



III - 103 - O PAPEL DOS FUNGOS NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Maria Eduarda Aranega Pesenti⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Londrina/Paraná. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Londrina/Paraná.

Kátia Valéria Marques Cardoso Prates⁽²⁾

Bióloga pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Londrina/Paraná.

Endereço⁽¹⁾: Avenida dos Pioneiros, 3131 - Jardim Marumbi - Londrina - Paraná - CEP: 86036-370 - Brasil - Tel: +55 (43) 996692781 - e-mail: aranegapesenti@gmail.com

RESUMO

O lixiviado de aterro sanitário é um efluente gerado durante a decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, composto por uma ampla gama de contaminantes, como macrocomponentes inorgânicos, metais tóxicos e compostos orgânicos xenobióticos. O tratamento desse lixiviado é um desafio significativo, pois as abordagens químicas frequentemente são incompletas e podem aumentar a toxicidade do efluente. No entanto, métodos inovadores baseados no uso de fungos têm mostrado eficácia promissora nesse tratamento. Assim, este artigo busca responder às seguintes perguntas: "Como os fungos são empregados no tratamento do lixiviado de aterros sanitários?", "Quais são as vantagens e desvantagens dos tratamentos implementados?" e "Qual é a viabilidade do tratamento utilizando fungos?". Para abordar essas questões, utilizou-se o método *Methodi Ordinatio* para realizar uma revisão sistemática da literatura. A busca por publicações para a construção do portfólio final da revisão sistemática de literatura foi realizada no Google Acadêmico e na Empresa Editorial Elsevier, utilizando as seguintes *strings* de busca relacionadas ao tema: "landfill leachate", "micoremediation", "fungal biodegradation", "toxicity", "treatment" e "fungus". Além disso, foi utilizada a lógica booleana com os operadores "AND" e "OR" entre as *strings* para obter publicações que incluem simultaneamente dois ou mais termos de pesquisa. Após a pesquisa, calculou-se o *InOrdinatio* de cada artigo selecionado usando três critérios: fator de impacto, ano de publicação e número de citações. Com base nos valores de *InOrdinatio* obtidos, os artigos foram classificados, considerando os de pontuação mais alta como os mais relevantes para a pesquisa. Ao analisar os artigos selecionados, uma variedade de metodologias empregadas no tratamento do lixiviado com fungos foi identificada, incluindo diferentes inóculos, biorreatores e combinações de co-substratos. Além disso, fungos autóctones mostraram ser organismos viáveis para o tratamento, devido à sua maior tolerância à alta toxicidade do lixiviado. Alguns fungos, como *Aspergillus flavus* e *Bjerkandera adusta*, destacaram-se na remoção de poluentes específicos. Apesar das vantagens dos tratamentos com fungos, como baixo custo, eficiência na remoção de poluentes e produção reduzida de resíduos, ainda existem desafios a serem superados, como a sensibilidade dos fungos a concentrações elevadas de lixiviado e a falta de padronização nos métodos de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Micorremediação, degradação fúngica, revisão sistemática de literatura, tratamento de efluentes.



INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterro sanitário resulta da degradação orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) depositados nos aterros. Este efluente apresenta uma carga poluente considerável, dividida em quatro grupos principais de contaminantes: matéria orgânica dissolvida, macrocomponentes inorgânicos, metais tóxicos e compostos orgânicos xenobióticos (ZEGZOUTI, 2020). Bardi et al. (2017) destacam os efeitos tóxicos do lixiviado em vários organismos, desde microrganismos e algas até invertebrados, plantas e mamíferos, sinalizando os riscos ambientais para o ecossistema.

O tratamento do lixiviado é um desafio constante. A abordagem química, muitas vezes, é incompleta e pode agravar a toxicidade do efluente. Paralelamente, os métodos tradicionais de tratamento biológico enfrentam dificuldades devido à baixa biodegradabilidade e às altas concentrações de compostos inibidores presentes no efluente. Em contraste, Siracusa et al. (2020) destacam que processos inovadores baseados no uso de fungos têm mostrado promissora eficácia no tratamento do lixiviado.

