



EFEITO DO TEMPO DE CONTATO E DA DOSAGEM DE HIDRÓXIDO DUPLO LAMELAR NA REMOÇÃO DO VERMELHO PONCEAU 4R

Fernando P. Sá^{1,2}; Michelle A. Silva²; Ricardo Benites Bertasso²

¹Laboratório de Energia e Meio Ambiente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Câmpus Inhumas, 75402-556, Inhumas, Goiás, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Câmpus Samambaia, 74690-900, Goiânia, Goiás, Brasil.

fernando.fpsa@ifg.edu.br

Palavras-Chave: adsorção, corante azo, tratamento de efluentes

Introdução

A presença de corantes sintéticos em efluentes constitui uma questão relevante no tratamento de águas residuárias, especialmente em razão da intensa coloração e da estabilidade apresentada por muitos desses compostos mesmo em baixas concentrações. Entre eles, o Vermelho Ponceau 4R (P4R) é um corante azo aniônico empregado principalmente como aditivo colorante e que apresenta elevada afinidade pela fase aquosa. A remoção desses contaminantes pode ser realizada por diferentes processos físico-químicos; entre eles, a adsorção se destaca pela simplicidade operacional, eficiência e possibilidade de emprego de materiais com propriedades superficiais ajustáveis (Daud et al., 2019).

Os hidróxidos duplos lamelares (HDL), também conhecidos como argilas aniônicas, constituem uma classe de sólidos inorgânicos formados por lamelas de hidróxidos metálicos positivamente carregadas, cuja eletroneutralidade é compensada por ânions e moléculas de água presentes no espaço interlamelar. Sua composição química ajustável, capacidade de troca aniônica e características superficiais tornam esses materiais promissores para a retenção de espécies aniônicas em meio aquoso. Revisões recentes destacam o uso de HDL e de materiais deles derivados como adsorventes de corantes, bem como a influência de variáveis como pH, concentração inicial, temperatura, dosagem do adsorvente e tempo de contato sobre o desempenho do processo (Mittal, 2021; Daud et al., 2019).

No caso específico do Ponceau 4R, Nascimento et al. (2025) avaliaram óxidos mistos de Mg-Fe-Al obtidos pela calcinação de HDL sintetizado a partir de rejeitos de lavagem de bauxita. Os autores investigaram diretamente os efeitos da dosagem, do tempo de contato e da temperatura e observaram, para o material calcinado a 400 °C, remoção de 99% em 30 min e capacidade experimental de adsorção de 94 mg g⁻¹. Embora se trate de um material derivado de HDL e de condições experimentais distintas, o estudo reforça a afinidade dessa classe de materiais pelo P4R e a importância da otimização das condições operacionais.

O tempo de contato permite acompanhar a evolução da adsorção e identificar uma região de estabilização, enquanto a dosagem influencia a disponibilidade global de sítios adsorptivos e o aproveitamento do material. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tempo de contato e da dosagem de HDL sobre a remoção do Vermelho Ponceau 4R em solução aquosa, utilizando espectrofotometria UV-Vis para monitoramento da concentração residual e definição das condições experimentais para etapas subsequentes do estudo de adsorção.



Material e Métodos

Os experimentos foram realizados utilizando solução aquosa de Vermelho Ponceau 4R e hidróxido duplo lamelar (HDL) como adsorvente. O processo foi acompanhado por espectrofotometria UV-Vis, empregando-se a banda característica do corante em aproximadamente 509-510 nm para determinação da concentração residual.

Para avaliação do efeito do tempo de contato, foram utilizados 20 mL da solução do corante e 20 mg de HDL. As suspensões foram submetidas à agitação mecânica e avaliadas nos tempos de 0, 2, 5, 10, 15, 20 e 30 min. Os ensaios foram realizados em triplicata ($n = 3$). A partir das concentrações inicial e residual foram calculados o percentual de remoção e a capacidade de adsorção em cada tempo (q_t). Os resultados foram expressos como média $\pm$ desvio-padrão. Para comparação dos resultados obtidos entre 15, 20 e 30 min foi empregada análise de variância de uma via (ANOVA).

