o manejo de resíduos sólidos (GOV. BR, 2022). Esse plano é composto por 29 metas, das quais 08 são relacionadas aos resíduos sólidos; o período de ação é de 20 anos, iniciando em 2014 e finalizando em 2033 (GOV.BR, 2022).

A quantidade de lixões existentes no Brasil ainda é alta. Até o ano de 2020, 48,1% das cidades brasileiras destinavam os rejeitos para lixões ou aterros

controlados, totalizando 2.257 municípios. No entanto, a meta calculada para o ano de 2023 é a redução para 34,8%, ou seja, restando apenas 1.632 municípios a utilizarem disposições finais inadequadas (PLANSAB, 2022).

Os resultados esperados pelo Plansab até o ano de 2033 incluem a extinção de lixões e aterros controlados, destinando todo resíduo produzido para os aterros sanitários como determinado na Lei n° 12.305/2010.

Sendo assim, os aterros sanitários desempenham um papel importante no Brasil para a gestão dos RSU, mas apesar de o país ter um número significativo de aterros sanitários em operação, ainda há um considerável potencial inexplorado (Latocheski; Lofhagen, 2021).

## 3.4 ATERRO SANITÁRIO

Como estabelecido pela lei n° 12.305/2010, antes da disposição final dos RSU, deve-se priorizar a não geração, redução, reutilização, reciclagem e por último o tratamento dos RSU, destinando aos aterros sanitários somente o que não pode ser tratado, caracterizando-os como rejeitos (Leite, 2016).

Sendo assim, através da Norma Brasileira (NBR) 8419/1992, foi apresentado os critérios mínimos necessários aos projetos de aterro sanitários de resíduos sólidos urbanos, definindo aterro sanitário como uma “técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais” (ABNT, 1992).

Dada a definição, as estruturas que compõe um aterro sanitário são: sistema de drenagem superficial das águas pluviais, sistema de drenagem subterrânea de percolados, sistema de drenagem de gases, compactação da base e compactação dos resíduos, impermeabilização e proteção mecânica, cobertura de resíduos e estabilidade de maciço. As estruturas devem ser monitoradas a fim de garantir o bom funcionamento dos sistemas (ABNT, 1992; Silva; Tagliaferro, 2021).

Para a implantação de um aterro sanitário, deve-se antes avaliar o local de construção. A NBR 8419/1992 indica como critério básico para a seleção: a avaliação do zoneamento ambiental, zoneamento urbano, os acessos ao aterro, vizinhança, economia de transporte, titulação da área escolhida, economia operacional do aterro sanitário, infraestrutura urbana, bacia e sub-bacia hidrográfica onde o aterro sanitário será construído (ABNT, 1992).

### 3.4.1 processos de tratamento do lixiviado

Embora existam diversos métodos de tratamento, as características de composição, degradação e outros fatores irão interferir na escolha do melhor procedimento e, para isso, existem processos biológicos, físico-químicos e oxidativos avançados (Lange et al., 2019; Shaddel et al., 2019; Kosgey et al., 2022).

### 3.4.2 Tratamentos Biológicos

Os processos biológicos podem ser aeróbios ou anaeróbios. Esse tipo de tratamento, segundo Lange e colaboradores (2019), é utilizado em compostos recentes, que possuem baixas concentrações de nitrogênio amoniacal. Os tipos de processos aeróbios são: lodos ativados, filtros biológicos e lagoas aeradas e os

processos anaeróbios incluem lagoas anaeróbias, reatores anaeróbios e filtros anaeróbios (Lange et al., 2019).

Por meio do uso de microrganismos em decomposição, o tratamento biológico é responsável pela remoção de matéria orgânica dos efluentes (Carvalho, 2017; Deng et al., 2022). Os tratamentos aeróbios convertem matéria orgânica em compostos inertes através do uso de oxigênio. Os processos anaeróbios permitem que a matéria orgânica seja convertida em gás metano ($CH_4$ ), permitindo que o biogás seja extraído para uso energético (Silva, 2014).