Os fungos, explorados por suas capacidades oxidativas e de produção de enzimas, demonstram potencial para transformar compostos fenólicos e/ou aromáticos recalcitrantes em matrizes ambientais, reduzindo a toxicidade do efluente (SIRACUSA et al., 2020; ISLÂ e YUAN, 2020). Além disso, o tratamento com fungos oferece a vantagem de degradar mais facilmente poluentes orgânicos de alta massa molecular e proporcionar uma maior taxa de redução de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (BARDI et al., 2017).

Islâ e Yuan (2020) observaram que o crescimento fúngico é prejudicado em altas concentrações de lixiviado, mas a adição de co-substratos pode aumentar significativamente o crescimento em ambientes tóxicos. Simultaneamente, Spina et al. (2018) sugerem que fungos autóctones podem ser organismos viáveis para o tratamento, devido à sua maior tolerância à alta toxicidade do lixiviado. Essas descobertas ressaltam a importância da pesquisa contínua na aplicação de tratamentos fúngicos para superar os desafios associados ao tratamento do lixiviado de aterro sanitário, contribuindo para abordagens mais eficazes e sustentáveis.

OBJETIVOS

Diante da necessidade de investigar métodos mais eficazes para o tratamento do lixiviado proveniente de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, este estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura. A abordagem adotada envolveu a aplicação do Methodi Ordination, visando responder à pergunta norteadora da pesquisa: "Como os fungos são empregados no tratamento do lixiviado oriundo de aterros sanitários?". A partir dessa indagação principal, desdobraram-se questões secundárias, como "Quais são as vantagens e desvantagens vinculadas aos tratamentos implementados?" e "Qual é a viabilidade do tratamento utilizando fungos?".

METODOLOGIA UTILIZADA

O procedimento para a realização da revisão sistemática de literatura seguiu a metodologia Methodi Ordination de Pagani et al. (2022) que utiliza três critérios de análise de uma publicação científica, o fator de impacto, o ano da publicação e o número de citações para verificar sua relevância científica e assim selecionar os artigos para leitura e análise. Para este trabalho o foco foi analisar artigos de pesquisa com dados experimentais.

O Methodi Ordination é composto de nove etapas (Figura 1) que se inicia estabelecendo a intenção de pesquisa, onde a proposta do presente artigo é trazer informações pertinentes sobre a utilização de fungos aplicados no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. As bases de dados escolhidas para levantamento de artigos foram o Google Acadêmico e a Empresa Editorial Elsevier.

