



REMOÇÃO DE CORANTE VERDE BRILHANTE UTILIZANDO A VERMICULITA EXPANDIDA

Moizes de S. Xavier¹; Joalis B. de Souza¹; Yasir Anwar²; Sabir Khan^{1,2}.

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

² Universidade Federal de Pelotas (UFPel)

moizes.xavier@alunos.ufersa.edu.br

sabir.khan@ufpel.edu.br

Palavras-Chave: Adsorção, caracterização, argilominerais.

Introdução

Há diversos corantes disponíveis para uso comercial na indústria, seja ele natural ou sintético (Hoque et al., 2024). O Verde Brilhante (Brilliant Green - BG) é um corante sintético pertencente à classe dos trifenilmetanos, encontra-se em pó e é altamente solúvel em água (Moreno-Ríos et al., 2023). Mesmo com a vasta utilização desse corante por parte da indústria têxtil, caso o descarte ocorra de forma inadequada, há grande possibilidade de poluição dos corpos hídricos, que por sua vez pode colocar em risco à saúde humana, a fauna e a flora (Souza et. al. 2026).

Alguns métodos são empregados com intuito de dirimir os efeitos dos corantes nos efluentes têxteis. Dentre eles, a adsorção é uma técnica bastante aplicada na remoção de corantes sintéticos provenientes da indústria têxtil, especialmente pela eficiência de remoção e simplicidade operacional (Souza et. al. 2025) em suma o adsorvente mais utilizado é o carvão ativado, principalmente pela grande área superficial que apresenta (Dávila et. al., 2024). Como o custo de produção pode se tornar elevado, estudos tendem a testar novos materiais na remoção destes corantes, como argilas, silicatos, zeólitas naturais, bioadsorvente entre outros (Macena et. al. 2025; Cardoso, 2012).

A adsorção na argila, especialmente os grupos pertencentes aos argilominerais, ocorre principalmente por dois fatores, a saber, grupos funcionais OH e capacidade de troca catiônica (CTC) (Lamrani et. al., 2025). Os grupos hidroxilas estão presentes nas bordas das folhas (lâminas) dos argilominerais, em pH ácido O-OH pode se protonar ($-\text{OH}^{2+}$) atraindo corantes aniônicos, já em pH básico o -O- pode repelir corantes aniônicos e atrair os corantes catiônicos (El-Habacha et. al., 2023). Os cátions que estão intercalados nas estruturas dos argilominerais (Na^+ , Ca^+ , etc) são trocados principalmente por corantes catiônicos, reforçando que a CTC é um mecanismo relevante em adsorção (Kausar et. al., 2018).



Dentre muitos tipos de argilominerais, destaca-se a Vermiculita Expandida, por ser um material leve e com alta capacidade de absorção e adsorção, tem aplicações em diversas áreas (Ugarte et. al., 2008).

Assim, o objetivo dessa pesquisa é preparar, caracterizar e aplicar adsorvente mineral inorgânico de baixo custo e origem geológica, Vermiculita Expandida, para a remoção do corante Verde Brilhante em solução aquosa pelo método de adsorção.

Com o tema sustentabilidade em evidência, o uso de materiais com baixo custo, com grande disponibilidade na natureza e excelente capacidade adsorptiva, é de suma importância. Portanto, espera-se que o material apresente um alto potencial na remoção de corantes de efluentes têxteis.

Material e Métodos

O argilomineral Vermiculita Expandida, foi obtida comercialmente junto à uma loja de Araçatuba/SP. O material já possui granulometria consideravelmente pequena, entretanto algumas partículas apresentam dimensões irregulares, por isso com a ajuda de um almofariz e um pistilo foi feito o processo de maceração. Para padronizar o tamanho das partículas do material, realizou-se um peneiramento com a peneira de 500 μm , utilizando apenas a fração passante por essa malha.

Para a caracterização morfológica da superfície do material, Vermiculita Expandida, realizou-se a microscopia eletrônica de varredura (MEV), operando a 20 kV e magnitude de 10,0kx, utilizando o detector de elétrons secundários. Também foi realizada a análise de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) na faixa de 4000 a 650 cm^{-1} , tanto para o corante, como para o adsorvente natural (antes e após o processo de adsorção), para identificação dos grupos funcionais presentes na superfície.