Entretanto, as altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), metais pesados e nitrogênio amoniacal são altamente tóxicas e interferem nos processos de degradação biológica, sendo necessária sua combinação com outros processos físicos e químicos. Além disso, esses processos necessitam de pós-tratamento para adequação dos resíduos de acordo com o CONAMA 430/2011 (Silva, 2014).

### 3.4.3. Lodos ativados e lagoas de estabilização

O material orgânico é degradado na presença de oxigênio. O lodo é misturado ao chorume e aerado em tanques de aeração. Em seguida, é separado por sedimentação em decantadores. A maior parte do lodo é devolvida ao processo para que haja mais microrganismos (Carvalho, 2017; Kamaruddin et al., 2017). As lagoas de estabilização podem ser naturais ou artificiais e atuar como reatores biológicos, com microrganismos degradando a matéria orgânica (Carvalho, 2017; Kamaruddin *et al.,* 2017).

### 3.4.4 Filtros biológicos

O efluente entra em contato com a massa biológica contida no filtro, levando à oxidação bioquímica (Carvalho, 2017). Os microrganismos aderem ao meio e degradam a matéria orgânica, além de reter os sólidos presentes no chorume (Kamaruddin et al., 2017). Entre elas, estão as microalgas, que utilizam nitrogênio, fósforo e outros elementos presentes no efluente para seu desenvolvimento, proporcionando uma alternativa eficiente para a remoção desses compostos, além de agregar valor econômico à biomassa resultante (Al-Jabri et al., 2020).

### 3.4.5 Tratamentos físico-químicos

Processos físico-químicos são recomendados para aterros mais antigos, onde o processo de biodegradação é mais lento e a matéria orgânica é majoritariamente refratária. O lixiviado pode ser tratado pela remoção de amônia por arraste de ar, precipitação química, adsorção e separação por membrana ou por coagulação/floculação (Lange et al., 2019).

### 3.4.6 Coagulação/floculação

Remoção de partículas coloidais, metais pesados e compostos orgânicos que ficam em suspensão no lixiviado (Carvalho, 2017). Com a ajuda de coagulantes, que

podem ser sais de alumínio ou ferro, formam-se flocos de impurezas para facilitar a remoção de partículas (Kamaruddin et al., 2017).

### 3.4.7 Precipitação química

Componentes químicos como hidróxido de magnésio ou cal hidratada são adicionados para precipitar metais pesados (Kamaruddin et al., 2017). Em outras palavras, os íons presentes na solução reagem formando uma fase sólida, insolúvel e com alta sedimentabilidade (Carvalho, 2017).

### 3.4.8 Adsorção e separação por membranas

Ocorre a transferência de massa, na qual a fase líquida é realocada em uma matriz sólida, sendo retida através de interações físicas ou químicas, sendo aplicada em efluentes com materiais dissolvidos. O material mais comum a ser utilizado nesse processo é o carvão ativado (Carvalho, 2017; Kamaruddin et al., 2017).

### 3.4.9 Arraste de ar

Processo onde a amônia é removida na forma de gás. Durante o processo, são adicionados produtos para aumentar o pH do lixiviado e permitir a transformação do íon amônio em gás amônia (Kamaruddin et al., 2017).

### 3.4.10 Processos oxidativos avançados

Processos oxidativos avançados são utilizados como pré-tratamento ou pós-tratamento para compostos com baixa biodegradabilidade e altas concentrações de materiais refratários (Lange et al., 2019 apud Oulego et al., 2016). Entre os processos utilizados estão a oxidação em água supercrítica e os que utilizam catalisadores associados, peróxido de hidrogênio, radiação UV e ozônio (Lange et al., 2019).

Tem sido utilizado como uma alternativa eficaz no tratamento de águas residuárias, pois aumenta o potencial de oxidação química, mineralizando compostos orgânicos recalcitrantes (Kamaruddin et al., 2017).

