ESTUDO DE ADSORÇÃO E DESSORÇÃO DO AZUL DE METILENO EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO DE COCO DE BABAÇU COMO ADSORVENTE

Alanis Yukari Nishizawa (PIBIC), Simone de Lima Bazana, João Gabriel da Silva Andrade (Coorientador), Fernando Rodrigues de Carvalho (Orientador) E-mail: frcarvalho@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Tecnologia, Umuarama, PR

Engenharias / Engenharia Química

Palavras-chave: Reutilização; Carvão ativado; Corante.

RESUMO

A técnica de adsorção empregando resíduos agroindustriais tem se destacado como uma técnica de baixo custo para tratamentos de efluentes contendo corante. Este estudo avaliou o desempenho do carvão ativado de coco de babaçu (CACB) na adsorção e dessorção de azul de metileno (AM) durante dez ciclos consecutivos. A capacidade de adsorção diminuiu de 13,55 para 11,61 mg g^{-1}, correspondendo a uma redução de aproximadamente 14,3%, enquanto a eficiência de remoção passou de aproximadamente 100% para 86%. Em contrapartida, observou-se aumento progressivo da quantidade de AM dessorvida, indicando possível retenção residual do corante e redução da disponibilidade de sítios de adsorção ao longo dos ciclos. Entre os agentes regenerantes avaliados, 83% EtOH/HCl (0,1 mol L^{-1}) apresentou a maior dessorção, atingindo 0,0798 mg g^{-1} e 0,688% no décimo ciclo. Apesar do aumento da dessorção, os valores permaneceram baixos, indicando regeneração química limitada. Os resultados demonstram que o CACB apresenta boa estabilidade para remoção de AM, mas baixa regenerabilidade nas condições avaliadas.

INTRODUÇÂO

Corantes são compostos químicos capazes de trazer sérios riscos para a saúde humana e para a vida aquática (ROY; SAHA, 2021). O azul de metileno (AM) pode causar vários problemas ao ser humano, tais como queimadura nos olhos, irritação no trato gastrointestinal e na pele. Adicionalmente, quando descartado nas águas naturais, sem tratamento adequado, o AM pode prejudicar a penetração dos raios solares no ambiente aquático e, consequentemente, diminuir a atividade fotossintética natural, prejudicando a biota aquática e originando toxicidade ao ecossistema (COROS *et al.*, 2020).

Dentre os vários métodos empregados para a remoção de corantes de águas naturais, o método de adsorção tem sido uma alternativa viável e de baixo custo quando comparado aos métodos tradicionais (WANG *et al.*, 2022) para ser empregado no tratamento de efluentes industriais. O carvão ativado oriundo de

fontes minerais é o adsorvente mais empregado devido à sua alta capacidade de adsorção (ERDEM; ÇÖLGEÇEN; DONAT, 2005). No entanto, o seu custo é elevado (CORDA; KINI, 2018). Diversos estudos têm sido realizados com o intuito de encontrar adsorventes mais baratos (ENIOLA *et al.*, 2023). Neste contexto, a casca do coco de babaçu (*Orbignya phalerata*) é um abundante resíduo agrícola e um excelente candidato para se obter o carvão ativado para empregar como material adsorvente de corante.

