

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA O TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

JÉSSICA TORRES DOS SANTOS¹; LUIZA BEATRIZ GAMBOA ARAÚJO MORSELLI²; RUBIANE BUCHWEITZ FICK²; ANA CLARA MARINS MENDES²; RAFAEL MIRITZ BARTZ²; MAURIZIO SILVEIRA QUADRO³

¹Universidade Federal de Pelotas – jessica_jesantos@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – luiza_morselli@hotmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – rubianebfick1@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – anaclaramarinismendes@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – rafaelmiritz@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – mausq@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, aliado a estilos de vida marcados pelo consumo, tem intensificado de forma significativa a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). No Brasil, a geração de Resíduos Sólidos no ano de 2023 foi de aproximadamente 81 milhões de toneladas, equivalente a mais de 221 mil toneladas de resíduos geradas diariamente (ABREMA, 2024). Aterro é a principal alternativa para descarte de resíduos sólidos municipais e industriais globalmente (YANG et al., 2023). O chorume gerado nos aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos representa um sério problema, causando impactos ecológicos e de saúde pública (BAKHSHOODEH et al., 2020; EL-SAADONY et al., 2023). Esse efluente geralmente contém altas concentrações de poluentes e compostos tóxicos, exigindo tratamento adequado antes de ser liberado, sendo caracterizado por elevadas concentrações de matéria orgânica, metais pesados, nitrogênio, fósforo e sais, além de apresentar pH na faixa neutra (BAKHSHOODEH et al., 2020).

Nos últimos anos, várias tecnologias com grande potencial para reduzir a contaminação da água têm despertado cada vez mais interesse. Entre estas tecnologias destacam-se as soluções baseadas na natureza (SbN), que se apresentam como uma solução econômica e eficaz a longo prazo. Nesse sentido, é possível aplicar diferentes abordagens, como as zonas húmidas naturais e construídas (ALMEIDA, 2025). Os Wetlands, ou zonas úmidas construídas, são uma abordagem de baixa tecnologia utilizada para tratamento de águas contaminadas de forma controlada e otimizada, inspirada nos processos naturais das zonas húmidas naturais. Através de uma ação combinada entre plantas, microrganismos e componentes do substrato, é possível diminuir a concentração dos compostos para níveis seguros para a biota/ambiente aquático (ALMEIDA, 2025). As plantas desempenham principalmente um papel indireto na remoção de contaminantes, pois elas ajudam a criar condições adequadas para a remoção de poluentes. O único efeito direto é a absorção de nutrientes e metais pesados (BAKHSHOODEH et al., 2020).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a aplicação de wetlands construídos no tratamento de lixiviados de aterros sanitários.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho caracterizou-se como uma revisão bibliográfica desenvolvida com base em pesquisas já elaboradas, constituídas principalmente

de artigos científicos. Esse estudo baseou-se na análise de publicações indexadas em inglês nas bases de dados Science Direct (Elsevier). A busca de artigos foi realizada utilizando as palavras-chave: “wetland” e “landfill leachate”, e utilizando o recurso de aspas duplas (“”) no início e final de cada termo, bem como o operador booleano *AND* entre as palavras.

Após a realização da busca dos artigos, os dados foram tratados com o pacote bibliometrix, disponível no software Rstudio (versão 2025.05.1 Build 513). Com base nessa análise, foram extraídos e organizados os seguintes resultados: distribuição dos artigos por ano de publicação, periódicos com maior número de publicações sobre o tema e palavras-chave mais frequentes. Para este estudo, foram considerados apenas artigos científicos e artigos de revisão, aplicando-se esses critérios como filtros de seleção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o resultado da busca, onde foram identificados 1962 estudos publicados que avaliaram o uso de wetlands no tratamento de lixiviado de aterros. Observou-se uma concentração maior de trabalhos a partir de 2021, evidenciando o crescente interesse pela tecnologia. Cerca de 30% dos trabalhos encontrados eram revisões bibliográficas, sendo o restante estudos experimentais em escala laboratorial, piloto ou real.