## 3.5 SUBPRODUTOS DE ATERRO SANITÁRIO

Um dos principais desafios na gestão de aterros sanitários é o tratamento de lixiviados, que precisa ser abordado para uma melhor gestão dos RSU e práticas mais sustentáveis. Estudos ambientais têm mostrado que aterros sanitários podem ter impactos negativos sobre os solos e recursos hídricos do entorno, destacando a necessidade de técnicas adequadas de monitoramento e mitigação (Ruoso et al., 2022; Tisi et al., 2023).

Apesar da variedade de técnicas disponíveis para adaptação do lixiviado, alguns métodos de tratamento não são eficazes quando realizados isoladamente. Pensando nisso, métodos de combinação de processos têm sido utilizados para reduzir custos e garantir bons resultados (Silva, 2014). Um exemplo de combinação de processos é o tratamento combinado com esgoto sanitário, que ajuda a diluir as concentrações de matéria orgânica e nitrogenada, atendendo às normas para descarga nos corpos receptores (Silva, 2014).

Embora existam formas de tratar os efluentes, ainda é possível utilizá-los para ganho econômico (Chojnacka et al., 2023). O direcionamento de resíduos orgânicos para aterros precedidos de compostagem resulta na produção de subprodutos que podem ser utilizados como fertilizante para as indústrias agrícolas, reduzindo a quantidade de resíduos que vão para aterros sanitários e agregando benefícios econômicos (Gomes et al., 2015).

Além disso, de acordo com a Lei 12.305/2010, é possível obter o uso de energia por meio da disposição final adequada e do uso de aterros sanitários. Os gases gerados durante o processo de decomposição ou transformação de energia química em energia elétrica podem trazer diversos benefícios, tornando-se um futuro promissor para o setor elétrico (Gu et al., 2019).

### 3.5.1 Lixiviado

Embora o aterro sanitário possa ser a melhor solução, deve-se considerar a geração de subprodutos que, se não tratados corretamente, podem causar danos ao meio ambiente. As concentrações de compostos presentes no lixiviado podem causar danos ambientais aos corpos receptores, resultando na eutrofização das águas e na morte da vida aquática (Silva, 2014; Kumar, 2015).

De acordo com a NBR 8419/1922, o chorume é fétido e de cor escura, sendo produzido pela decomposição de substâncias presentes nos RSU. Em seu trabalho, Ariza e Hara (2021) descrevem o chorume como um líquido poluente, composto por metais pesados e outras substâncias tóxicas. Ye e colaboradores (2019) reforçam que o líquido percolado é composto por contaminantes orgânicos e inorgânicos, sendo altamente concentrado em substâncias húmicas, sais inorgânicos e outros.

No entanto, apesar de suas características negativas, o lixiviado de aterro sanitário pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de fertilizantes solúveis em água (Ye et al., 2019). Estudos mostraram que é possível extrair substâncias húmicas do composto usando o método de nanofiltração a granel e depois usá-lo como fertilizante. Pesquisas sobre esses compostos têm mostrado resultados positivos, reforçando a ideia de investimento (Ye et al., 2019).

Outros componentes ainda podem ser recuperados do lixiviado de RSU para uso econômico. As concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Magnésio (Mg) permitem a formação de estruvita, uma substância cristalina branca. Essa substância tem se mostrado um recurso valioso para a produção de fertilizantes, pois facilita a extração de nutrientes (Kumar, 2015).

### 3.5.2 Bioenergia

Devido ao elevado consumo industrial, houve aumento na procura por fontes renováveis de energia. Os danos causados pelo uso de combustíveis fósseis incluem diversos riscos ambientais, como por exemplo, alterações climáticas (Barghash et al., 2021). Dada a necessidade de alternativas ambientalmente corretas, fontes de energia hídricas estão sendo demasiadamente utilizadas para o abastecimento elétrico. Desta forma, em tempos de escassez, a sobrecarga elétrica pode prejudicar o abastecimento hídrico (Bermann, 2015; Galvão, 2015).