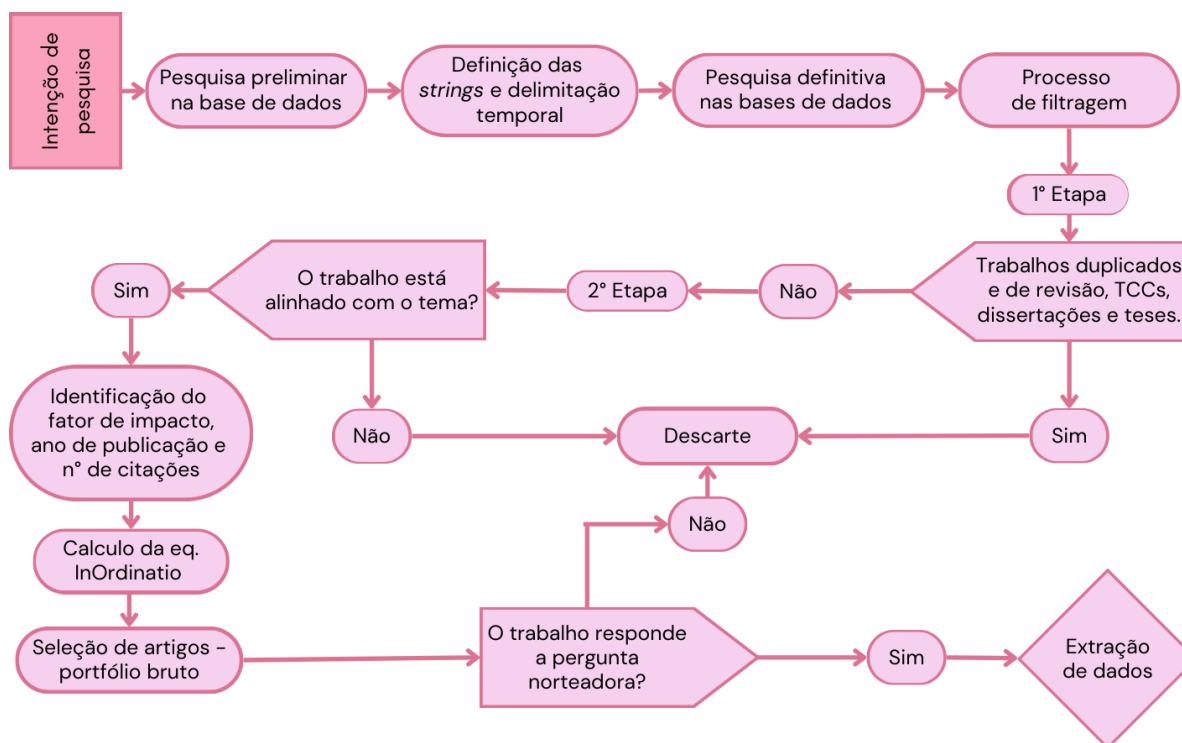


Figura 1: Fluxograma das etapas para a seleção dos artigos.

A próxima etapa consistiu na seleção das *strings* de busca, empregando também a lógica booleana com os operadores "AND", "OR" ou "NOT" entre as *strings*, resultando na identificação de publicações que incluem simultaneamente os termos de pesquisa. As *strings* selecionadas foram: "landfill leachate", "micoremediation", "fungal biodegradation", "toxicity", "treatment" e "fungus". A delimitação temporal foi de 10 anos com o intuito de selecionar trabalhos mais recentes.

Após a definição das *strings* de busca iniciou-se a pesquisa nas bases de dados. No Google Acadêmico foi necessário adicionar o operador NOT seguido de "review", com a finalidade de excluir os artigos de revisão. Com a pesquisa feita em todas as bases foi realizada a primeira etapa do processo de filtragem que descartou trabalhos duplicados, artigos de revisão, TCCs, dissertações e teses. Após a primeira filtragem todos os artigos que sobraram foram avaliados quanto ao título, palavras chaves e resumo, onde os trabalhos que não estavam alinhados com o tema também foram excluídos (segunda etapa).

Com a pré-seleção de artigos realizada foi necessário identificar três critérios, o fator de impacto, o ano de publicação e o número de citações para realizar o cálculo da equação InOrdinatio. Para realizar o cálculo, cada critério recebeu uma pontuação de 0 a 10 pontos com base em sua importância para a pesquisa. Neste estudo todos os critérios receberam 10 pontos. Após isso foi necessário utilizar a planilha RankIn, disponibilizada por Pagani et al. (2022), nesta planilha os valores dos critérios são coletados para cada artigo selecionado e o cálculo do InOrdinatio é realizado multiplicando os valores dos critérios pelas pontuações atribuídas a cada critério e somando esses produtos (equação (1)).

InOrdinatio = (Pontuação do fator de impacto * Valor do fator de impacto) + (Pontuação do ano de publicação * Valor do ano de publicação) + (Pontuação do número de citações * Valor do número de citações)
equação (1)

Os artigos são classificados de acordo com seus valores de InOrdinatio, com os artigos de pontuação mais alta considerados os mais relevantes para a pesquisa. Neste trabalho, os artigos que atingiram uma pontuação maior

ou igual a 100 pontos e/ou que respondiam diretamente à pergunta norteadora foram selecionados para fazer parte do portfólio bruto.

RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 2 fornece uma visão detalhada do processamento dos trabalhos à medida que as etapas descritas na metodologia avançavam.

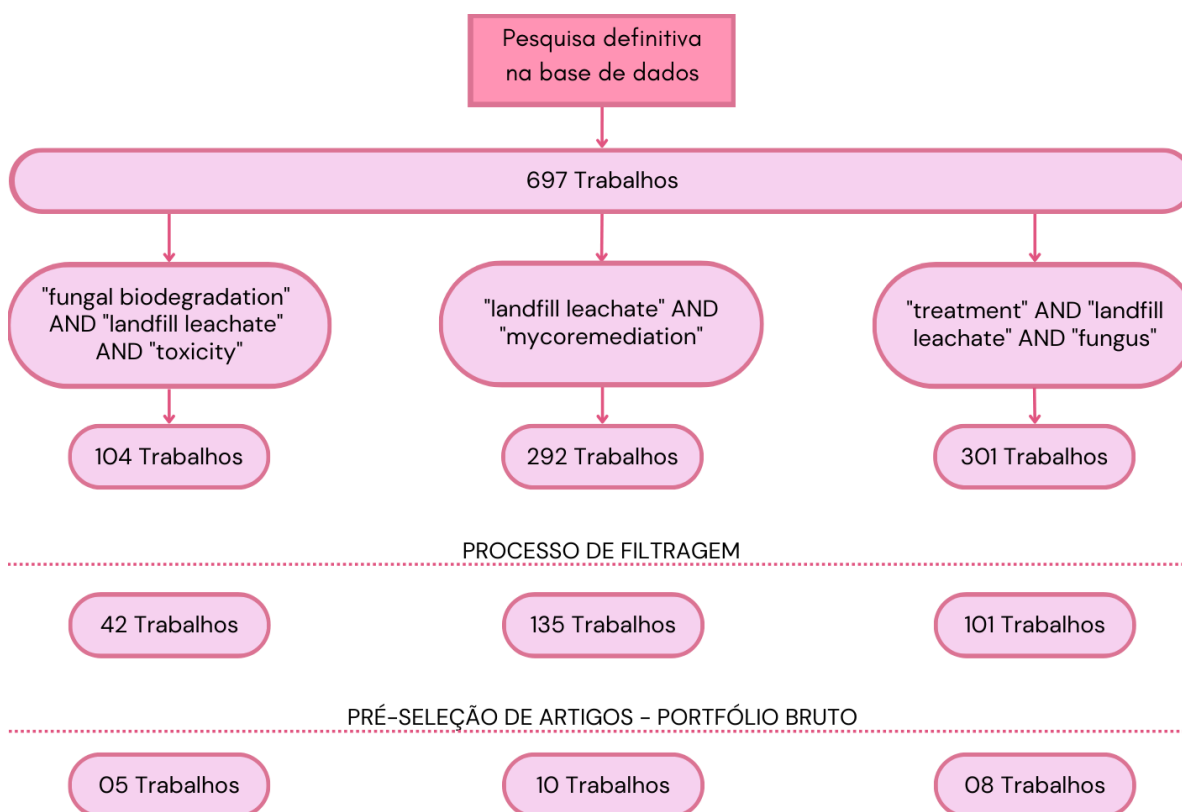


Figura 2: Processamento das publicações.

Como ilustrado na Figura 2, o processo de seleção das publicações para o portfólio bruto resultou em um refinamento dos trabalhos a serem considerados, selecionando 23 trabalhos para compor o portfólio bruto. O Quadro 2 expõe os trabalhos selecionados.

