



Biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar modificado com solvente eutético para remoção de Cr(VI) de meio aquoso

Guilherme Gerrit A. Z. Van Opbergen* (PG); Matheus J. F. Bazzana (PQ); Guilherme Max Dias Ferreira* (PQ)

¹ Grupo de Materiais, Interfaces e Soluções (MatIS), Universidade Federal de Lavras, Departamento de Química, Instituto de Ciências Naturais, Lavras, Minas Gerais, Brasil, 37200-900.

*guilherme.opbergen1@estudante.ufla.br; guilherme.ferreira@ufla.br

RESUMO

A presença de elementos potencialmente tóxicos, como o íon dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), em ambientes aquáticos representa um risco relevante à saúde humana e aos ecossistemas, estando geralmente associada ao descarte inadequado de efluentes industriais. Entre os métodos de tratamento desses efluentes, a adsorção com biocarvões se destaca pela simplicidade, baixo custo e elevada eficiência. Este estudo avaliou a remoção de Cr(VI) de solução aquosa por biocarvões derivados do bagaço de cana-de-açúcar, modificados com ácido metanossulfônico (MSA) ou com solvente eutético profundo (DES) formado por MSA e cloreto de colina (ChCl), pirolisados a 400 °C ou 600 °C. Os biocarvões obtidos a 400 °C apresentaram melhores eficiências de remoção para o íon dicromato do que os pirolisados a 600 °C, com diferenças de até 30%. O material CADES4 (modificado com MSA e ChCl, pirolisado a 400 °C) apresentou a maior remoção (73,13%) em solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 100 mg L⁻¹. Os resultados indicam que o uso do DES melhorou a performance de adsorção do material.

Palavras-chave: Resíduo agroindustrial; Solvente Eutético Profundo; Pirólise; Adsorção; Elementos Potencialmente Tóxicos.

Introdução

Diversos processos industriais, como a mineração, galvanoplastia e curtume, geram resíduos contendo elementos potencialmente tóxicos (EPTs), como o cromo (VI), que ameaçam ecossistemas aquáticos e terrestres, mesmo em baixas concentrações (1, 2, 3). Nesse sentido, as técnicas de adsorção são eficazes e de baixo custo para remoção desses contaminantes, com destaque para o uso de adsorventes baseados em biocarvões obtidos por meio da pirólise de biomassas lignocelulósicas (1, 4 e 5). No entanto, suas propriedades físico-químicas podem ser limitadas quando estes materiais não passam por modificações para melhorar as propriedades de superfície (6). Nesse contexto, modificações com ácidos e solventes eutéticos profundos (DES) têm se mostrado promissoras, promovendo maior porosidade, área superficial e funcionalização da superfície (7). Assim, este trabalho propõe investigar biocarvões derivados do bagaço de cana-de-açúcar, pirolisados em diferentes temperaturas de pirólise (400° e 600° C), utilizando ácido metanossulfônico (MSA) ou DES composto por MSA e cloreto de colina (ChCl) como agentes de modificação da biomassa previamente à pirólise. Os biocarvões resultantes foram comparados aos biocarvões não modificados quanto à performance de remoção de dicromato de solução aquosa.

Experimental

Produção do biocarvão

O bagaço de cana foi lavado em água corrente e deionizada, seco em estufa a 60 °C por 3 dias, moído e submetido à modificação com ácido metanossulfônico (MSA) ou com solvente eutético profundo (DES) preparado na razão molar 2:1 (MSA:ChCl), diluído a 30% em água.

As misturas modificadoras foram adicionadas, individualmente, à biomassa em proporção mássica de 2:1 e mantidas em estufa a 70 °C por 3–4 dias.

Os biocarvões foram produzidos por pirólise em mufla (EDG 7000), a 400 °C ou 600 °C, por 2 h, com rampa de aquecimento de 10 °C/min. Após resfriamento (20 h), os materiais foram lavados com água deionizada até pH neutro, filtrados, secos a 70 °C, moídos em almofariz e peneirados utilizando peneira com malha de 100 mesh.

Teste de adsorção

A capacidade adsorptiva dos biocarvões produzidos foi avaliada em um teste de batelada, utilizando 0,0200 g de biocarvão e 20 mL de solução de dicromato a 100 mg L⁻¹ (em pH 4,0), sob agitação de 150 rpm por 24 h, a 25 °C. As amostras obtidas foram centrifugadas e analisadas por espectroscopia de absorção molecular no UV-Vis (em 350,5 nm). Os ensaios foram realizados em triplicata.

