

## USO DE RESÍDUOS DE PIRÓLISE E DE COMBUSTÃO DE BIOMASSA PARA REMOÇÃO DE POLUENTES EM SOLUÇÃO AQUOSA

Ariane Arruda Martins, Jeane de Almeida do Rosário, Viviane Aparecida Spinelli Schein,  
Flávio José Simioni

### INTRODUÇÃO

A contaminação de corpos hídricos por metais pesados, proveniente de atividades industriais como mineração e galvanoplastia, representa um sério risco ambiental devido à toxicidade e persistência desses poluentes. A adsorção surge como uma tecnologia promissora por sua alta eficiência e simplicidade operacional. Nesse contexto, o biochar, um material carbonáceo gerado a partir da pirólise de biomassa, destaca-se como um adsorvente sustentável. Visando à valorização de resíduos industriais, este estudo investigou e comparou a capacidade de adsorção de íons de chumbo ( $Pb^{2+}$ ) por dois tipos de biochar: A) resíduo gerado em processo de pirólise de biomassa (eucalipto); B) resíduo gerado em processo de combustão de biomassa (pinus e eucalipto).

### DESENVOLVIMENTO

As amostras de biochar (A e B) foram maceradas e peneiradas em uma granulometria padrão de 200 mesh. A caracterização da carga superficial foi realizada pela determinação do Ponto de Carga Zero (pHPZC), utilizando-se a metodologia descrita por Regalbuto e Robles (2004) com uma solução de NaCl 0,1 mol/L. Os ensaios de adsorção em batelada iniciaram com a avaliação da influência do pH (faixa de 1 a 12), utilizando 200 mg de adsorvente em 50 mL de solução de Pb (50 mg/L). O estudo cinético foi conduzido em shaker (150 rpm, 25 °C) com solução de Pb de 200 mg/L (pH 7), avaliando-se tempos de contato de 5 minutos a 30 horas para determinar o tempo de equilíbrio. Por fim, o estudo de isotermas foi realizado sob as condições de equilíbrio, com concentrações iniciais de Pb de 200 a 1000 mg/L, para determinar a capacidade máxima de adsorção de cada material.

### RESULTADOS

Ambos os biochars apresentaram eficiência de remoção de Pb superior a 99,9% na faixa de pH de 4 a 11, demonstrando alta versatilidade. O Ponto de Carga Zero (pHPZC) dos biochars foi determinado em aproximadamente 8,4 para a amostra A e 8,0 para a amostra B. Este parâmetro é crucial, pois a carga superficial do material é afetada pela concentração de íons de hidrogênio, o que significa que a superfície do biochar será positivamente carregada em pHs abaixo de seu pHZC e negativamente carregada em pHs acima. Essa variação de carga governa a afinidade por íons em solução, favorecendo a atração de ânions pela superfície positiva e de cátions pela superfície negativa através de interações eletrostáticas. Toda essa interpretação é consistente com a análise de Karaca et al. (2021), que empregaram uma metodologia análoga para a determinação do pHZC, adicionando o material a soluções de NaCl com diferentes pHs e medindo o valor final após um período de equilíbrio.

A análise cinética revelou comportamentos distintos, que podem ser visualizados nos gráficos do estudo original: o biochar A atinge um platô de saturação quase instantaneamente,

alcançando o equilíbrio em menos de 1 hora, o que é característico de um processo controlado por difusão externa (Pseudo 1<sup>a</sup> Ordem,  $R^2=0,99993$ ). Em contraste, o biochar B exibe uma curva de ascensão mais gradual, necessitando de cerca de 6 horas para atingir o equilíbrio, ajustando-se ao modelo de Pseudo 2<sup>a</sup> Ordem ( $R^2=0,99949$ ), indicativo de quimissorção. Apesar da cinética mais lenta, o biochar B apresentou boa disponibilidade de sítios ativos.

