

VALORAÇÃO DE REJEITO DO PROCESSAMENTO DE CARVÃO: ESTUDO DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE EFLUENTE SINTÉTICO

PAULO RENATO DA SILVA WESTPHAL; MAICON OLIVEIRA LUIZ²; LUIS VINICIO DILELIO RODRIGUES JUNIOR³; CLAUDIA FERNANDA LEMONS DA SILVA⁴; FERNANDO MACHADO MACHADO⁵; RUBIA FLORES ROMANI⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – paulwesthal@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – maicon.oliveiraaluz@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – junior1234dilelio@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – lemosclau@gmail.com

⁵Universidade Federal de Rio Grande – fernando.machado@ufpel.edu.br

⁶Universidade Federal de Pelotas – fgrubia@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

A indústria da mineração de carvão gera grandes volumes de resíduos sólidos. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração os resíduos de extração (estéreis) e de beneficiamento representam uma grande parte do total extraído, deixando claro um dos principais desafios do setor, em termos de gestão ambiental (IBRAM, 2022), evidenciando um dos principais desafios do setor em termos de gestão de resíduos e reaproveitamento. No Brasil, a mineração de carvão movimenta milhões de toneladas ao ano, implicando na geração contínua de rejeitos durante todas as etapas do processo produtivo.

Esses resíduos podem gerar impactos ambientais, ressaltando a relevância de alternativas sustentáveis para a valorização e reutilização desses materiais. Estudos recentes têm destacado a aplicação de rejeitos da mineração de carvão como alternativa para o tratamento de efluentes. Domingos *et al.* (2018) investigaram o uso de rejeitos de mineração de carvão submetidos a tratamento térmico por calcinação, obtendo resultados promissores na remoção de cromo hexavalente de soluções aquosas. Mhlongo *et al.* (2023) avaliaram a utilização de um coagulante desenvolvido a partir de cinza de carvão, com emprego no tratamento de águas residuais de mineração. Esses estudos reforçam o potencial dos rejeitos da mineração de carvão, neste cenário.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade de utilização de resíduos provenientes da mineração de carvão, após ativação térmica, como adsorvente para o tratamento de efluentes contendo um composto modelo, buscando transformar um passivo ambiental em recurso funcional para o tratamento de efluentes.

2. METODOLOGIA

As amostras de carvão foram disponibilizadas pela Companhia de Pesquisa e Lavra de Carvão Mineral Ltda. (Copelmi), unidade de Butiá-RS. O material utilizado corresponde ao denominado “resíduo grosso”, que é uma fração sólida gerada no processo de beneficiamento do carvão mineral, caracterizada por partículas de maior granulometria que não apresentam um aproveitamento imediato na etapa de concentração do minério e, portanto, são descartadas.

Para o preparo do adsorvente, o resíduo grosso foi primeiramente moído, peneirado em malha 200 mesh e submetido a tratamento térmico em forno mufla a 300 °C, com rampa de aquecimento de 10 °C por minuto, permanecendo por 4

horas nesta temperatura. Após resfriamento overnight, o material foi retirado e armazenado em dessecador. O adsorvente obtido foi denominado RG300.

O corante azul de metileno, CAS Number (número de registro do Chemical Abstracts Service) 61-73-4, foi o composto modelo utilizado para avaliar a capacidade adsorptiva do RG300.

Para determinação de cor, as amostras foram previamente filtradas em membrana PVDF 0,45µm (Millipore) e analisadas espectrofotometricamente (UV-1650 PC, Shimadzu), no máximo comprimento de onda ($\lambda_{max}=660$ nm), característico do corante.

