ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DO BIOCARVÃO ATIVADO E DE ZEÓLITAS NA REMEDIAÇÃO DE ÁGUAS CONTAMINADAS POR PERCOLADO DOMÉSTICO COM METAIS PESADOS

Estella Cavalcante Veiga, Alíah Guimarães Gonçalves, Franciele Aparecida Barbosa, Heitor Voltezou de Lima Franco, Isadora Moreira Cesário, Aline Oliveira Figueiredo

Etec Cônego José Bento, Avenida Nove de Julho, 745 - Jardim Pereira do Amparo (Avareí), Jacareí - SP, CEP 12327-682, Brasil, estella.veiga@aluno.cps.sp.gov.br, aliah.goncalves@aluno.cps.sp.gov.br,franciele.barbosa2@aluno.cps.sp.gov.br, heitor.franco@aluno.cps.sp.gov.br, isadora.cesario@aluno.cps.sp.gov.br, profalineofigueiredo@gmail.com

Resumo

O chorume é um líquido tóxico formado pela decomposição de resíduos, contendo matéria orgânica, metais pesados e outras substâncias que podem contaminar o solo e a água. Este trabalho teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão de literatura, a eficácia do biocarvão ativado e das zeólitas na remoção de metais pesados em efluentes contaminados pelo chorume por meio do método de adsorção. A adsorção ocorre pela retenção dos poluentes na superfície dos materiais, sendo influenciada pelo pH, concentração, temperatura, tempo de contato e características do adsorvente. Os estudos mostram que o biocarvão atua por grupos funcionais e alta retenção, enquanto as zeólitas atuam por meio de sua estrutura porosa e troca iônica. Ambos apresentam potencial na remoção de cobre, níquel, chumbo e mercúrio. Então, conclui-se que são alternativas promissoras e complementares aos tratamentos convencionais, embora sua eficiência dependa das condições do processo adsortivo.
Palavras-chave: Biochar. Zeólitas. Chorume. Adsorção.

Área do Conhecimento: Técnico

Introdução

O chorume é um resíduo líquido de forte coloração com uma alta presença de materiais orgânicos, metais pesados e substâncias tóxicas. Ele surge a partir da decomposição do material orgânico por bactérias anaeróbias e aeróbias. Quando resíduos sólidos são descartados em locais inadequados, os solos podem absorver o chorume e consequentemente contaminar os meios aquáticos, ou seja, acaba comprometendo a qualidade desses recursos.

A contaminação do solo ocorre devido a infiltração do material em questão, que acarreta na mudança do estado físico-químico da superfície, tende a elevar também a taxa de acidez, o que impacta diretamente a flora, e consequentemente, a fauna em conjunto. Além disso, a infiltração chega também aos lençóis freáticos, que ocasiona a poluição dos aquíferos, as nascentes e entre outros. A poluição da atmosfera ocorre durante a formação do chorume, processo no qual a influência climática favorece a liberação de gases tóxicos como amônia, metano, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e nitrogênio. Devido a isso, surgiu a necessidade da utilização de técnicas de bioadsorção para minimizar os impactos causados pelo chorume. Entre os materiais empregados nesse processo destacam-se as zeólitas, pedras que atuam por mecanismos de troca iônica, adsorção e catálise, favorecendo a remoção de contaminantes presentes na água. Outro material amplamente utilizado é o biocarvão, obtido por meio da pirólise da biomassa. Esse estudo consiste em uma revisão de literatura, que tem o objetivo de discutir uma das alternativas para resolver a deficiência de tratamentos de chorume com a presença de metais pesados em solução aquosa.

Metodologia

É necessária a procura de alternativas de baixo custo e alta eficiência para o processo de remediação, pois com a crescente presença de contaminantes complexos, as soluções antes eficientes, não são mais capazes de retirar os resíduos poluentes que recorrentemente são direcionados para as fontes hídricas.

Umas das principais fontes de contaminação que tem afetado diversos mananciais de água e tem sido visto como uma das dificuldades mais ressurgidas é o chorume. Pois, o contaminante apresenta metais pesados em sua composição, tornando uma ameaça significativa caso seja destinado aos recursos hídricos, podendo trazer prejuízos às suas funções ecológicas e aos organismos que dependem deste recurso. Dessa forma, a água atingida por esses contaminantes, torna-se imprópria para diferentes usos, além de representar riscos à saúde dos seres vivos, quando há bioacumulação de contaminantes em seu ambiente (Celere *et.al* , 2007).