Para determinação do pH_{PCZ} , conforme descrito na metodologia de Teodoro, Parabocz e Rocha (2020) com modificação, utilizou-se 50 mg da vermiculita expandida e adicionou-se em um Erlenmeyer de 125 mL contendo 50 mL da solução de NaCl 0,01 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ em diferentes pH iniciais (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12). Após 24h de agitação em um agitador SHAKER, o pH final de cada solução foram medidos e posteriormente o pH_{PCZ} foi calculado.

A solução estoque de BG foi preparada com concentração de 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, sendo armazenada em um recipiente de cor âmbar e guardada em local sem acesso de luz.

Para analisar a degradação do corante em relação ao pH, preparou-se uma solução de BG com concentração inicial de 6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, concentração utilizada nos demais ensaios, e um ajuste de pH foi realizado nas seguintes faixas: 3, 5, 7, 9 e 11.

Para observar o efeito do pH no processo de adsorção, utilizou-se a faixa correspondente aos pH 3, 5, 7, 9 e 11. Os ajustes do pH das soluções foram feitos através de soluções de HCl

$1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ e $\text{NaOH } 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Após 24h de agitação, foram medidas as absorvâncias de cada solução e quantidade adsorvida e percentual de remoção calculados para cada pH analisado.

Para a cinética de adsorção, adicionou-se 50 mL da solução de BG com concentração de $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, com pH aproximadamente 7, conforme Souza *et. al.* (2026), em um Erlenmeyer de 125mL. Em seguida adicionou-se 50 mg de EV na solução. A solução manteve-se em agitação constante à 180 rpm e temperatura de 30°C , durante 24 h. Foram realizadas medições nos seguintes intervalos de tempo: 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 e 1440 minutos. Com os valores de absorvância do corante BG em cada intervalo de tempo, foram calculados a quantidade adsorvida e os percentuais de remoção. Os modelos matemáticos de cinética foram ajustados aos dados experimentais com finalidade de descrever os mecanismos de adsorção.

Para determinação das isotermas de adsorção, adicionou-se 50 mg da EV em uma solução de 50 mL de BG em diferentes concentrações: 10, 20, 30, 40, 50, 100 e $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. A dinâmica do ensaio deu-se com agitação constante de 180 rpm, temperatura de 28°C , pH 7 e tempo de equilíbrio de 2 h. Para cada concentração, foi determinado quantidade adsorvida e os percentuais de remoção.

O Critério de Informação de Akaike (AIC) foi aplicado para comparar e selecionar o modelo que tem a maior probabilidade de descrever os dados obtidos experimentalmente. A validação dos ajustes produzidos por cada modelo ocorre por verossimilhança (Lin & Li, 2023).

Resultados e Discussão

Após o processo de maceração e peneiramento o diâmetro médio das partículas ficou em $0,50 \text{ mm}$, de forma homogênea (Figura 1).