Quadro 2: Artigos selecionados para compor o portfólio bruto.**(continua)**

ANO	REVISTA	AUTORIA	TÍTULO
2023	Holos	Pesenti et al.	Evaluation of the bioremediation potential of <i>Candida spp.</i> and <i>Trichophyton spp.</i> fungi in the treatment of leachate from a landfill
2023	Int Phytoremediation	Nazir et al.	Synergistic impact of two autochthonous saprobic fungi (<i>A. niger</i> and <i>T. pseudokoningii</i>) on the growth, ionic contents, and metals uptake in <i>Brassica juncea L.</i> and <i>Vigna radiata L.</i> under tannery solid waste contaminated soil
2022	J. Appl. Sci. Environ. Manage	Ikechi-Nwogu e Akpan	Mycoremediation Potential of Edible Mushroom (<i>Lentinus squarrosulus Mont</i>) for Reduction of Physicochemical Properties and Microbial Load of Landfill Leachate obtained from Choba Dumpsite, Rivers State, Nigeria
2022	Heliyon	El-Bondkly e El-Gendy	Bioremoval of some heavy metals from aqueous solutions by two different indigenous fungi <i>Aspergillus sp.</i> AHM69 and <i>Penicillium sp.</i> AHM96 isolated from petroleum refining wastewater
2021	Environmental Science and Pollution Research	Zanganeh et al.	Bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil by a synergistic effect of cyanobacteria inoculation, biochar, and purslane (<i>Portulaca oleracea L.</i>)
2021	Woodhead Publishing	Koul et al.	Chapter 30 - Mycoremediation: A novel approach for sustainable development
2020	Journal of Environmental Management	Zegzouti et al.	Bioremediation of landfill leachate by <i>Aspergillus flavus</i> in submerged culture: Evaluation of the process efficiency by physicochemical methods and 3D fluorescence spectroscopy
2020	Chemosphere	Wang et al.	Effective degradation of Di-n-butyl phthalate by reusable, magnetic Fe ₃ O ₄ nanoparticle-immobilized <i>Pseudomonas sp.</i> W1 and its application in simulation
2020	Water	Siracusa et al.	Mycoremediation of Old and Intermediate Landfill Leachates with an Ascomycete Fungal Isolate, <i>Lambertella sp.</i>
2020	Fungal Biology Reviews	Ahmed et al.	Dual Purpose of ligninolytic- basidiomycetes: mycoremediation of bioethanol distillation vinasse coupled to sustainable bio-based compounds production
2020	Biochemical Engineering Journal	Hassan et al.	Bioaugmentation assisted mycoremediation of heavy metal and/metalloid landfill contaminated soil using consortia of filamentous fungi
2020	Biodegradation	Islã e Yuan	Fungal treatment of mature landfill leachate utilizing woodchips and wheat-straw as co-substrates
2019	Ecotoxicology and Environmental Safety	Tigini et al.	Wastewater-Agar as a selection environment: A first step towards a fungal in-situ bioaugmentation strategy
2019	Chemosphere	Wang et al.	Removal and tolerance mechanism of Pb by a filamentous fungus: A case study
2018	Life	Spina et al.	Bioremediation of Landfill Leachate with Fungi: <i>Autochthonous vs. Allochthonous Strains</i>
2018	Chemosphere	Albert et al.	Comparison of tolerance and biosorption of three trace metals (Cd, Cu, Pb) by the soil fungus <i>Absidia cylindrospora</i>