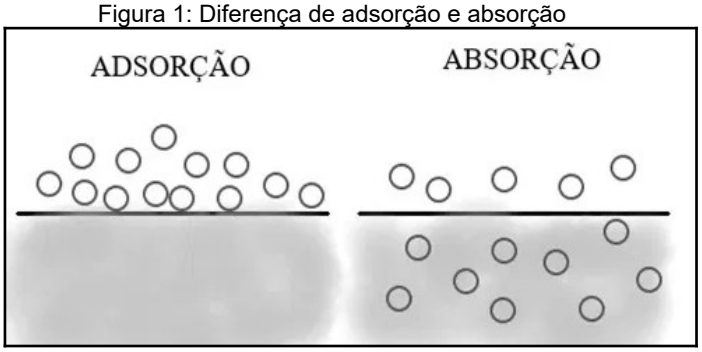
Entre os metais associados à contaminação ambiental destacam-se o Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Chumbo (Pb) e Cromo (Cr), que podem ser provenientes de indústrias, mineração, agricultura e lixões residenciais (Lima e Merçon, 2011). Outro fator é a lixiviação e a infiltração de lixões, que facilitam a entrada do percolado em águas subterrâneas, por serem locais de descarte que não possuem isolantes no solo (Gouveia, 2012).

A contaminação hídrica por metais é tão preocupante que atinge todos os níveis tróficos da cadeia de seres vivos nos ecossistemas. Em razão disso, é extremamente importante adotar soluções mitigadoras para recuperar os recursos afetados por esses metais, devido às consequências que esses contaminantes podem causar ao meio ambiente.

O tratamento convencional é baseado na Estação de Tratamento de Água (ETA), a qual consiste em processos como coagulação, floculação, decantação e filtração em leito de areia, mostrando grande eficácia na remoção da turbidez e de microrganismos habituais. Entretanto, com o frequente aumento dos níveis de poluição, o método convencional se mostra insuficiente ao se tratar de agentes contaminantes mais complexos, como o chorume.

Pensando nesta dificuldade crescente, foi necessária uma técnica capaz de minimizar os impactos causados pelo percolado e complementar os tratamentos hídricos convencionais. Por isso, a escolha do processo de adsorção, que retêm poluentes em sua área superficial diferentemente do processo absorção, como visto na Figura 1. Os materiais adsorventes (zeólitas e biocarvão), serão usados por seu potencial de aprimorar a remoção de íons metálicos presentes em soluções aquosas. A combinação dos dois componentes realiza um saneamento mais eficaz, ao tratar a parte biológica e química do método adsortivo. O biocarvão (obtido por meio da pirólise da biomassa) possui uma grande estrutura porosa e as zeólitas (minerais) atuam por mecanismos de troca iônica, adsorção e catálise, assim ambos favorecem a extração de metais pesados presentes na água.

Figura 1: Diferença de adsorção e absorção



Fonte: Brasfaiber, 2021.

A adsorção é um dos métodos mais eficazes no tratamento de efluentes contaminados por solutos tóxicos. A técnica já é utilizada em diversos setores da economia mundial como na indústria petrolífera, têxtil e de fertilizantes (Moreira, 2008).

Portanto, a revisão analisou estudos que empregaram biochar e zeólitas em processos de adsorção em batelada. Esse método consiste na adição de uma quantidade determinada de solução contendo os metais de interesse (Cobre e Níquel) e de uma massa previamente estabelecida do adsorvente, mantendo a mistura sob agitação durante um período de tempo definido. Além disso, são consideradas condições experimentais que podem influenciar o processo adsortivo, como o pH e a temperatura.

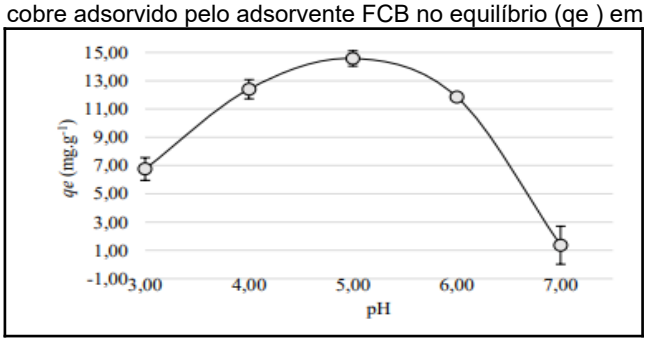
Resultados

Com base na revisão de literatura, verifica-se que o uso de bioadsorventes compostos por biocarvão ativado e zeólitas apresenta potencial para o tratamento de soluções aquosas contaminadas por percolado doméstico e metais pesados. O biocarvão, conhecido como “biochar”, é um material carbonáceo obtido por meio da pirólise de diferentes tipos de biomassa, como madeira, cascas de frutas, espécies invasoras, entre outros. Esse processo consiste na decomposição térmica da matéria-prima em condições de ausência ou limitação de oxigênio (O_2) (Joseph e Taylor, 2025).