As isotermas de adsorção da solução de corante azul de metileno sobre o RG300 foram determinadas pelo método estático, em temperaturas controladas de 20, 25 e 30 °C. Testes preliminares indicaram que o tempo de contato de 24 horas era suficiente para que o equilíbrio termodinâmico fosse estabelecido. Soluções aquosas de azul de metileno (150 mL) com concentração inicial de 100 mg·L⁻¹ foram colocadas em frascos de Erlenmeyer contendo massas de 0,025; 0,05; 0,10; 0,25; 0,50 e 1,00 g, sob agitação constante em agitador orbital (shaker) e temperatura controlada (adaptado de ASTM 3860, 1998). Após o equilíbrio, os dados experimentais foram ajustados aos modelos das isotermas de Freundlich (equações 1 e 2 (forma linearizada)) e Langmuir (equações 3 e 4 (forma linearizada)), a fim de avaliar o comportamento da adsorção e estimar os parâmetros característicos de cada modelo.

$$q_e = K_F \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{Equação 1}$$

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e \quad \text{Equação 2}$$

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad \text{Equação 3}$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L \cdot q_{max}} + \frac{1}{q_{max}} C_e \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

q_e = quantidade de soluto adsorvido

C_e = concentração de equilíbrio em solução

$1/n$ = constante relacionada à heterogeneidade da superfície

K_F = constante de capacidade de adsorção de Freundlich

q_{max} = capacidade máxima de adsorção de Langmuir

K_L = constante de capacidade de adsorção de Langmuir

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A (Figura 1) mostra os resultados experimentais e os ajustes as modelos de Langmuir e Freundlich, das temperaturas estudadas. Observa-se (Figura 1) que os dados experimentais ajustaram ao modelo de Freundlich, indicando que a adsorção ocorre de forma heterogênea, com a presença de sítios de diferentes energias e possibilidade de formação de multicamadas.

