DESENVOLVIMENTO DE ADSORVENTE PROVENIENTE DE CASCAS DE *Moringa oleifera Lam.* FUNCIONALIZADAS COM NANOPARTÍCULAS PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Lorena dos Santos Nunes (PIBIC/CNPq/UEM), Marcelo Fernandes Vieira (orientador). E-mail: mfvieira2@uem.br.
Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Química / Tecnologia Química.

Palavras-chave: Moringa oleifera LAM**;** Adsorção; Contaminantes emergentes.

RESUMO

Diante do desafio da poluição da água por contaminantes emergentes, que têm potencial impacto ecológico e à saúde da população, desenvolve-se o estudo do processo de adsorção, considerado simples, economicamente viável e em que podem ser utilizados resíduos de outros processos, com capacidade para a remoção destes contaminantes. Dentre esses materiais, têm-se as cascas da Moringa oleifera Lam. que possuem interações favoráveis com poluentes e podem ser impregnadas com nanopartículas metálicas, aumentando ainda mais sua eficiência. Desse modo, este trabalho desenvolveu um material adsorvente a partir das cascas de Moringa, com impregnação de nanopartículas de ferro por síntese verde, para a remoção do fármaco sertralina, o material foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura (MEV), potencial zeta, ponto de carga zero (pHPCZ) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Também foi testada sua capacidade adsortiva, avaliando a capacidade adsortiva e porcentagem de remoção, chegando na massa ótima do adsorvente como 28 mg, pH ótimo como meio alcalino (pH 10), avaliação cinética com equilíbrio em 600 min, com melhor ajuste ao modelo de Elovich (R^2 = 0,95), e isoterma com capacidade máxima de adsorção de 58,12 mg g^{-1} para uma temperatura de 25 °C e ajustada pelo modelo de Sips (R^2 = 0,94). Assim confirmando a capacidade do material como adsorvente.

INTRODUÇÃO

Um crescente desafio em questão de tratamento de água é a presença de contaminantes emergentes, em especial, fármacos como a sertralina, que podem causar riscos ao ecossistema e à saúde humana (Liu et al., 2025). Nesse sentido, a adsorção surge como uma tecnologia de operação simples, custos reduzidos e até mesmo provinda de fontes renováveis. (Al-Gethami et al., 2024). Dentre os materiais aplicáveis para a adsorção, destaca-se a biomassa de Moringa oleifera Lam., cujas demonstraram seu potencial como materiais adsorventes devido a seus grupos funcionais, que mantém interações favoráveis com poluentes orgânicos e metálicos, e que pode ter a melhoria de eficiência pela funcionalização

com nanopartículas metálicas. Sendo assim, o presente trabalho busca investigar este desempenho adsortivo na remoção do fármaco sertralina, estudando sua caracterização para compreender o que impulsiona essa capacidade e verificando em ensaios adsortivos. (Tegegne et al., 2023).

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção, preparo e síntese do material adsorvente

As cascas de *Moringa oleifera* foram coletadas, lavadas com água destilada para remoção de impurezas, secas em estufa a 60 °C e trituradas até a obtenção de partículas finas. A biomassa foi submetida a um processo de ativação química com ácido nítrico e em sequência foi funcionalizada com nanopartículas de ferro por meio de síntese verde, segundo metodologia proposta por Demiti et al., (2025), utilizando o extrato obtido das folhas da própria moringa como agente redutor e estabilizante. Nesse processo, os compostos bioativos presentes no extrato vegetal promovem a redução dos íons metálicos e auxiliam na estabilização das nanopartículas formadas sobre a superfície da biomassa, favorecendo a dispersão do material e a formação de novos sítios ativos.

Caracterização do adsorvente

A caracterização foi realizada por microscopia eletrônica de varredura ((MEV; Shimadzu SuperScan SS-550), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR; 400–4000 cm^{-1}, Thermo Fisher Scientific Inc.), potencial zeta (pH 2–12, Beckman Coulter Delsa™ Nano UI) e determinação do ponto de carga zero (pHpcz), obtido pela comparação entre os valores de pH inicial e final das soluções.

