

Uso de Resíduos Celulósicos para Produção de Adsorventes de Óxido de Grafeno Reduzido para Tratamento de Efluentes Têxteis

Pedro Vinícios N. Wanderley¹, Mesaque S. O. Pinheiro³, Myllena K. P. Ferreira², Rita K. da Silva², José Heriberto O. do Nascimento^{1,2}

Programa de pós graduação em Engenharia têxtil (PPGET), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN.¹

Programa de pós graduação em Engenharia Química (PPGEQ), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN.²

Departamento de Engenharia Química (DEQ), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN.³

Resumo/Abstract

RESUMO - A adsorção é uma alternativa eficiente e sustentável para o tratamento de efluentes têxteis contendo corantes ácidos, devido à simplicidade de operação e à sua elevada eficiência. Este trabalho avaliou o comportamento cinético e a influência do aumento da concentração dos corantes ácidos tricômicos no processo de adsorção utilizando óxido de grafeno reduzido obtido a partir de resíduos de celulósicos têxteis (rGO-BIO). O material obtido foi caracterizado por HRTEM e Raman, confirmando a formação estrutural do rGO. Os ensaios cinéticos de adsorção indicaram que tanto o modelo cinético pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda se adequaram aos dados experimentais, com destaque para pseudo-segunda ordem, apresentando um R^2 levemente superior. Com o aumento da concentração do corante, observou-se uma redução nos percentuais de remoção. A remoção máxima de 99% foi obtida nos primeiros 20 minutos, com equilíbrio atingido em 120 minutos. Os resultados demonstram o potencial do rGO-BIO como um adsorvente sustentável para tratamento de águas residuais da indústria têxtil.
Palavras-chave: adsorção, grafeno reduzido, resíduos de algodão, corantes ácidos, tratamento de efluentes.

ABSTRACT - Adsorption is an efficient and sustainable alternative for the treatment of textile effluents containing acid dyes, due to its simplicity of operation and high efficiency. This work evaluated the kinetic behavior and the influence of increasing the concentration of trichomic acid dyes on the adsorption process using reduced graphene oxide obtained from cellulosic textile waste (rGO-BIO). The material obtained was characterized by HRTEM and Raman, confirming the structural formation of rGO. The adsorption kinetic tests indicated that the pseudo-second order kinetic model was the most suitable ($R^2 > 0.997$), revealing a predominance of chemical interactions in the process. As the concentration of the dye increased, a reduction in removal percentages was observed. Maximum removal of 99% was achieved in the first 20 minutes, with equilibrium reached in 120 minutes. The results demonstrate the potential of rGO-BIO as a sustainable adsorbent for treating wastewater from the textile industry.

Keywords: adsorption, reduced graphene oxide, cotton waste, acid dyes, wastewater treatment.

Introdução

A indústria têxtil contribui significativamente para a poluição hídrica devido ao uso de corantes de difícil degradação, como os corantes ácidos (1). Entre as tecnologias de tratamento, a adsorção se destaca pela eficiência, simplicidade e custo reduzido (2). Nesse sentido, materiais à base de grafeno têm sido estudados como adsorventes devido à elevada área superficial e propriedades químicas favoráveis (3). Por isso, este trabalho avalia a aplicação do óxido de grafeno reduzido (rGO-BIO) obtido de resíduos da indústria têxtil como adsorvente na remoção de corantes de tricômica ácida.

Experimental

Síntese do óxido de grafeno reduzido: O óxido de grafeno reduzido (rGO-BIO) foi sintetizado a partir da metodologia

descrita por de Jesus (4). Resíduos celulósicos (1 g) foram submetidos à pirólise com 0,1 g de ferroceno a 300 °C por 30 minutos, e o material resultante foi macerado até formar um pó fino.

Ensaios de adsorção: Os ensaios de adsorção conduzidos por um tempo total de 200 min foram realizados em batelada, em que, o volume para todos os ensaios foi de 50 mL da solução de tricrômica (mistura de Acid Orange 142, Acid Blue 185 e Acid Red 54). As condições experimentais foram mantidas fixas para todos os testes: concentração de corantes de 50 mg/L, pH ajustado para 1,5 e massa de adsorvente igual a 200 mg. Valores de eficiência de remoção foram por leitura dos comprimentos de ondas de absorção dos corantes, em 490 nm (sobreposição dos corantes laranja e vermelho) e 620 nm (azul) (4).