Apesar dos benefícios da técnica de adsorção, outro desafio é o que fazer com o adsorvente carregado de corante tóxico. Para lidar com este problema, é de suma importância o estudo de diversos reagentes ou solventes que sejam capazes de remover o corante do adsorvente (processo de dessorção). Este trabalho teve como objetivo estudar a capacidade de adsorção e desorção do carvão ativado de coco de babaçu (CACB) por diversos ciclos consecutivos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi empregada uma solução de azul de metileno (AM) de 75 mg L^{-1}. Para garantir maior adsorção do corante, o pH foi ajustado para 11, empregando um pHmetro. A determinação do AM em solução será realizada por espectrofotometria UV-Vis, monitorando-se o pico máximo de absorção do AM (664 nm), segundo a Lei de Lambert-Beer. O CACB foi lavado com água destilada, seco em uma estufa a 105 ºC por 24 h e peneirado na granulometria de 600 micrômetros. Para o estudo de adsorção empregou-se a proporção de 5 g de CACB para 900 mL de solução de AM (5,56 g L^{-1}). A solução ficou em agitação magnética por 30 min. Após a agitação, o sobrenadante foi removido e armazenado e o CACB com AM adsorvido (CACB/AM) foi colocado em estufa para secagem. Para o estudo de dessorção, foi adicionado o CACB/AM seco na proporção de 1,0 g do material para 30 mL de solvente (33,33 g L^{-1}) em 3 condições: i) 100% etanol; ii) 83% etanol/solução de HCl (0,1 mol L^{-1}) e iii) 50% etanol/solução de HCl (0,1 mol L^{-1}). A solução ficou em agitação magnética também por 30 min. Após a dessorção, o sobrenadante foi armazenado e o adsorvente foi colocado novamente na estufa para secagem, fechando o primeiro ciclo. Os mesmos procedimentos foram aplicados até o décimo ciclo. A capacidade de adsorção e dessorção, a porcentagem de adsorção e dessorção foram calculadas empregando as seguintes equações:

$$q_{ads/des} = V.(C_i - C_e)/M$$

$$A(\%) = [(C_i - C_e)/C_i].100$$

$$D(\%) = (q_{des}/q_{ads})x100.$$

Onde $q_{ads/des}$ é a quantidade de AM adsorvida ou dessorvida por grama de adsorvente no equilíbrio (mg g^{-1}), A(%) é a eficiência de remoção, C_i e C_e são as concentrações iniciais e no equilíbrio, respectivamente, do AM em mg L^{-1}, V é o volume da solução em litros (L) e M é a massa do adsorvente em gramas (g). D(%) é o percentual de dessorção relativo no respectivo ciclo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O CACB apresentou elevada eficiência na remoção de AM, porém com redução gradual do desempenho ao longo dos dez ciclos. A capacidade de adsorção diminuiu de 13,55 para 11,61 mg g^{-1}, correspondendo a uma redução de aproximadamente 14,3%, enquanto a remoção passou de aproximadamente 100% para 86% (Figura 1 A). Esse comportamento pode estar associado à regeneração incompleta do adsorvente, com retenção de AM após as etapas de dessorção e consequente redução da disponibilidade de sítios e/ou acessibilidade aos poros.

Em contraste com q_{ads}, a quantidade de AM dessorvida aumentou progressivamente ao longo dos ciclos. Para 83% EtOH/HCl (0,1 mol L^{-1}), por exemplo, q_{des} aumentou de 0,0222 para 0,0798 mg g^{-1}, aproximadamente 3,6 vezes, sendo este o eluente que apresentou a maior dessorção no décimo ciclo (0,688%) (Figura 1B). A combinação entre meio ácido e etanol pode favorecer a liberação do AM por alterações na protonação dos grupos superficiais e pela modificação das propriedades do meio, embora a baixa dessorção indique que grande parte do corante permanece fortemente retida no CACB. A literatura demonstra que a eficiência da regeneração depende fortemente da natureza do adsorvente, do adsorvato e do regenerante, não sendo a presença de ácido, isoladamente, suficiente para garantir elevada dessorção (LU et al., 2011).

Assim, os resultados indicam que o CACB apresenta boa estabilidade de remoção, mantendo 86% de eficiência após dez ciclos, mas baixa regenerabilidade química nas condições avaliadas. A diminuição de q_{ads} concomitante ao aumento de q_{des} sugere acúmulo progressivo de AM no adsorvente e alteração da disponibilidade dos sítios ativos de adsorção.