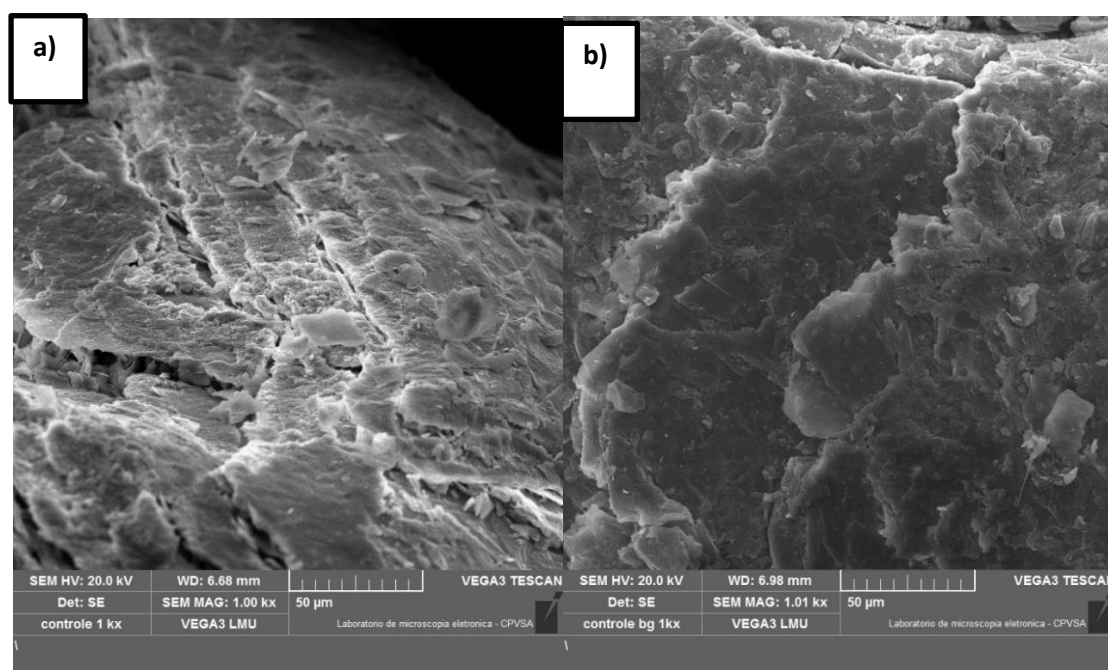
Figura 1 – Vermiculita Expandida (EV), após o processo de maceração e peneiramento.



Fonte: O autor, 2026.

A microscopia eletrônica de varredura evidenciou que as lamelas da EV foram preenchidas e suavizadas, sendo realizadas ampliações de 500, 1000 (Figura 2), 5000 e 10000 vezes. A superfície do argilomineral é representada antes (figura 2 a) e depois (figura 2 b) da adsorção.

Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura **a)** aumento de 1000x in natura; **b)** aumento de 1000x após a adsorção



Fonte: O autor, 2026.

A análise de infravermelho com transformada de Fourier foi realizada na faixa de 4000 a 650 cm^{-1} , o material apresentou os picos esperados, especialmente na banda mais larga entre 3600 e 3200 cm^{-1} que representa o estiramento dos grupos hidroxilas, moléculas de água adsorvida dentro das lamelas da EV. Outro grupo destacado foi da banda 1000 cm^{-1} que representa um estiramento assimétrico de Si-O-Si e Si-O-Al. Houve ainda uma nova análise, após a adsorção, que mostrou uma alteração dos picos característicos, o que caracteriza que houve quimissorção, isto é, adsorção química por meio de forças de van der Waals, CTC e interações eletrostáticas.

O potencial de carga zero foi determinado para efeitos de estudos com o pH, isto se deve ao fato de ser possível determinar o ponto em que o adsorvente possui carga superficial líquida nula em sua superfície. O resultado obtido foi de 7,935, sendo aproximado aos valores obtidos por Teodoro *et. al.* (2020) ($\text{pH}_{\text{PCZ}} = 8,5$) e Lima (2024) ($\text{pH}_{\text{PCZ}} = 7,85$).

O pH_{PCZ} indica a carga da superfície do material, assim podendo favorecer, ou não, a interação eletrostática. Conforme explicado por Teodoro *et. al.* (2020), soluções com pH abaixo



do PCZ a carga superficial da EV ficaria positiva, o que favorece uma atração eletrostática com as cargas negativas. Já quando a solução apresentar pH acima do PCZ, a carga superficial da EV se tornará negativa, favorecendo as interações eletrostáticas com cargas positivas.

Foi observado também a degradação do corante, onde foi testada a variação de pH e a exposição a luz, para soluções com a mesma concentração, o tempo utilizado foi de 120 minutos, sendo realizadas medições a cada 30 minutos, e verificadas as suas respectivas absorbâncias com o auxílio do espectrômetro modelo Genesys 10S UV-VIS no comprimento de onda 624 nm. Com isso, o corante manteve sua concentração maior em pH neutro e levemente ácido, degradando em pH muito ácido ou muito básico, o que justifica a escolha por realizar os ensaios com pH neutro.