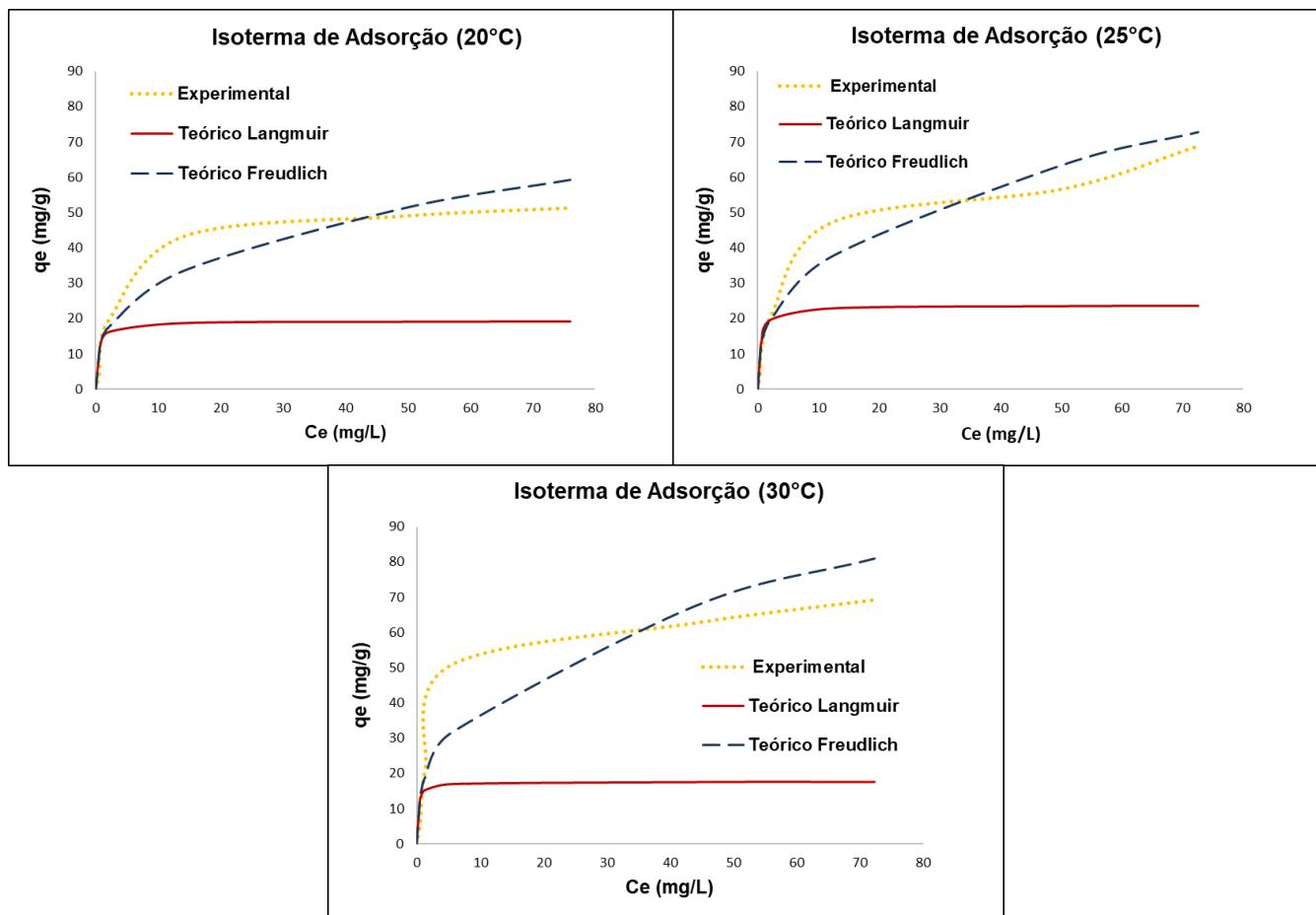


Figura 1 – Resultados das isotermas de adsorção e ajustes aos modelos de Langmuir e Freudlich em diferentes temperaturas.

Em todos os casos, os valores de $n > 1$ no modelo de Freudlich confirmam que o processo é favorável, embora com certa heterogeneidade superficial, observando as diferentes condições. Os resultados mostram influência da temperatura, com maior eficiência observada a 30 °C, com $q_{\text{máx}}$ de 42,42 mg/g, enquanto que a 20 e 25°C, 32,04 e 37,67 mg/g, respectivamente.

Flores (2012) avaliou a adsorção de uma solução com corante (Vermelho Procion H-E7B), em óxidos de ferro obtidos a partir do rejeito do processamento de carvão, e encontrou capacidade máxima de adsorção entre 25,8 e 47,0 mg/g⁻¹, ajustada ao modelo de Langmuir. Esses valores são próximos aos obtidos no presente estudo, para azul de metileno, em carvão ativado de resíduo de mineração de carvão, indicando que resíduos minerais distintos podem apresentar desempenhos comparáveis quando devidamente preparados para uso como adsorventes.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que resíduo de mineração de carvão possui potencial para aplicação como adsorvente no tratamento de efluentes contendo corantes. Os resultados obtidos demonstraram desempenho comparável ao de materiais tradicionalmente utilizados e descritos na literatura, confirmando a viabilidade técnica da proposta. Além disso, a utilização desse tipo de rejeito contribui para a valorização de um passivo ambiental abundante, fortalecendo

estratégias de reaproveitamento sustentável e agregando valor a resíduos que, de outra forma, permaneceriam subutilizados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM INTERNATIONAL. *Standard Guide for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique*. ASTM D3860-98. West Conshohocken, 1998.

DOMINGOS, P. T. Uso do rejeito de beneficiamento de carvão mineral como adsorvente para remoção de cromo (VI) em colunas de leito fixo. 2018. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/194583>. Acesso em: 1 ago. 2025.

FLORES, R. G. Catalisadores e adsorventes produzidos a partir da drenagem ácida de mina de carvão e aplicação ao tratamento de efluentes líquidos. 2012. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Brasília: IBRAM, 2016. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Gestao-e-Manejo-de-Rejeitos-da-Mineracao-2016.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2025.

MHLONGO, S.; MAMBA, B. B.; DLAMINI, L. N. Treatment of mine wastewater using a coal fly ash-based coagulant: Coagulation-adsorption isotherm study. *ResearchGate preprint*, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374640437_Treatment_of_mine_wastewater_using_a_coal_fly_ash-based_coagulant_Coagulation_adsorption_isotherm_study. Acesso em: 1 ago. 2025.

MELO, D. O. Modelos de isotermas de adsorção: Langmuir e Freundlich. In: NASCIMENTO, R. F. (Org.). *Adsorção: teoria e aplicações ambientais*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2014. p. 137-145.

SILVA, L. F.; PEREIRA, A. R.; CARVALHO, T. M. Utilização de azul de metileno como corante modelo para estudos de adsorção em materiais biossorventes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.23, n.6, p.432-437, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/F5VhQx5cH8GHRQDMZTsNMI/>. Acesso em: 1 ago. 2025.