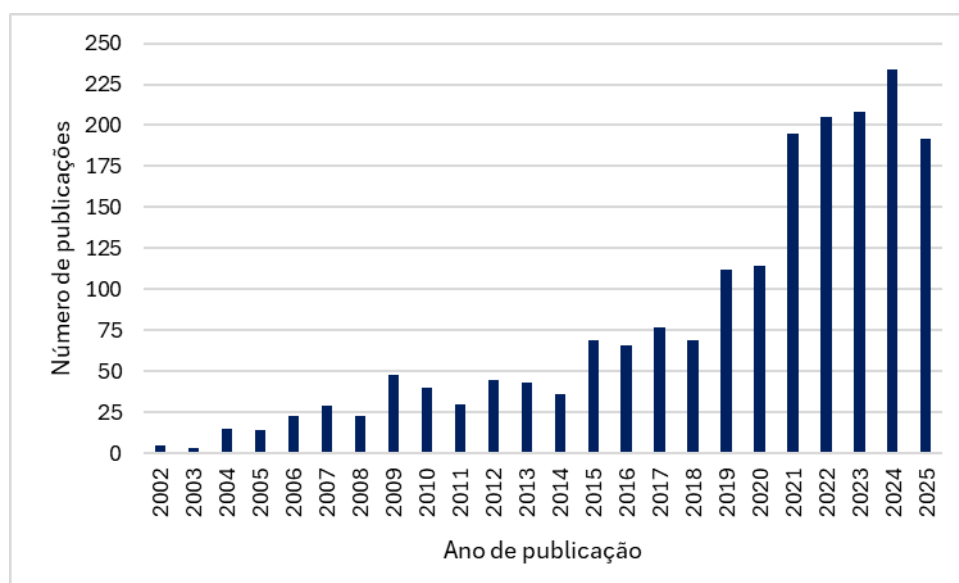


Figura 1. Evolução temporal do número de publicações até agosto de 2025

A análise do número de publicações por periódicos (Figura 2) demonstra que a maior concentração de estudos se encontra no periódico *Science of the Total Environment* (227 publicações), o que mostra uma ampla inserção do tema em uma revista multidisciplinar de destaque na área ambiental. Além disso, periódicos como *Ecological Engineering* (115), *Journal of Environmental Management* (114) e *Chemosphere* (103) reforçam o destaque da temática no contexto da engenharia ecológica, gestão ambiental e poluição química. Essa diversidade de publicação sugere que a pesquisa não se restringe apenas ao tratamento de água, mas também dialoga com práticas de mitigação da poluição, conservação ambiental e desenvolvimento sustentável.

Em uma escala intermediária de recorrência, revistas como *Waste Management* (49) e *Journal of Cleaner Production* (46) também demonstram a associação com a gestão de resíduos e práticas de produção mais limpa, áreas que complementam os estudos ambientais ao tratar da sustentabilidade em processos industriais. Por outro lado, periódicos como *Ecotoxicology and Environmental Safety* (19) e *Process Safety and Environmental Protection* (19) apresentaram menor número de publicações, o que indica que aspectos relacionados à toxicologia ambiental e segurança de processos industriais têm menor representatividade no recorte analisado.

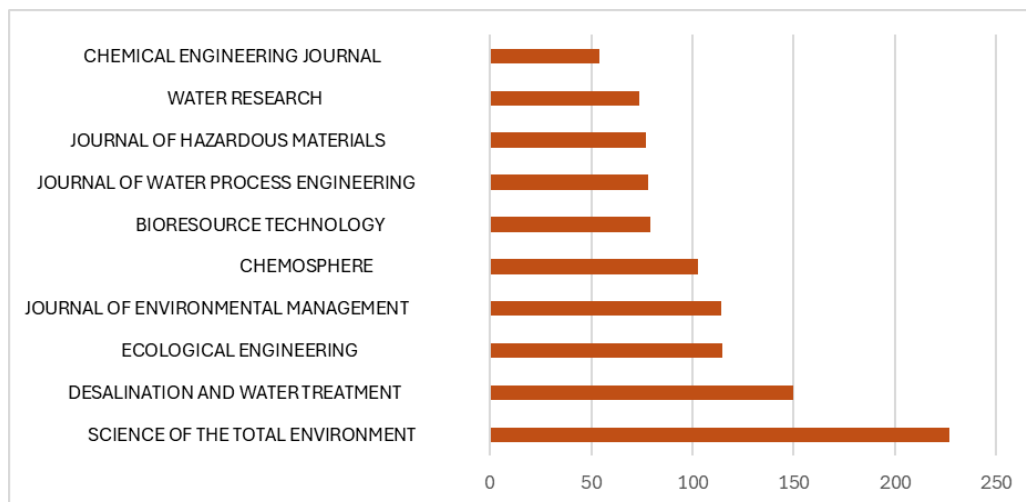


Figura 2. Principais revistas que publicaram artigos sobre o tema, até agosto de 2025 (n = 1962 artigos), considerando os registros extraídos da base Science Direct.