Quadro 2. Artigos selecionados para compor o portfólio bruto.**(conclui)**

ANO	REVISTA	AUTORIA	TÍTULO
2018	Journal of Environmental Management	Kumar et al.	Wastewater cleanup using <i>Phlebia acerina</i> fungi: An insight into mycoremediation
2018	Environmental Engineering Research	Smaoui et al.	A new approach for detoxification of landfill leachate using <i>Trametes trogii</i>
2017	Water	Bardi et al.	Recalcitrant Compounds Removal in Raw Leachate and Synthetic Effluents Using the White-Rot Fungus <i>Bjerkandera adusta</i>
2017	Int. Journal of Environmental Science and Technology	Awasthi et al.	Potential of fungus <i>Trichoderma harzianum</i> for toxicity reduction in municipal solid waste leachate
2017	Chemosphere	Mohammadian et al.	Tolerance to heavy metals in filamentous fungi isolated from contaminated mining soils in the Zanjan Province, Iran
2014	Waste Management	Kalcíková et al.	Fungal and enzymatic treatment of mature municipal landfill leachate
2014	Science of the Total Environment	Tigini et al.	Mycological and ecotoxicological characterisation of landfill leachate before and after traditional treatments

Após a escolha inicial dos trabalhos para compor o portfólio bruto, essas publicações foram submetidas a uma análise detalhada. Durante esse processo, cada trabalho foi avaliado com base em critérios pré-estabelecidos, como relevância para a pesquisa e qualidade metodológica. Após essa avaliação, apenas os 10 trabalhos mais pertinentes, contendo os dados necessários para responder à pergunta norteadora, foram selecionados para a extração de dados. Isso garantiu que apenas os estudos mais relevantes e informativos fossem incluídos na próxima fase da pesquisa.

Assim, os trabalhos selecionados para a extração de dados são dos autores: Pesenti et al., Ikechi-Nwogu e Akpan, Zegzouti et al., Siracusa et al., Islã e Yuan, Spina et al., Smaoui et al., Bardi et al., Awasthi et al., Kalcíková et al. Na Figura 3 são apresentados os artigos selecionados, relacionando os principais objetivos e os fungos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.



Figura 3: Relação entre os fungos utilizados nas pesquisas e suas ações no tratamento do lixiviado.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diversos métodos foram empregados pelos diferentes autores em suas pesquisas. O inóculo esporal foi utilizado por Zegzouti et al. (2020), enquanto o inóculo micelial foi a escolha de Pesenti et al. (2023), Smaoui et al. (2018), e Kalcíková et al. (2014). Biorreatores foram empregados por Siracusa et al. (2020), e a combinação de co-substratos com o tratamento fúngico foi explorada por Islã e Yuan (2020). Biomassa fúngica foi utilizada em estudos conduzidos por Spina et al. (2018), Bardi et al. (2017), e Awasthi et al. (2017). Além disso, a microfiltração de um substrato colonizado foi investigada por Ikechi-Nwogu e Akpan (2022).

Experimentos que empregaram biofilme, uma característica associada ao uso de biorreatores e biomassas, demonstraram vantagens de resistência a variações nas condições operacionais, como temperatura, pH e compostos inibidores. Além disso, a tecnologia aplicada para separação e recuperação da biomassa permitiria reutilização em outros reatores, como sugerido por Siracusa et al. (2020).

A utilização de co-substratos em conjunto com o tratamento fúngico, apesar de oferecer benefícios na solubilização do lixiviado e eficiência na remoção de DQO e DBO, levanta preocupações devido à carga tóxica remanescente nos substratos pós-tratamento, gerando resíduos mais volumosos em comparação com outras metodologias.

Dentre os fungos estudados, *Aspergillus flavus* se destacou na remoção de DBO, DQO e amônia, alcançando resultados de 81.63%, 48.50% e 98.81%, respectivamente, no tratamento de lixiviados jovens. O fungo *Bjerkandera adusta* mostrou eficácia total na remoção de DBO do lixiviado bruto (ZEGZOUTI et al., 2020; BARDI et al., 2017). *Candida* spp., uma levedura, apresentou bons resultados na redução da toxicidade de lixiviados (PESENTI et al., 2023), enquanto o tratamento com os fungos autóctones *Pseudallescheria boydii* e *Phanerochaete sanguinea* resultou em rápida descoloração (60%) do efluente (SPINA et al., 2018).