Resultados e Discussão

Os testes preliminares de adsorção foram realizados com o objetivo de avaliar o potencial dos biocarvões modificados na remoção de Cr(VI) em solução aquosa. De acordo com os resultados apresentados na Figura 1, os biocarvões sem modificação (CA4 e CA6, onde os números 4 e 6 fazem referência à temperatura de pirólise de 400 e 600 °C, respectivamente) apresentaram as menores porcentagens de remoção do íon, sendo inferior à 10%.



Já os biocarvões modificados com MSA (CAMSA4 e CAMSA6) e com DES MSA:ChCl (CADES4 e CADES6) apresentaram diferença de remoção elevada entre as diferentes temperaturas de pirólise, com redução de aproximadamente 30% na porcentagem de remoção com o aumento da temperatura de pirólise.

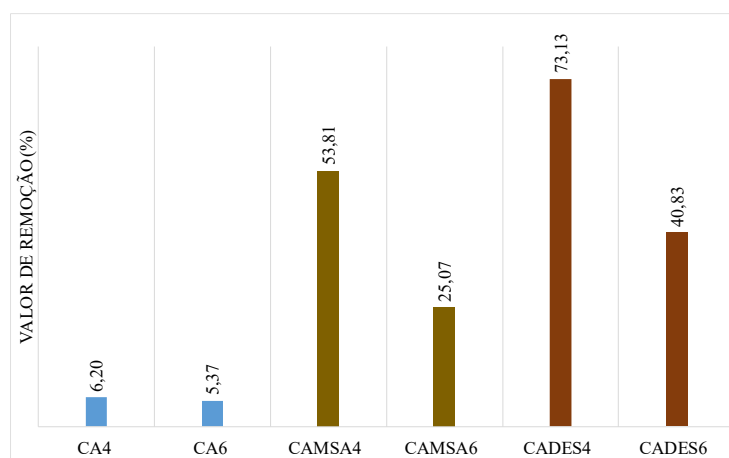


Figura 1. Valores médios de porcentagem de remoção de dicromato para cada material produzido.

Assim, os melhores biocarvões para remoção do dicromato foram os produzidos a 400°C, CAMSA4 e CADES4, com remoção de 53,81% e 73,13%, respectivamente. A maior temperatura de pirólise pode ter causado perda de funcionalização das superfícies dos materiais, enquanto a 400 °C a funcionalização foi mais efetiva, favorecendo a adsorção de Cr(VI) por interações específicas ou eletrostáticas.

Conclusões

Este trabalho evidenciou que a modificação do biocarvão derivado do bagaço de cana-de-açúcar com ácido metanossulfônico (MSA) e solvente eutético profundo (DES) formado por MSA e cloreto de colina (ChCl) potencializa a capacidade adsorptiva para remoção de dicromato de meio aquoso. Observou-se que os biocarvões produzidos a 400 °C apresentaram melhor desempenho em relação aos obtidos a 600 °C, possivelmente devido à maior preservação de grupos funcionais e porosidade. Dessa forma, esses biocarvões modificados representam uma alternativa sustentável e econômica para o tratamento de efluentes contaminados por metais tóxicos, como o cromo (VI).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, Fapemig e Capes pelo financiamento do projeto.

Referências

1. P ABIDLI, A.; HUANG, Y.; BEN REJEB, Z.; ZAOU, A. et al. Sustainable and efficient technologies for removal and recovery of toxic and valuable metals from wastewater: Recent progress, challenges, and future perspectives. *Chemosphere*, **2022**.
2. GAO, Y.; WANG, S.; TAN, W.; XI, B. Dynamics of nutrient elements and potentially toxic elements during composting with different organic wastes. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, **2023**.
3. ZHANG, W.; GALLAGHER, B.; JIN, Q.; HUANG, C.-H. Mineralogy optimization for immobilization of potentially toxic elements and halides in Co-disposed flue gas desulfurization brines and bituminous coal fly ash. *Journal of Hazardous Materials Advances*, **2022**.
4. SINGH, K.; PRASAD, B.; DAVE, H.; KUMARI, M. et al. Study of chromate (VI) removal via sequential combined fenton's process and adsorption by nano-magnesium oxide-modified wood biochar for tannery wastewater treatment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, **2024**.
5. DEBNATH, B.; HALDAR, D.; PURKAIT, M. K. Environmental remediation by tea waste and its derivative products: A review on present status and technological advancements. *Chemosphere*, **2022**.
6. BEIYUAN, J.; QIN, Y.; HUANG, Q.; WANG, H. et al. Effects of modified biochar on As-contaminated water and soil: A recent update. *Biochar*, **2021**.
7. HINSENE, H.; BHAWAWET, N.; IMYIM, A. Rice husk biochar doped with deep eutectic solvent and Fe₃O₄/ZnO nanoparticles for heavy metal and diclofenac removal from water. *Separation And Purification Technology*, **2024**.