Portanto, devido aos problemas de seca, pode ser necessário usar outras fontes para descentralizar o fornecimento de eletricidade (IEA, 2022). Outro recurso a ser explorado no lixiviado de aterro sanitário é sua capacidade energética. Existem diferentes formas de bioenergia que podem ser utilizadas na indústria, incluindo a

produção de gás metano, hidrogênio e a transformação de energia química em energia elétrica (Gu et al., 2019).

O gás metano obtido durante processos de degradação da matéria orgânica pode ser utilizado para produzir eletricidade, calor e combustível veicular (Weiland, 2010; Gu et al., 2019). No trabalho de Gehm (2016), o autor aponta que dependendo da composição do composto, a quantidade de energia interna pode chegar até 12.000 kcal/m3.

O uso do hidrogênio como fonte de energia vem se mostrando promissor, pois não agride o meio ambiente e é mais uma fonte de energia limpa e renovável (Gu et al., 2019; Anwar et al., 2019). O biohidrogênio pode ter um rendimento energético de 122 kJ/g, no entanto, pode ser necessário adicionar substratos para ajudar a produzi-lo (Barghash et al., 2021).

Através do sistema de células de combustível microbianas (MFC) é possível transformar energia química em energia elétrica (Hassan et al., 2017; Gu et al., 2019). O sistema em questão, auxilia na remoção de contaminantes e possibilita o aproveitamento energético (Greenman et al., 2009; Gu et al., 2019).

## 4 CONCLUSÃO

As consequências do contato com resíduos a céu aberto são discutidas em todo o mundo. O consumo desenfreado e o descarte inadequado de resíduos sólidos têm causado sérios danos ambientais e incentivado o trabalho informal, levando milhares de pessoas a enfrentar riscos à saúde. Mesmo com a regulamentação em vigor, a maioria dos resíduos sólidos é disposta em lixões ou aterros controlados. Devido ao baixo custo de manutenção, essa prática tornou-se comum em países subdesenvolvidos.

A falha da administração pública em reciclar materiais incentiva o trabalho autônomo dos catadores, que muitas vezes estão desprotegidos. A ausência de supervisão do trabalho negligencia a assistência médica nos casos de acidentes de trabalho, agravando o quadro clínico. Além disso, o consumo excessivo e a falta de reciclagem incentivam a produção em massa e aumentam a quantidade de RSU. A exposição direta e indireta aos contaminantes do lixiviado resulta em graves danos à saúde humana e ambiental e, consequentemente, gera prejuízos financeiros. Os custos do tratamento e da recuperação ambiental são enormes quando comparados aos custos da prevenção.

No Brasil, as técnicas de manejo de RSU descritas pela Lei nº 12.305/2010 destacam o uso do biogás para a produção de energia elétrica. No entanto, em países mais desenvolvidos, outras técnicas já estão sendo utilizadas para fazer uso tanto da matéria orgânica quanto da bioenergia na matriz energética. Os métodos MFC e bio-hidrogênio aqui apresentados, embora ainda precisem ser adaptados, têm se mostrado promissores em termos de energia limpa. Se aplicadas no Brasil, elas poderiam ajudar a descentralizar a energia elétrica e evitar a falta de água e eletricidade em situações de escassez hídrica.

Outro ponto importante é a transformação da matéria orgânica do chorume em compostos fertilizantes. Esse uso também destaca o valor econômico adquirido através dos métodos aplicados em aterros sanitários. Portanto, a implantação de aterros sanitários permitiu a adaptação da disposição dos RSU, minimizou os impactos à saúde humana e, além disso, possibilitou sua utilização econômica, sendo útil na produção de fertilizantes e no fornecimento de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS


AL-JABRI, H.; DAS, P.; KHAN, S.; THAHER, M.; ABDULQUADIR, M. Treatment of wastewaters by microalgae and the potential applications of the produced biomass—A review. **Water**, v.13(1), p. 27, 2020.