A idade do aterro é um fator crucial a considerar, pois afeta as características do lixiviado, influenciando diretamente no tratamento. A presença crescente de compostos refratários nos lixiviados de aterros mais antigos foi observada por Zegzouti et al. (2020), impactando as taxas de redução de DBO e DQO.

Ao analisar as metodologias propostas por cada autor, é evidente que o tratamento de lixiviado com fungos ainda necessita de estudos adicionais para alcançar uma padronização eficiente.

CONCLUSÃO

Em síntese, a diversidade de metodologias adotadas por diferentes autores evidencia a complexidade e a variedade de abordagens no tratamento de lixiviado com a utilização de fungos. A escolha entre inóculos, biorreatores, co-substratos e outros métodos reflete a busca por soluções eficazes diante das distintas características e desafios apresentados pelo efluente. A escolha de fungos, como *Aspergillus flavus* e *Bjerkandera adusta*, revela a capacidade diferenciada desses microrganismos na remoção de poluentes específicos.

Entre as vantagens dos tratamentos examinados, destaca-se o baixo custo em comparação com abordagens físico-químicas, eficiência na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos, assim como de compostos de difícil degradabilidade, e a produção reduzida de resíduos.

As principais desvantagens estão relacionadas à sensibilidade dos fungos a concentrações mais elevadas de lixiviado e à duração mais prolongada do tratamento. Outro aspecto desfavorável é a escassez de estudos sobre o tema. Dada à novidade dessa área, há poucas pesquisas abordando o tratamento com fungos, especialmente

em comparação de metodologias já estabelecidas, resultando em uma falta de padronização. Apesar dessas desvantagens, o uso de fungos para tratar lixiviado de aterro sanitário tem demonstrado ser uma técnica viável e eficaz.

Em última análise, embora os avanços sejam evidentes, a padronização do tratamento de lixiviado com fungos ainda requer aprofundamento e estudos adicionais. A compreensão das interações entre os diferentes métodos e a seleção cuidadosa de fungos promissores são passos cruciais para a efetiva implementação dessas práticas inovadoras no tratamento de efluentes, contribuindo para soluções ambientalmente sustentáveis e eficientes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – PPGA Campus Apucarana e Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMED, P. et al. *Dual Purpose of ligninolytic- basidiomycetes: mycoremediation of bioethanol distillation vinasse coupled to sustainable bio-based compounds production. Fungal Biology Reviews*, v. 34, n. 1, p. 25-40, 2020.
2. ALBERT, Q. et al. *Comparison of tolerance and biosorption of three trace metals (Cd, Cu, Pb) by the soil fungus Absidia cylindrospora. Chemosphere*, v. 196, p. 386-392, 2018.
3. AWASTHI, A. K. et al. *Potential of fungus Trichoderma harzianum for toxicity reduction in municipal solid waste leachate. International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 14, p. 2015-2022, 2017.
4. BARDI, A. et al. *Recalcitrant Compounds Removal in Raw Leachate and Synthetic Effluents Using the White-Rot Fungus Bjerkandera adusta. Water*, v.9, n. 824, p. 2-14, 2017.
5. EL-BONDKLY, A; EL-GENDY, M. *Bioremoval of some heavy metals from aqueous solutions by two different indigenous fungi Aspergillus sp. AHM69 and Penicillium sp. AHM96 isolated from petroleum refining wastewater. Heliyon*, v. 8, n. 7, 2022.
6. HASSAN, A. et al. *Bioaugmentation assisted mycoremediation of heavy metal and/metalloid landfill contaminated soil using consortia of filamentous fungi. Biochemical Engineering Journal*, n. 157, 2020.
7. IKECHI-NWOGU, G; AKPAN, D. et al. *Mycoremediation Potential of Edible Mushroom (Lentinus squarrosulus Mont) for Reduction of Physicochemical Properties and Microbial Load of Landfill Leachate obtained from Choba Dumpsite, Rivers State, Nigeria. J. Appl. Sci. Environ. Manage*, v. 26, n. 12, p. 2101-2106, 2022.
8. ISLAM, M; YUAN, Q. *Fungal treatment of mature landfill leachate utilizing woodchips and wheat-straw as co-substrates. Biodegradation*, v. 31, p. 109-122, 2020.
9. KALCÍKOVÁ, G. et al. *Fungal and enzymatic treatment of mature municipal landfill leachate. Waste Management*, v. 34, n. 4, p. 798-803, 2014.
10. KOUL, B. et al. *Chapter 30 – Mycoremediation: A novel approach for sustainable development. Woodhead Publishing*, p. 409-420, 2021.
11. KUMAR, R. et al. *Wastewater cleanup using Phlebia acerina fungi: An insight into mycoremediation. Journal of Environmental Management*, v. 228, p. 130-139, 2018.
12. MOHAMMADIAN, E. et al. *Tolerance to heavy metals in filamentous fungi isolated from contaminated mining soils in the Zanjan Province, Iran. Chemosphere*, n. 185, p. 290-296, 20217.
13. NAZIR, A. et al. *Synergistic impact of two autochthonous saprobic fungi (A. niger and T. pseudokoningii) on the growth, ionic contents, and metals uptake in Brassica juncea L. and Vigna radiata L. under tannery solid waste contaminated soil. Int J Phytoremediation*, v. 25, n. 11, p. 1488-1500, 2023.
14. PAGANI, R. et al. *Methodi Ordinatio 2.0: revisitado sob estimativa estatística e apresentando FIndex e RankIn. Qualidade e Quantidade*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11135-022-01562-y>
15. PESENTI, M. et al. *Evaluation of the bioremediation potential of Candida spp. and Trichophyton spp. fungi in the treatment of leachate from a landfill. Holos*, v. 5, n. 39, p. 1-12, 2023.