Após a avaliação temporal, investigou-se o efeito da dosagem do adsorvente empregando massas de 5, 10, 20, 30, 40 e 60 mg de HDL. Os ensaios foram realizados em duplicata ($n = 2$), mantendo-se as demais condições experimentais e adotando-se 20 min como tempo de contato. Após o contato, a absorbância residual foi determinada em aproximadamente 510 nm. A concentração remanescente foi obtida por curva analítica previamente estabelecida, sendo calculados o percentual de remoção e a capacidade de adsorção no equilíbrio (q_e).

Resultados e Discussão

O tempo de contato exerceu influência mais pronunciada nos estágios iniciais do processo. Após 2 min, a eficiência média de remoção foi de aproximadamente 26%. Com o aumento do tempo, os incrementos tornaram-se progressivamente menores, com remoções de aproximadamente 29,4%, 30,7% e 34,8% aos 5, 10 e 15 min, respectivamente. O maior valor médio foi observado aos 20 min (aproximadamente 36,5%), seguido de 34,7% aos 30 min (Figura 1).

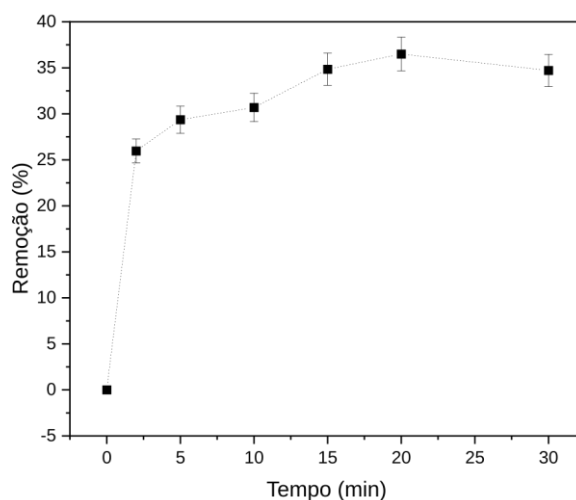


Figura 1 – Efeito do tempo de contato na eficiência de remoção do Vermelho Ponceau 4R pelo HDL. Os pontos representam média $\pm$ desvio-padrão ($n = 3$).

A pequena redução observada entre 20 e 30 min não constitui, isoladamente, evidência de dessorção. A comparação entre 15, 20 e 30 min não indicou diferença estatisticamente significativa (ANOVA de uma via, $p = 0,120$), caracterizando uma região de estabilização a partir de aproximadamente 15 min. A capacidade de adsorção aumentou de $5,67 \text{ mg g}^{-1}$ aos 2 min para aproximadamente $8,05 \text{ mg g}^{-1}$ aos 20 min, com pequena variação posterior. Esse perfil, com etapa inicial rápida seguida de estabilização, é compatível com o comportamento descrito para sistemas de adsorção de corantes em materiais à base de HDL, nos quais o tempo de contato constitui variável determinante para a aproximação ao equilíbrio (Daud et al., 2019; Mittal, 2021). Considerando a estabilização da resposta e uma margem operacional em relação ao início dessa região, adotou-se 20 min como tempo de contato para os ensaios subsequentes.

A dosagem de HDL apresentou efeito ainda mais expressivo sobre a eficiência de remoção. Com 5 mg de adsorvente, a remoção foi de aproximadamente 15,1%, aumentando para 30,7% com 10 mg e 71,0% com 20 mg. O emprego de 30 mg elevou a eficiência para aproximadamente 98,2%, enquanto 40 e 60 mg mantiveram valores próximos de 100%, caracterizando uma região de platô (Figura 2). O comportamento é coerente com o aumento da disponibilidade global de sítios de adsorção à medida que a massa de HDL é elevada; a partir de determinada dosagem, entretanto, o acréscimo de adsorvente proporciona pouco ganho adicional na remoção percentual (Daud et al., 2019).