ARIZA, L. G. G.; HARA, G. de Q. **Produção de adubo orgânico a partir do chorume.** Ciências Agrárias. Colégio Interativa, Londrina – PR. Disponível em: https://sitec.interativalondrina.com.br/wp-content/uploads/2020/11/9o-MA-Biofertilizante-OK-REVISADO.docx.pdf. Acesso em: nov/2023.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. São Paulo – SP, dez/2022. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama/. Acesso em: 30 de abril de 2023.

ASTALS, S.; ROMERO-GÜIZA, M.; MATA-ALVAREZ, J. **Alternative Energies, Municipal Solid Waste**. Saragoça - Espanha: Germán Ferreira, v. 34, p. 1–26, 2013.

BARGHASH, H.; OKEDU, K. E.; AL BALUSHI, A. Bio-Hydrogen Production Using Landfill Leachate Considering Different Photo-Fermentation Processes. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 9, p. 17, 2021.

BRASIL, **Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n° 470, 9 de janeiro de 1997.

BRASIL, **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n° 3, 3 de agosto de 2010.

BUENO, R. DE F. et al. Simultaneous removal of organic matter and nitrogen compounds from landfill leachate by aerobic granular sludge. **Environmental Technology**, v. 42, n. 24, p. 3756–3770, 2020.

CARDOSO, F. D. C. I.; CARDOSO, J. C. O problema do lixo e algumas perspectivas para redução de impactos. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 4, p. 25–29, 2016.

CHEN, P. et al. Utilization of municipal solid and liquid wastes for bioenergy and bioproducts production. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 163–172, 2016.

CHOJNACKA, K.; SKRZYPCZAK, D.; SZOPA, D.; IZYDORCZYK, G.; MOUSTAKAS, K.; WITEK-KROWIAK, A. Management of biological sewage sludge: Fertilizer nitrogen recovery as the solution to fertilizer crisis. **Journal of Environmental Management**, 326, 116602, 2023.

COLLAÇO, F. M. D. A.; BERMANN, C. Perspectivas da Gestão de Energia em âmbito municipal no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 213–235, 2017.

COSTA, Amini Ferreira da et al. **Análise de risco à saúde humana por uso do solo contaminado por chorume na área do antigo lixão de Maceió-AL**. 2021.

DENG, W.; WANG, L.; CHENG, L.; YANG, W.; GAO, D. Nitrogen removal from mature landfill leachate via anammox based processes: a review. **Sustainability**, v.14(2), p. 995, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas de eficiência energética Brasil 2022**. 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2022. Acesso em: mai/2023.

FRANÇA, M. L. S. et al. **Estudo dos impactos ambientais gerados pelo chorume do aterro controlado em Morretes-PR**. 2007. Dissertação. Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo. Curitiba-PR, 2007.

FREIRE, V. de A. et al. Identificação dos riscos encontrados no lixão de Massaranduba – PB. 2019. **CONIMAS**. Campina Grande – PB. Nov/2019.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflito no uso múltiplo das águas. **SciELO**. São Paulo – SP. Vol 29, p. 84, 2015.

GEHM, S. da C. **Estudo da Capacidade de Geração de Energia Elétrica a partir de biogás produzido através do lixo doméstico do Município de Ijuí-RS**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2016.

GOMES, L. P. et al. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 449–462, 2015.

GU, N. et al. Bioenergy, ammonia and humic substances recovery from municipal solid waste leachate: A review and process integration. **Bioresource Technology**, v. 293, p. 122159–122159, 2019.

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. **Manual para aproveitamento do biogás**: volume um, aterros sanitários. Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Fuels and technologies/hydropower.** 2022. Disponível em: https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydropower. Acesso em: mai. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Fuels and technologies/hydropower.** 2022. Disponível em: https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydropower. Acesso em: mai/2023.

KAMARUDDIN, M. A. et al. An overview of municipal solid waste management and landfill leachate treatment: Malaysia and Asian perspectives. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 35, p. 26988–27020, 2017.