Ensaios adsortivos

Testes procedidos em batelada com agitador orbital (TECNAL TE-4200) avaliando a eficiência do material na remoção de sertralina por espectrofotometria UV-Vis (HACH DR6000; 273 nm) após filtração (0,45 µm). Os testes foram realizados em C0=20 mg L^{-1}, 20 mL, 150 rpm e 25 °C, avaliando os efeitos da massa (20,00-40,00 mg), do pH (4-10), a cinética pelos modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Elovich, e isotermas obtidas em temperaturas de 25-45 °C, com concentrações de 5–200 mg L^{-1}, e ajustadas aos modelos de Langmuir, Freundlich e Sips.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando as caracterizações obtidas, verificadas na Figura 1, têm-se as imagens MEV (Figura 1a-b), onde nota-se a superfície rugosa e com presença de estruturas fibrosas, além do brilho resultante da detecção de elétrons retroespalhados, indicando a deposição de partículas de ferro nessas regiões. Os espectros FTIR,

que indicam os grupos funcionais dessas estruturas lignocelulósicas, enfatizando sua maior incidência no material impregnado com ferro (Figura 1c). E o potencial zeta (Figura 1d) de cargas predominantemente negativas tanto para o material em natura quanto após a impregnação, indicando melhor adsorção de materiais catiônicos. Em síntese, os resultados da caracterização são condizentes com a literatura e reafirmam o potencial adsorvente do material estudado.

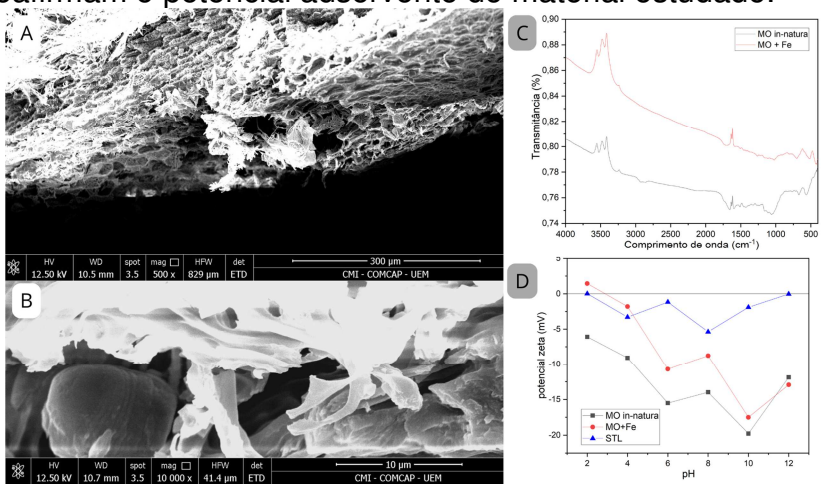


Figura 1 - Caracterização da Moringa *in natura* (MO) e da moringa impregnada com ferro (MO-Fe): (a) MEV a 500×; (b) MEV a 10000×; (c) espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR); e (d) potencial zeta.

.

Quanto aos ensaios adsortivos, dispostos na Figura 2, o ensaio de massa indicou a dosagem ótima como 28 mg, representando o ponto de interseção entre a capacidade adsortiva e a porcentagem de remoção (Figura 2a). Para o ensaio de pH, foram obtidas capacidades adsortivas de 9,6 mg g^{-1} (pH 4), 12,6 mg g^{-1} (pH 7) e 14,5 mg g^{-1} (pH 10), indicando o meio alcalino como mais eficiente (Figura 2b)