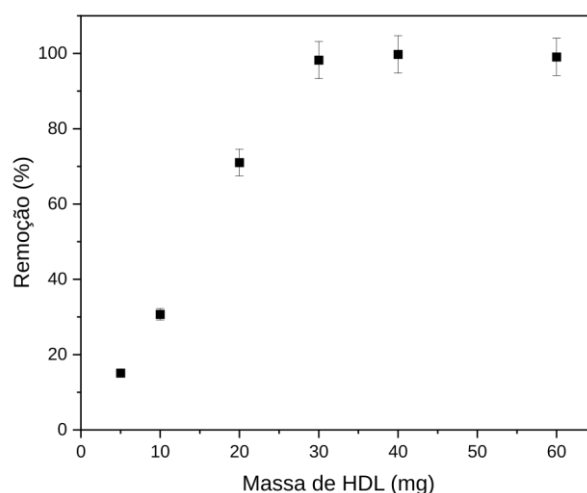


Figura 2 – Efeito da massa de HDL na eficiência de remoção do Vermelho Ponceau 4R. Os pontos representam média $\pm$ desvio-padrão ($n = 2$).

A capacidade de adsorção por unidade de massa apresentou comportamento distinto da eficiência percentual. O maior q_e experimental, aproximadamente $15,89 \text{ mg g}^{-1}$, foi obtido com 20 mg de HDL. Com 30, 40 e 60 mg, os valores diminuíram para aproximadamente $14,65$, $11,16$ e $7,39 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente. Assim, embora massas iguais ou superiores a 30 mg promovam remoção praticamente completa, o excesso de adsorvente reduz o aproveitamento relativo dos sítios disponíveis quando a quantidade de adsorvato se torna limitante.

A absorbância residual em aproximadamente 510 nm diminuiu de cerca de 0,597 com 5 mg para 0,487 com 10 mg e 0,205 com 20 mg. A partir de 30 mg, foram observados valores



próximos de zero, indicando concentrações residuais próximas do limite analítico do método. Por esse motivo, 20 mg mostrou-se uma condição experimental mais adequada para a continuidade do estudo: combinou aproximadamente 71% de remoção, o maior q_e experimental e concentração residual ainda quantificável por UV-Vis. Resultados recentes com óxidos mistos derivados de HDL também demonstram forte dependência da remoção de Ponceau 4R em relação à dosagem e ao tempo de contato, embora comparações quantitativas diretas devam considerar as diferenças de composição do adsorvente e das condições experimentais (Nascimento et al., 2025).

Conclusões

O HDL apresentou desempenho promissor na remoção do Vermelho Ponceau 4R, com forte influência do tempo de contato e da quantidade de adsorvente. A adsorção foi rápida nos primeiros minutos e atingiu uma região de estabilização a partir de aproximadamente 15 min; a ausência de diferença significativa entre 15, 20 e 30 min ($p = 0,120$) fundamentou a adoção de 20 min como tempo operacional. O aumento da massa de HDL elevou a remoção de 15,1% com 5 mg para aproximadamente 98,2% com 30 mg, seguida de platô. Entretanto, o maior q_e experimental ($15,89 \text{ mg g}^{-1}$) ocorreu com 20 mg. Considerando conjuntamente eficiência de remoção, capacidade de adsorção e confiabilidade da determinação espectrofotométrica, a condição de 20 mg de HDL e 20 min de contato foi selecionada para a continuidade dos estudos de adsorção.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFG pela infraestrutura disponibilizada, ao PPGCTA/UFG e ao GEERA/IFG pelas contribuições para a realização deste trabalho.

Referências

- DAUD, M.; HAI, A.; BANAT, F.; WAZIR, M. B.; HABIB, M.; BHARATH, G.; AL-HARTHI, M. A. A review on the recent advances, challenges and future aspect of layered double hydroxides (LDH)-containing hybrids as promising adsorbents for dyes removal. **Journal of Molecular Liquids**, 288, 110989, 2019. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.110989.
- MITTAL, J. Recent progress in the synthesis of Layered Double Hydroxides and their application for the adsorptive removal of dyes: a review. **Journal of Environmental Management**, 295, 113017, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113017.
- NASCIMENTO, R. S.; CORRÊA, J. A. M.; FIGUEIRA, B. A. M.; PARIS, E. C.; QUARANTA, S. High-performance, layered double hydroxides-derived mixed metal oxides from bauxite tailings as effective adsorbents for water remediation-Ponceau 4R study. **Journal of Water Process Engineering**, 69, 106754, 2025. DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.106754.