Com os resultados obtidos em relação à degradação do corante, foi possível avaliar a mudança de pH no processo de adsorção, quando a EV estivesse presente na solução aquosa. A quantidade adsorvida máxima foi de 6,243 e a porcentagem máxima removida foi de 92,89%, ambos em pH 7.

Os dados experimentais foram ajustados aos modelos cinéticos, conforme a figura 3, e o que apresentou os melhores parâmetros foi o de pseudo-2ª ordem.

Figura 3 – Tabela de comparação dos modelos cinéticos apresentados com os seus respectivos parâmetros

MODELO CINÉTICO	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO		
	AIC	AIC _C	wi
Pseudo-1ª ordem	-24,359	-22,359	0,001
Pseudo-2ª ordem	-38,689	-36,689	0,895
Difusão intrapartícula	-23,166	-21,166	0,000
Elovich	-34,391	-32,391	0,104
Avrami	-22,359	-17,559	0,000

Fonte: O autor, 2026.

A cinética de adsorção apresentou o modelo de pseudo-2ª ordem como o melhor ajustado aos dados experimentais, o que indica um processo de quimiossorção, especialmente devidos as cargas superficiais da EV, que possui uma elevada CTC e tendem a ter uma atração eletrostática pelo BG.



Já as isotermas de adsorção foram determinadas para as temperaturas de 28° C, 38° C e 48° C, ambas foram comparadas os dados, conforme figura 5.

Figura 4 – Tabela de comparação dos modelos isotérmicos

MODELO ISOTÉRMICO	PARÂMETROS DO MODELO	TEMPERATURA		
		28° C	38° C	48° C
LANGMUIR	AIC	31,741	13,678	30,540
	AIC _C	34,741	16,678	33,540
	wi	0,881051	0,964251	0,92514
FREUNDLICH	AIC	35,934	26,386	35,545
	AIC _C	38,934	29,386	38,545
	wi	0,098695	0,00514	0,04235

Fonte: O autor, 2026.

Em todas as temperaturas, foi possível verificar que pelo peso de Akaike o modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais é o de modelo de Langmuir.

Conclusões

Por fim, após a pesquisa realizada, a caracterização do argilomineral Vermiculita Expandida (EV) e do corante catiônico Verde Brilhante (BG), os resultados obtidos demonstram que o material possui um potencial elevado quando usado como adsorvente para remover o corante em meio aquoso.

A pesquisa demonstrou a influência do pH no processo de adsorção, apresentando melhor adsorção em pH neutro ou levemente ácido, devido também ao potencial de carga zero ser praticamente neutro. Após a adsorção, os picos característicos sofreram alterações, resultados também observados nas imagens do MEV, que mostram uma suavização das lamelas da EV.

A remoção máxima foi aproximadamente 90%, um excelente resultado que foi corroborado pela cinética de adsorção, sendo os dados ajustados pelo modelo de pseudo-2ª ordem, evidenciando a quimiossorção.

O modelo isotérmico ajustado aos dados do ensaio foi o de Langmuir, favorecendo a adsorção em monocamada sobre sítios ativos energeticamente homogêneos.

Diante desses resultados, conclui-se que a EV é um adsorvente eficiente, com baixo custo, larga produção e alto potencial de aplicação em efluentes têxteis, se tornando uma alternativa viável para tratamento de forma sustentável.

Agradecimentos



Agradeço a Deus pela vida, ao PPgCEM pela oportunidade de realizar essa pesquisa, aos meus colegas que contribuíram e especialmente ao professor Dr. Sabir Khan.