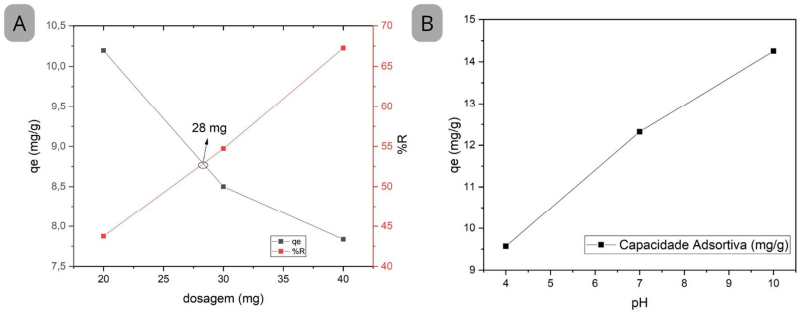


Figura 2 - Ensaios de adsorção (a) Ensaio de Massa (b) Ensaio de pH.

O ensaio cinético, o tempo de equilíbrio apresentado foi de 600 min, com melhor ajuste ao modelo de Elovich (R^2 = 0,95) com capacidade adsortiva no equilíbrio de 8,6 mg g^{-1} (Figura 3a). Por fim, para as isotermas, a capacidade adsortiva máxima foi de 58,12 mg g^{-1} para 25 °C com melhor ajuste para o modelo de Sips, com R^2 = 0,94 (Figura 3b), o modelo indica uma superfície heterogênea do material, estando de acordo com o observado na etapa de caracterização.

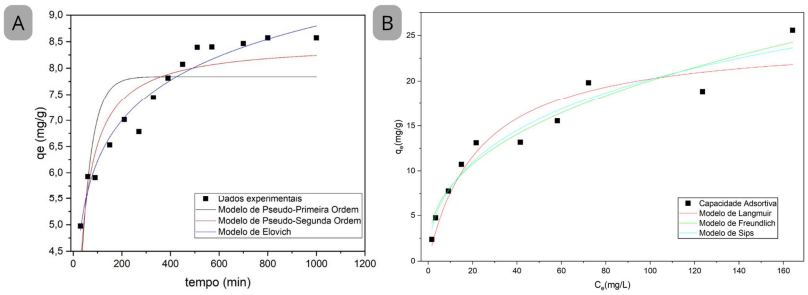


Figura 3 - Ensaios de adsorção (a) Ensaio Cinético (b) Estudo das Isotermas.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo atestam a eficiência da casca de moringa funcionalizada com nanopartículas de ferro para a remoção de contaminantes em sistemas de adsorção em batelada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida, à Universidade Estadual de Maringá e ao LGCPA (Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental) por todo apoio.

REFERÊNCIAS

AL-GETHAMI, W., QAMAR, M. A., SHARIQ, M., ALAGHAZ, A. N. M. A., FARHAN, A., & ALNASIR, M. H. (2024). Emerging environmentally friendly bio-based nanocomposites for the efficient removal of dyes and micropollutants from wastewater by adsorption: A comprehensive review. **RSC Advances**, 14, 2804–2834. https://doi.org/10.1039/D3RA06501D

DEMITI, G. M. M. *et al.* Removing pharmaceuticals from water with natural and modified zeolites: kinetics, thermodynamics, and competitive adsorption in a multi-drug system. **Journal of Molecular Liquids**, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.126688.

LIU, Z., GAN, Y., LUO, J., LUO, X., DING, C., & CUI, Y. (2025). Current status of emerging contaminant models and their applications concerning the aquatic environment: A review. **Water,** 17(1), 85. https://doi.org/10.3390/w17010085

TEGEGNE, B. T., CHANDRAVANSHI, B. S., ZEWGE, F., & CHIMUKA, L. (2023). Moringa oleifera (seed husk, seed cake and water-soluble protein) as a natural adsorbent for the removal of multi-class pharmaceuticals from water. **Desalination and Water Treatment**, 307, 92–104. https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29864