As zeólitas, por sua vez, são aluminossilicatos hidratados compostos principalmente por silício (Si), alumínio (Al) e oxigênio (O). Sua estrutura é formada por tetraedros tridimensionais de SiO_4 e AlO_4, ligados por quatro vértices de oxigênio. Essa configuração permite que as cargas negativas sejam compensadas por cátions, formando uma estrutura aberta que possibilita a passagem e a retenção de água e outras moléculas (Shinzato, 2007). Essa estrutura apresenta cavidades e poros de aproximadamente 2 nm que, ao serem preenchidos por moléculas de água e interagirem com os cátions presentes em sua estrutura, possibilitam a retenção de diferentes elementos e metais pesados, como chumbo, cobre , níquel e mercúrio (Resende, Monte e Paiva, 2008).

A adsorção apresentou-se como um dos métodos mais eficazes no tratamento de efluentes contaminados por metais pesados. Essa técnica consiste na interação de uma substância, denominada adsorvato, presente em um líquido ou gás, com um material sólido, denominado adsorvente, fazendo com que essa substância fique retida na superfície devido às forças de atração entre as moléculas (Fontes, 2010). A eficiência da adsorção está diretamente relacionada às características do material utilizado como adsorvente, uma vez que fatores como área superficial, quantidade de sítios ativos, composição química da superfície, pH, temperatura e o tempo podem influenciar a capacidade de retenção dos metais. No estudo de caso de Silva *et. al* (2020), os resultados obtidos diante a adsorção realizada (pelo biochar de casca de banana) mostram que em pH 5 foi possível alcançar o máximo de adsorção e eficiência na remoção de íons cobre, na qual é melhor visualizado na Figura 2. Nesse sentido, materiais de origem biológica e mineral apresentam potencial para atuar como adsorventes, principalmente devido à presença de estruturas e grupos funcionais capazes de interagir com os íons metálicos.

Figura 2: Quantidade de cobre adsorvido pelo adsorvente FCB no equilíbrio (qe) em função do pH.



Fonte: Revista Matéria, 2020.

Os resultados encontrados na literatura também demonstram a importância da utilização de técnicas complementares aos tratamentos convencionais para a remoção de contaminantes presentes em recursos hídricos. Entretanto, com o frequente aumento dos níveis de poluição nos recursos hídricos, principalmente devido à lixiviação de percolados de aterros sanitários, esse método pode apresentar limitações diante de agentes contaminantes mais complexos, como o chorume.

A utilização desses materiais pode contribuir para a redução da concentração de contaminantes e atuar como alternativa complementar aos métodos convencionais de tratamento. Todavia, a eficiência do processo pode variar de acordo com o tipo de adsorvente, o metal presente na solução e as condições utilizadas durante o processo de adsorção.

Discussão

Os estudos analisados demonstram que tanto o biochar quanto as zeólitas apresentam potencial para a remoção de metais pesados, como cobre e níquel , em meio aquoso. Entretanto, a eficiência desses materiais pode variar de acordo com fatores como pH, concentração inicial do contaminante, tempo de contato e características do adsorvente.

Segundo Mei, Zhuang e Wang (2025), a remoção de metais pelo biochar pode ocorrer por diferentes mecanismos, como complexação e interação com os grupos funcionais presentes em sua superfície. Além disso, Lu et al. (2022) destacam que características como a matéria-prima e o processo de ativação podem influenciar significativamente sua capacidade de adsorção.

Em relação às zeólitas, Velarde et al. (2023) ressaltam que sua eficiência está relacionada principalmente à estrutura porosa e à capacidade de troca catiônica, permitindo a retenção de diferentes metais presentes na solução. Dessa forma, as diferenças encontradas entre os estudos podem estar relacionadas tanto às propriedades dos materiais quanto às condições experimentais utilizadas.

Ao comparar os dois adsorventes, observa-se que não é possível determinar um material como mais eficiente, pois seu desempenho depende do metal e das condições do processo. Viana et al. (2025) também destacam o potencial da utilização de biochar e zeólitas, inclusive juntos, para a redução da disponibilidade de metais pesados.

Assim, os resultados desta revisão indicam que ambos os materiais são alternativas promissoras para o tratamento de águas contaminadas por metais pesados. No entanto, são necessários mais estudos utilizando condições próximas às encontradas em efluentes reais e envolvendo a presença simultânea de diferentes metais, como cobre e níquel.