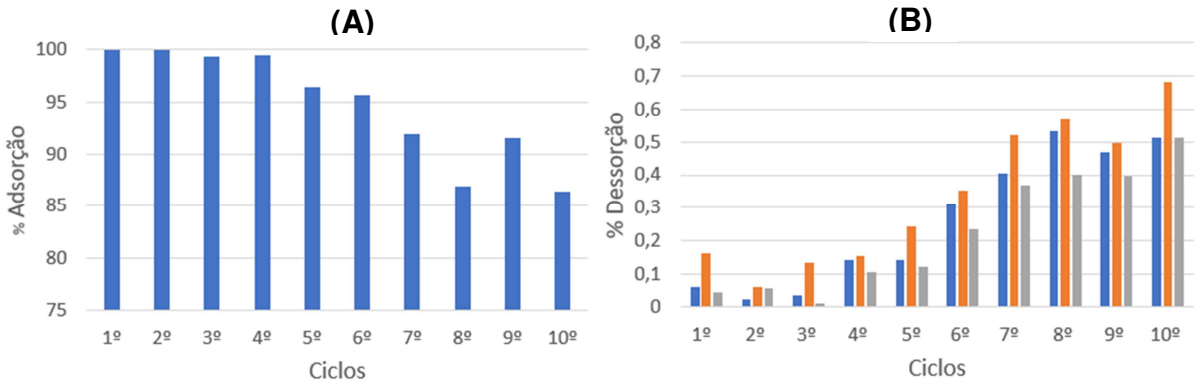


Figura 1. Porcentagem de adsorção **(A)** e dessorção **(B)**. No gráfico B: barra azul: 100% EtOH/HCl; barra laranja: 83% EtOH/HCl e barra cinza: 50% EtOH/HCl.

CONCLUSÕES

O CACB apresentou elevada eficiência na remoção de AM, mantendo 86% de remoção após dez ciclos. A capacidade de adsorção reduziu aproximadamente 14,3% ao longo dos ciclos. A dessorção aumentou progressivamente, sendo maior para 83% EtOH/HCl, mas permaneceu inferior a 0,7%. A regeneração química do CACB é limitada, com provável retenção residual de AM no adsorvente.

O CACB apresentou boa estabilidade de adsorção, porém baixa regenerabilidade nas condições avaliadas.

AGRADECIMENTOS

Universidade Estadual de Maringá (UEM). Fundação Araucária.

REFERÊNCIAS

CORDA, NIKITA CHRISHEL; KINI, M. SRINIVAS. A review on adsorption of cationic dyes using activated carbon. **In: MATEC Web of Conferences**. **EDP Sciences**, p. 02022, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1051/matecconf/201814402022. Acesso em: 21 agosto 2026.

COROS, M.; SOCACI, C.; PRUNEANU, S.; POGACEAN, F.; ROSU, M. C.; TURZA, A. MAGERUSAN, L. Thermally reduced graphene oxide as green and easily available adsorbent for sunset yellow decontamination. **Environmental Research**, v. 182, n. 109047, p. 1-9. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109047. Acesso em: 21 agosto 2026.

ENIOLA, J. O.; SIZIRICI, B.; FSEHA, Y.; SHAHEEN, J. F.; ABOULELLA, A. M. Application of conventional and emerging low-cost adsorbents as sustainable materials for removal of contaminants from water. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 38, p. 88245-88271, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-023-28399-8. Acesso em: 21 agosto 2026.

ERDEM, E.; ÇÖLGEÇEN, G.; DONAT, R. The removal of textile dyes by diatomite earth. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 282, n. 2, p. 314-319, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.166. Acesso em: 21 agosto 2026.

LU, P.-J.; LIN, H.-C.; YU, W.-T.; CHERN, J.-M. Chemical regeneration of activated carbon used for dye adsorption. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 42, n. 2, p. 305–311, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.06.001. Acesso em: 31 agosto 2026.

ROY, M.; SAHA, R. Dyes and their removal technologies from wastewater: A critical review. **Intelligent environmental data monitoring for pollution management**, p. 127-160, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819671-7.00006-3. Acesso em: 21 agosto 2026.

WANG, Q.; ZHU, S.; XI, C.; ZHANG, F. A review: adsorption and removal of heavy metals based on polyamide-amines composites. **Frontiers in Chemistry**, v. 10, p. 1-15, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fchem.2022.814643. Acesso em: 21 agosto 2026.