Caracterização do Material: A caracterização do material foi realizada por Microscopia Eletrônica de Transmissão de Alta Resolução (HRTEM) e Espectroscopia Raman.

Resultados e Discussão

Caracterização do Material

As imagens de HRTEM (Figura 1) revelaram a formação de nanofolhas de grafeno com baixa rugosidade superficial, e estrutura lamelar bem definida. O padrão de difração de elétrons (SAED) confirmou a presença dos planos (002) e (100), típicos de materiais gráfiticos. A espectroscopia Raman (Figura 2) apresentou picos nas bandas D e G, localizados em aproximadamente 1340 cm^{-1} e 1590 cm^{-1} . Essas bandas correspondem a desorganização estrutural e ao estiramento C-C (5).

Figura 1. Imagem HRTEM do rGO-BIO evidenciando as nanofolhas e a estrutura lamelar.

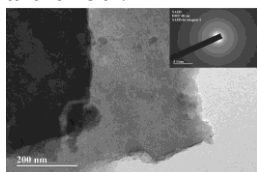
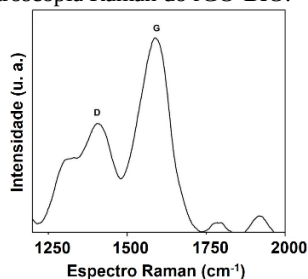


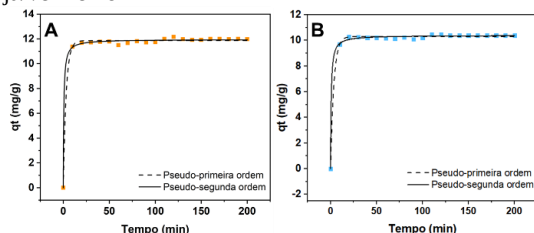
Figura 2. Espectroscopia Raman do rGO-BIO.



Cinética de adsorção

Os dados de cinética de adsorção (Figura 3) ajustaram-se aos modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem, com melhor desempenho do modelo de pseudo-segunda ordem ($R^2 = 0,997$). Ambos os modelos apresentaram valores de capacidade de adsorção em equilíbrio próximos aos experimentais, confirmando sua adequação (6).

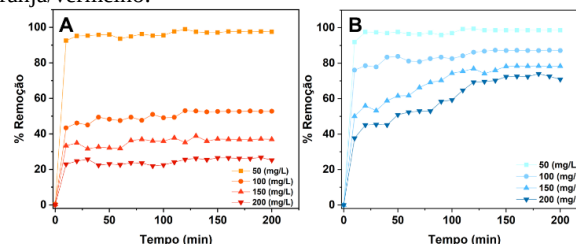
Figura 3. Cinética de adsorção dos corantes (A) azul e (B) laranja/vermelho



Concentração dos corantes

A remoção máxima (99% para o Azul e 98% para Laranja/Vermelho) foi obtida para a concentração de 50 mg/L, reduzindo-se em concentrações mais elevadas devido à saturação dos sítios ativos.

Figura 4. Influência da concentração dos corantes (A) azul e (B) laranja/vermelho.



Conclusão

O rGO-BIO obtido de resíduos celulósicos apresentou eficiência na remoção de corantes ácidos tricrômicos. Utilizando 200 mg de adsorvente e concentração inicial de 50 mg/L, foram removidos 99% do Azul 185 (49,5 mg/L), 98% do Laranja 142 (49 mg/L) e 96% do Vermelho 54 (48 mg/L). O ajuste dos dados ao modelo cinético de pseudo-segunda ordem sugere que o processo pode envolver interações químicas. No entanto, serão necessários estudos isotérmicos para confirmar essa hipótese e compreender melhor os mecanismos de adsorção.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Vicunha Têxtil S/A pela doação dos resíduos celulósicos têxteis e à UFRN pelo apoio técnico e acadêmico.

Referências

- Ahsan, A. et al. Korean J. Chem. Eng. 2023, 40, 2060–2081.
- Galvão, F. M. F. et al. J. Electron. Mater. 2023, 52, 7239–7255.
- da Rocha Medeiros, G. et al. Desalination Water Treat. 2022, 271, 176–191.
- de Jesus, L. A. da S. et al. Environ. Sci. Pollut. Res. 2024.
- Mohamed, L. A. et al. Water Conserv. Sci. Eng. 2023, 8.
- Mehdi, S. U.; Balamirtham, H.; Aravamudan, K. Environmental Adv. 2024, 15, 10049