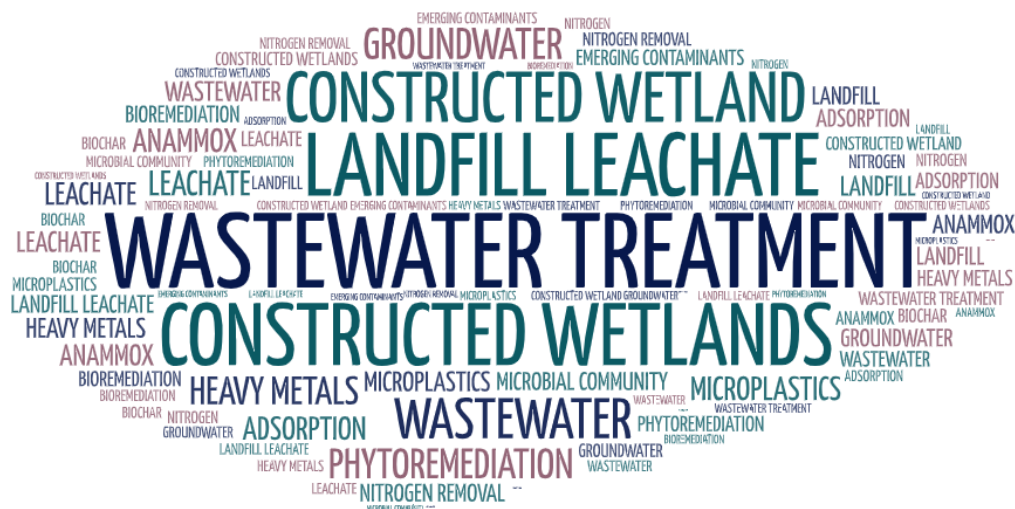


Figura 3. Nuvem de palavras das palavras-chave mais frequentes em artigos sobre tema. O tamanho de cada palavra indica a frequência de ocorrência.

A análise das palavras-chave, representada na Figura 3, mostra que os termos mais recorrentes estão relacionados ao tratamento de águas residuais, destacando-se *wastewater treatment* e *wastewater*, o que evidencia a relevância do assunto na literatura científica. Em seguida, aparecem *landfill leachate* e *constructed wetlands*, confirmando a importância dos wetlands construídos como tecnologia sustentável para o manejo de lixiviados de aterros sanitários. Também

foram frequentes termos ligados a estratégias de remediação, como *phytoremediation*, *adsorption* e *bioremediation*, que reforçam a diversidade de abordagens estudadas. Além disso, a presença de palavras como *heavy metals*, *microplastics*, *emerging contaminants* e *nitrogen* indica que os estudos vêm abrangendo tanto contaminantes clássicos quanto os chamados contaminantes emergentes. Por fim, termos como *microbial community*, *anammox* e *nitrogen removal* evidenciam a relevância dos processos microbiológicos para explicar e aprimorar a eficiência dos wetlands no tratamento de efluentes.

4. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou o crescimento das pesquisas sobre a utilização de wetlands no tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Os dados indicam que o interesse global por essa área tem se intensificado, refletido em um aumento significativo na taxa de publicações científicas nos últimos anos.

Com base na análise de periódicos e palavras-chave, pode-se concluir que os wetlands construídos se destacam como alternativa promissora para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários, sendo frequentemente associados a pesquisas sobre tratamento de águas residuais, fitorremediação, remoção de metais pesados e poluentes emergentes. A análise bibliográfica mostra que o tema possui caráter interdisciplinar e relevância crescente, reforçando seu potencial como solução sustentável, de baixo custo e eficaz para a gestão de efluentes e a proteção dos recursos hídricos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE (ABREMA). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: ABREMA, 2024. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/panorama/>>.

ALMEIDA, C. M. R. Zonas húmidas naturais e construídas como soluções baseadas na natureza para a manutenção da boa qualidade da água dos ecossistemas aquáticos. **Revista de Ciência Elementar**, Porto, v. 13, n. 1, 2025.

BAKHSHOODEH, R., ALAVI, N., OLDHAM, C., SANTOS, R., BABAEI, A., VYMAZAL, J., PAYDARY, P. Constructed wetlands for landfill leachate treatment: A review, **Ecological Engineering**, v.146, 2020.

EL-SAADONY, M. T.; SAAD, A. M.; EL-WAFI, N. A.; ABOU-ALY, H. E.; SALEM, H. M.; SOLIMAN, S. M.; ABD EL-MAGEED, T. A.; ELRYS, A. S.; SELIM, S.; ABD EL-HACK, M. E.; KAPPACHERY, S.; EL-TARABILY, K. A.; ABUQAMAR, S. F. Hazardous wastes and management strategies of landfill leachates: a comprehensive review. **Environmental Technology and Innovation**, v. 31, 2023.

YANG, X.; ARIAS, M. E.; ERGAS, S. J. Hybrid constructed wetlands amended with zeolite/biochar for enhanced landfill leachate treatment. **Ecological Engineering**, v. 192, 2023