KEMERICH, P. D. D. C. et al. Indicativo de contaminação ambiental por metais pesados em aterro sanitário. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 3744–3755, 2014.

KLARIN, T. The Concept of Sustainable Development: From its Beginning to the Contemporary Issues. **Zagreb International Review of Economics and Business**, v. 21, n. 1, p. 67–94, 2018.

KOSGEY, K.; ZUNGU, P. V.; KUMARI, S.; BUX, F. Critical review of process control strategies in anammox-mediated nitrogen removal systems. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10(4), p. 108068, 2022.

KUMAR, R.; PAL, P. Assessing the feasibility of N and P recovery by struvite precipitation from nutrient-rich wastewater: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 22, p. 17453–17464, 2015.

KWON, G. et al. Recovery of ammonia through struvite production using anaerobic digestate of piggery wastewater and leachate of sewage sludge ash. **Environmental Technology**, v. 39, n. 7, p. 831–842, 2018.

LANZA, V. C.V.; CARVALHO, A. L. **Orientações básicas para operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2006. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Aterro2.pdf. Acesso em: 16 de maio de 2023.

LATOCHESKI, E. C.; LOFHAGEN, J. C. P. How the Perception of Employees Can Help to Address Management and Operation Challenges Towards More Sustainable Sanitary Landfills: A Case Study of Curitiba and Metropolitan Area. In: LEAL FILHO, W.; TORTATO, U.; FRANKENBERGER, F. (Eds.). **Integrating Social Responsibility and Sustainable Development**. World Sust ed. [s.l.] : Springer, Cham, 2021. p. 75–84.

LEAL, A. Análise da disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Distrito de Pilar-Ba. **Revista ComSertões**, v. 4, n. 1, 2016.

LEITE, N. M. G. et al. A influência da disposição final dos resíduos sólidos nos recursos hídricos: uma revisão sistemática. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 12997-13006, 2021.

LUCINDA, F. S. **Descentralização da oferta de energia diante a crise energética brasileira.** Trabalho de Conclusão de Curso. Publicação, Departamento de Engenharia Elétrica**,** Universidade de Brasília, Brasília, DF, 70p, 2015.

MATHIAS, R. V. Management of solid waste from health services according to the National Solid Waste Policy: a study conducted in the South of Brazil. **Gestão & Produção**, v. 28, n. 4, 2021.

MISHRA, H. et al. A Framework for Assessing Uncertainty Associated with Human Health Risks from MSW Landfill Leachate Contamination. **Risk Analysis**, v. 37, n. 7, p. 1237–1255, 2016.

MOL, M. P. et al. Assessment of work-related accidents associated with waste handling in Belo Horizonte (Brazil). **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 35, n. 10, p. 1084–1092, 2017.

MONTAGNA, T. B. **Biogás produzido em aterro sanitário como fonte de energia – uma revisão bibliográfica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Unisep - União de Ensino do Sudoeste do Paraná. Dois Vizinhos – PR, 2013.

Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis. (MNCR). **Quantos catadores existem em atividade no Brasil?** São Paulo, 2021. Disponível em: https://www.mncr.org.br/sobre-o-mncr/duvidas-frequentes/quantos-catadores-existem-em-atividade-no-brasil. Acesso em: mai/2023.

PEREIRA, S. S.; MELO, J. A. B. Gestão dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande/PB e seus reflexos socioeconômicos. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 4, n. 4, 2009.

PIÑAS, J. A. V. et al. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 33, n. 1, p. 175–188, 2016.

QASIM, M. et al. Impact of landfill garbage on insect ecology and human health. **Acta Tropica**, v. 211, p. 105630, 2020.

RAMOS, N. F. et al. Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1233–1241, 2017.

ROSA, B. P. et al. Impactos causados em cursos d'água por aterros controlados desativados no Município de São Paulo, Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 7, p. 63–76, 2017.