Referências

- CARDOSO, Natalí Farias. Adsorção de corantes têxteis utilizando biossorventes alternativos. 2012. (Dissertação ou Tese) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012;
- DÁVILA, Ivone Vanessa Jurado; NUNES, Keila Guerra Pacheco; FÉRIS, Liliana Amaral. Remoção do Violeta Cristal por adsorção utilizando carvão ativado. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, v. 4, n. 2. DOI: 10.18554/rbcti.v4i2.3672, 2024;
- EL-HABACHA, M. et al. General overview to understand the adsorption mechanism of textile dyes and heavy metals on the surface of different clay materials. *Arabian Journal of Chemistry*, 2023;
- HOQUE, Mohammad Bellal; OYSHI, Tanzim Hossain; HANNAN, Md. Abdul; HAQUE, Papia; MOSTAFIZUR RAHMAN, Md.; ABDUS SHAHID, Md.; SHEIKH, Shamsuzzaman. Unraveling the ecological footprint of textile dyes: a growing environmental concern. *Pollution Science*, v. 5, n. 2, p. 3014, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54517/ps.v5i2.3014>;
- KAUSAR, Abida; IQBAL, Munawar; JAVED, Anum; AFTAB, Kiran; NAZLI, Zill-i-Huma; BHATTI, Haq Nawaz; NOUREN, Shazia. Dyes adsorption using clay and modified clay: A review. *Journal of Molecular Liquids*, v. 256, p. 395-407, 15 abr. 2018. DOI: 10.1016/j.molliq.2018.02.034;
- LIMA, Arthur Felipe de Souza. Tratamento da Vermiculita por ionização escalonada para remoção de íons de cálcio associados à dureza da água. Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal – RN, p. 97, 2024.
- LAMRANI, M. et al. Comprehensive review on the adsorption properties of clay minerals for enhanced removal of toxic dyes and heavy metals. *Journal of Water Environment Nanotechnology*, v. 10, n. 1, p. 85-107, 2025;
- LIN, Jianquan; ZHAO, Qian; HUANG, Haotian. Performance analysis of vermiculite–potassium carbonate composite materials for efficient thermochemical energy storage. *Energies*, v. 17, n. 12, 2847, 2024. DOI: 10.3390/en17122847;
- MACENA, M.; PEREIRA, H.; CRUZ-LOPES, L.; GROSCHE, L.; ESTEVES, B. **Competitive Adsorption of Metal Ions by Lignocellulosic Materials: A Review of Applications, Mechanisms and Influencing Factors.** *Materials*, v. 18, n. 20, art. 4752, 2025. DOI: 10.3390/ma18204752;
- MORENO-RÍOS, A. L. et al. Removal of Brilliant Green Cationic Dye Using Bioadsorbent Material from Oyster Shells. *Sustainability*, v. 15, n. 23, 2023;
- SOUZA, J. B.; FERREIRA, L. M. M.; BESSA, L. D.; VIEIRA, R. A. DA SILVA; LÓPEZ, R.; KHAN, S.; MELO, R. R. **Eco-friendly removal of methylene blue from aqueous solutions using bark of *Mimosa caesalpiniiifolia* from Northeast Brazil.** *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 23 n. 3, art. 223, 2026. DOI: 10.1007/s13762-025-07027-7;
- SOUZA, J. B.; FERREIRA, L. M. M.; VIEIRA, R. A. S.; BESSA, L. D.; KHAN, N.; SANTOS, F. K. G.; KHAN, S.; MELO, R. R. Removal of methylene blue dye in aqueous solution using chemically modified *Mimosa caesalpiniiifolia* bark. *Chemistry Africa*, v. 8, p. 1955–1964, 2025. DOI: 10.1007/s42250-025-01330-z;
- SOUZA, J. B.; FERREIRA, L. M. M.; VIEIRA, R. A. S.; RÊGO JÚNIOR, A. G.; LOPEZ, R.; MELO, R. R.; KHAN, S. Efficient adsorptive removal of methylene blue dye using *Mimosa caesalpiniiifolia* wood. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 236, n. 14; 2025. DOI: 10.1007/s11270-025-08597-5;
- TEODORO, L.; PARABOCZ, C. R. B.; ROCHA, R. D. C. Caracterização da argila vermiculita expandida: avaliação dos padrões físico-químicos e mineralógicos para aplicação como adsorvente. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, n. 4, 2020. DOI:10.1590/S1517-707620200004.1151;
- UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Vermiculita. In: ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS NO BRASIL: usos e especificações. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 865–887;