16. SMAOUI, Y. et al. *A new approach for detoxification of landfill leachate using Trametes trogii*. *Environmental Engineering Research*, v. 24, p. 144-149, 2019.
17. SIRACUSA, G. et al. *Mycoremediation of Old and Intermediate Landfill Leachates with an Ascomycete Fungal Isolate, Lambertella sp.* *Water*, v. 12, n. 800, p. 1-16, 2020.
18. SPINA, F. et al. *Bioremediation of Landfill Leachate with Fungi: Autochthonous vs. Allochthonous Strains*. *Life*, v. 8, n. 27, p. 2-15, 2018.
19. TIGINI, V. et al. *Wastewater-Agar as a selection environment: A first step towards a fungal in-situ bioaugmentation strategy*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, n. 171, p. 443-450, 2019.
20. TIGINI, V. et al. *Mycological and ecotoxicological characterisation of landfill leachate before and after traditional treatments*. *Science of the Total Environment*, n. 459, p. 335-341, 2014.
21. WANG, Q. et al. *Effective degradation of Di-n-butyl phthalate by reusable, magnetic Fe₃O₄ nanoparticle-immobilized Pseudomonas sp. W1 and its application in simulation*. *Chemosphere*, n. 250, 2020.
22. WANG, Y. et al. *Removal and tolerance mechanism of Pb by a filamentous fungus: A case study*. *Chemosphere*, v. 225, p. 200-208, 2019.
23. ZANGANEH, F. et al. *Bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil by a synergistic effect of cyanobacteria inoculation, biochar, and purslane (Portulaca oleracea L.)*. *Environ Sci Pollut Res Int*, v. 29, n. 4, p. 6040-6059, 2022.
24. ZEGZOUTI, Y. et al. *Bioremediation of landfill leachate by Aspergillus flavus in submerged culture: Evaluation of the process efficiency by physicochemical methods and 3D fluorescence spectroscopy*. *Journal of Environmental Management*, v. 255, n. 1, 2020.