RUOSO, A. C.; DALLA NORA, M.; SILUK, J. C. M.; RIBEIRO, J. L. D. The impact of landfill operation factors on improving biogas generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 154, p. 111868, 2022.

SANTOS, E.L. **Obtenção de energia limpa a partir da captação do Biogás no aterro sanitário de Salvador**. 2015. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22665. Acesso em: mar/2023.

SHADDEL, S.; BAKHTIARY-DAVIJANY, H.; KABBE, C.; DADGAR, F.; ØSTERHUS, S. W. Sustainable sewage sludge management: From current practices to emerging nutrient recovery technologies. **Sustainability**, v. 11(12), p. 3435, 2019.

SILVA et al. Á urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. **Caderno de Graduação** - Ciências Humanas e Sociais - UNIT - SERGIPE, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 197–207, 2014. Disponível em: https://periodicos.set.edu.br/cadernohumanas/article/view/1723. Acesso em: 17 de maio de 2023.

SILVA, J. de O. **Incidências de doenças causadas pelo impacto ambiental em um lixão no município de Bacabal-MA**. 2020. Monografia (Licenciatura em Ciências Naturais) - Universidade Federal do Maranhão, Bacabal, 2020. Disponível em: https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/4524. Acesso em: jun/2023.

SOARES, H. A. **Captar ($CH_4$) biogás dos aterros de resíduos e transformar em energia elétrica.** Trabalho de conclusão de curso. Publicação, Curso de Resíduos Sólidos, Centro Nacional de Educação a Distância, 10p, jan. 2014. Disponível em: https://cenedcursos.com.br/meio-ambiente/wp-content/uploads/2014/06/de-lixo-para-eletricidade.pdf. Acesso em: abr/2023.

SOUSA, M. C. D. et al. Processos de tratamento do chorume e reaproveitamento: Uma revisão. Anais do 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química. Mossoró, Brasil: **Editora Edgard Blücher**, nov. 2015. Disponível em: http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/22122. Acesso em: mai/2023.

SOUZA, G. et al. Chuva Ácida: Estudo de Caso Na Região Metropolitana de Belém/PA. **V Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia**, v. 4, 2016. Disponível em: http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2016/trabalhos/pdf/congestas2016-et-05-015.pdf. Acesso em: mar/2023.

TANAUE, A. C. B. et al. Lixo eletrônico: agravos a saúde e ao meio ambiente. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 19, n. 3, 2015.

TAVARES, B. F. D. **Tratamento de chorume:** Análise dos efluentes da evaporação forçada. 2011. Disponível em: https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7475/1/monopoli10001824.pdf. Acesso em: mai/2023.

TAVARES, S. R. de L. **Remediação de Solos e Águas Contaminadas por Metais Pesados**. 1° Edição. Rio de Janeiro, 2013.

TISI, Y. S. A. B.; MATOS, F. A.; CARNEIRO, M. L. N. M. Development of waste-to-energy through integrated sustainable waste management: the case of ABREN WtERT Brazil towards changing status quo in Brazil. **Waste Disposal &; Sustainable Energy**, 2023. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/s42768-022-00127-x7

VIANNA, A. M. Poluição ambiental, um problema de urbanização e crescimento desordenado das cidades. **Revista Sustinere**, v. 3, n. 1, p. 22-42, 2015.

VIDAL, L. et al. Potencial de geração de biogás e energia elétrica em aterros sanitários do sul do brasil. **Fórum internacional de resíduos sólidos-anais**, 2018.

YE, W. et al. Sustainable management of landfill leachate concentrate through recovering humic substance as liquid fertilizer by loose nanofiltration. **Water Research**, v. 157, p. 555–563, 2019.

ZOLNIKOV, T. R. et al. Ineffective waste site closures in Brazil: A systematic review on continuing health conditions and occupational hazards of waste collectors. **Waste Management**, v. 80, p. 26–39, 2018.

ZVEIBIL, V. Z.; MONTEIRO, J. H. P. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAMA, 2001. Disponível em: http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf. Acesso em: mai/2023.