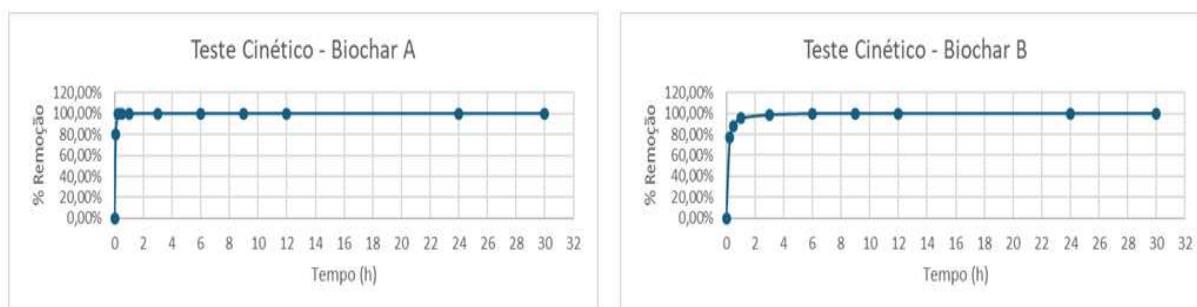
## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou que os resíduos da queima de biomassa (biochars A e B) são adsorventes de alto valor agregado, oferecendo uma solução sustentável e de baixo custo para a remoção de chumbo em águas contaminadas. A análise comparativa revelou um importante *trade-off*: o Biochar A destacou-se pela sua cinética de adsorção extremamente rápida, enquanto o Biochar B demonstrou uma capacidade máxima de adsorção significativamente superior. Portanto, a escolha entre os adsorventes dependerá da prerrogativa do processo de tratamento: para sistemas que demandam rapidez, o Biochar A é a opção ideal; para processos em que a maximização da remoção por massa de adsorvente é prioritária, o Biochar B se mostra mais eficiente.

Para dar continuidade a essa linha de pesquisa e avançar em direção a uma aplicação prática, os próximos passos incluem a repetição do estudo de isotermas para ambos os biochars. Isso permitirá refinar os dados de capacidade máxima de adsorção e garantir maior robustez estatística aos modelos matemáticos.

**Palavras-chave:** adsorção; biochar; chumbo.

## ILUSTRAÇÕES



**Figura 1:** Teste de cinética do biochar A e B.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISWAL, B. K.; BALASUBRAMANIAN, R. **Use of biochar as a low-cost adsorbent for removal of heavy metals from water and wastewater: A review**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 11, n. 5, 111138, 2023. DOI: 10.1016/j.jece.2023.111138.

HAMA AZIZ, K. H.; KAREEM, R. **Recent advances in water remediation from toxic heavy metals using biochar as a green and efficient adsorbent: A review.** Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, v. 8, 100466, 2023. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100466.

INYANG, M. I. et al. **A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 46, n. 4, p. 406-433, 2016. DOI: 10.1080/10643389.2015.1072910.

TILWANKAR, V.; RAI, S.; BAJPAI, S. P. **A review on contamination profile of heavy metals and its role in environment.** Plant Archives, v. 18, n. 2, p. 1239-1247, 2018.

TING, A. S. Y. **Microbial cells dead or alive: Prospect, potential and innovations for heavy metal removal.** In: CHANDRA, R. (ed.). Advances in Biodegradation and Bioremediation of Industrial Waste. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 1-28. DOI: 10.1201/b18218.

TORABIAN, S. et al. **Biochar: An organic amendment to crops and an environmental solution.** AIMS Agriculture and Food, v. 6, n. 1, p. 102-117, 2021. DOI: 10.3934/agr.2021006.

WILLIS, G.; DONATI, E. R. **Heavy metal bioprecipitation: Use of sulfate-reducing microorganisms.** In: CASTRO-SILVA, A. A.; MORAIS, M. G. de (ed.). Heavy Metals in the Environment: Microorganisms and Bioremediation. Boca Raton: CRC Press, 2018. p. 89-114. DOI: 10.1201/b22013.

KARACA, S.; ÖNAL, E. Ç.; AÇIŞLI, Ö.; KHATAEE, A. **Preparation of chitosan modified montmorillonite biocomposite for sonocatalysis of dyes: Parameters and degradation mechanism.** Materials Chemistry and Physics, v. 260, 124125, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.124125>. Acesso em: 28 ago. 2025.

---

#### DADOS CADASTRAIS

---

**BOLSISTA:** Ariane Arruda Martins

**MODALIDADE DE BOLSA:** PROBIC/UDESC

**VIGÊNCIA:** 01/09/2024 a 31/08/2025– Total: 12 meses

**ORIENTADOR:** Flávio José Simioni

**CENTRO DE ENSINO:** CAV

**DEPARTAMENTO:** Engenharia Ambiental e Sanitária

**ÁREAS DE CONHECIMENTO:** Ciências Ambientais

**TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA:** Soluções Tecnológicas para Aproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais.

**Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA:** PVAV77-2024