Conclusão

Conclui-se que o percolado doméstico representa um problema ambiental devido a presença de metais pesados (como o Cobre o Níquel), que podem contaminar o solo e recursos aquosos, que podem permanecer no solo e no ambiente por longos períodos e causar impactos aos seres vivos. A revisão de literatura mostrou que os tratamentos convencionais apresentam limitações na remoção desses contaminantes, tornando necessária a utilização de métodos complementares.

Nesse contexto, o biocarvão ativado e as zeólitas apresentam potencial para serem utilizados como adsorventes na remoção de metais pesados, como cobre e níquel. Suas características, como estrutura porosa e a capacidade de troca iônica das zeólitas favorecem a retenção dos contaminantes presentes na água, entretanto, a eficácia do método pode variar de acordo com o material utilizado, o metal presente e as condições do processo. Dessa forma, os bioadsorventes podem ser considerados uma alternativa eficaz e complementar aos métodos já utilizados no tratamento das águas contaminadas por percolado.

Referências

BRASFAIBER. **Filtragem de odores: saiba a importância do filtro de carvão ativado na indústria.** 2021. Disponível em: https://www.brasfaiber.com.br/blog/filtragem-de-odores-saiba-a-importancia-do-filtro-de-carvao-ativado-na-industria/. Acesso em ago. 2026

BRITO, Anielle dos Santos. **Influência do conteúdo orgânico na mobilidade de metais pesados em sedimentos do leito da rede de drenagem natural de microbacias urbanas no Cariri Cearense.** 2022. Acesso em julho. 2026

CASELLATO, Thais Fernanda; DE FREITAS BUENO, Rodrigo; COELHO, Lucia Helena Gomes. Tecnologias avançadas para o tratamento de chorume e prevenção da contaminação de lençois freáticos: uma revisão sistemática. **Águas Subterrâneas**, v. 39, n. 1, p. e30305-e30305, 2025. Acesso em maio. 2026

CELERE, Marina Smidt et al. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. 939-947, 2007. Acesso em maio. 2026

FONTES, Vilsinéia dos Anjos. **Estudo de adsorvente obtido de terras diatomáceas para remoção de metais pesados em águas produzidas: processamento, caracterização e dinâmica em leito fixo**. 2010. Acesso em julho. 2026

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012. Acesso em julho. 2026

JOSEPH, Stephen; TAYLOR, Paul. **Biochar: um guia prático para produção, uso e aplicação**. Tradução técnica: Amanda Ronix *et al*. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, 2025. 325 p. Disponível em: https://www.editora.puc-rio.br/media/Biochar%20-%20livro%20digital.pdf. Acesso em julho. 2026.

LEANDRO-SILVA, Emerson et al. Aplicação dos modelos de Langmuir e Freundlich no estudo da casca de banana como bioadsorvente de cobre (II) em meio aquoso. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 2, p. e-12656, 2020. Acesso em julho. 2026

LIMA, Daniel Pandilha de et al. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 45, p. 405-414, 2015. Acesso em julho. 2026

LIMA, Verônica Ferreira; MERÇON, Fábio. Metais pesados no ensino de química. **Química nova na escola**, v. 33, n. 4, p. 199-205, 2011. Acesso em julho. 2026

LU, S. et al. Métodos de ativação aumentam o potencial do biochar para a adsorção de metais pesados e a remediação ambiental: uma meta-análise global. **Science of the Total Environment**, v. 831, 161252, 2022. Acesso em agosto de 2026

MEI, Y.; ZHUANG, S.; WANG, J. Adsorção de metais pesados por biochar em solução aquosa: uma revisão. **Science of the Total Environment**, v. 968, 178898, 2025. Acesso em agosto de 2026

MOREIRA, Sarah de Abreu. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo**. 2008. Acesso em abril. 2026

RESENDE, Nélio das Graças de Andrade da Mata; MONTE, Marisa Bezerra de Mello; PAIVA, Paulo Renato Perdigão de. **Zeólitas naturais**. Acesso em junho. 2026

SHINZATO, Mirian Chieko. Remoção de metais pesados em solução por zeólitas naturais: revisão crítica. **Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)** , p. 65-78, 2007. Acesso em junho. 2026

VELARDE, L.; NABAVI, M. S.; ESCALERA, E.; ANTTI, M.-L.; AKHTAR, F.* Adsorção de metais pesados em zeólitas naturais: uma revisão. **Chemosphere**, v. 328. Acesso em agosto de 2026

VIANA, R. S. R. et al. Remediação aprimorada de solos contaminados por metais pesados utilizando combinações de biochar e zeólita com aditivos: uma meta-análise. **Environmental Pollution**, v. 367, 125617, 2025. Acesso em agosto de 2026.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com orientação da Aline Figueiredo e com o apoio da coordenação da Escola Agrícola Etec Cônego José Bento.