

## ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO: MODELAGEM DA ISOTERMA DE ADSORÇÃO

João Vitor Schuppel (1)

Rodrigo Nardi (2)

Wilson Pereira (3)

Evandro Balestrin (4)

### Resumo

A adsorção é um processo amplamente utilizado em diversas aplicações industriais e ambientais, destacando-se como uma das técnicas mais eficientes para a remoção de contaminantes em sistemas líquidos e gasosos. Trata-se de um fenômeno de acúmulo de substâncias na interface entre duas fases, geralmente entre um sólido (adsorvente) e um fluido (adsorvato), sendo amplamente aplicado em processos de purificação, separação e tratamento de águas residuárias. Esse estudo tem por objetivo obter a curva de calibração, a cinética de adsorção e a isoterma de adsorção que melhor se ajusta ao processo adsortivo do azul de metileno em carvão ativado através da concentração no equilíbrio em distintas concentrações iniciais. Foi construída uma curva de calibração com base na medição da absorbância em 664 nm. O modelo de Langmuir apresentou melhor ajuste aos dados experimentais ( $R^2 = 0,9949$ ), indicando uma possível monoadsorção em superfície homogênea, enquanto o modelo de Freundlich, apesar de aplicável, obteve um ajuste inferior ( $R^2 = 0,8193$ ).

Palavras-chave: isoterma de adsorção, azul de metileno, carvão ativado, isoterma de Langmuir.

### 1 INTRODUÇÃO

Numerosos são os poluentes gerados de efluentes, tais como: substâncias agroquímicas, corantes, material orgânico, metais e como

consequência direta do seu descarte pode ocasionar danos seríssimos para a flora e fauna da região (FREITAG A. J, 2013).

São vários os métodos químicos utilizados para a remoção de contaminantes em sistemas aquáticos, como a precipitação química, floculação, ozonização, entre outros, conforme citado por Leal et al, (2012). Assim, a busca por tecnologias apropriadas de tratamento que possibilitem a remoção de corantes em efluentes industriais tem recebido grande atenção nos últimos anos. Nesse contexto, considera-se uma alternativa inovadora para o tratamento de efluentes industriais contaminados, a utilização de carvões ativados, pois a presença de grupos polares na sua composição lhe confere uma considerável capacidade de troca catiônica (LIMA et al, 2020).

O carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados devido à sua alta área superficial, estrutura porosa e versatilidade na adsorção de compostos orgânicos, como corantes, e inorgânicos, como metais pesados. Entre os corantes amplamente estudados em sistemas de adsorção, destaca-se o azul de metileno (AM), um composto catiônico comumente utilizado como modelo em estudos laboratoriais, devido à sua estabilidade e facilidade de detecção espectrofotométrica na região do UV-Vis (SILVA, 2012).

A caracterização do comportamento de adsorção de solutos como o azul de metileno envolve a determinação da curva de calibração, a avaliação da cinética de adsorção (tempo necessário para atingir o equilíbrio) e o estudo da isoterma de adsorção, que descreve a relação entre a quantidade adsorvida e a concentração de equilíbrio do adsorvato em solução. Costa et al, (2015) cita que diversos modelos matemáticos têm sido propostos para descrever isotermas de adsorção, sendo os modelos de Langmuir e Freundlich os mais comumente aplicados na literatura.

Deste modo este estudo tem por base a modelagem cinética da isoterma de adsorção de azul de metileno em carvão ativado comercial, com construção da isoterma pelos modelos matemáticos de Langmuir e Freundlich.

## 2.1 - MATERIAIS E MÉTODOS

O adsorvente utilizado foi carvão ativado em pó e o adsorbato consistiu em soluções aquosas de azul de metileno, preparadas a partir de solução estoque de 500 mg/L, utilizando água destilada.

Os materiais e equipamentos empregados incluíram balões volumétricos de 100 mL, erlenmeyers de 250 e 500 mL, béqueres de 50 mL, pipetas graduadas, pipetador, balança analítica, filtros de papel, shaker orbital para agitação, cronômetro e espectrofotômetro UV-Vis, ajustado para o comprimento de onda de 664 nm.

O procedimento experimental foi dividido em três etapas principais:

a) Curva de calibração: Foram preparadas soluções padrão de azul de metileno em diferentes concentrações (10, 20, 30 e 60 mg/L) a partir da solução estoque. As absorbâncias foram medidas no espectrofotômetro, permitindo a construção da curva de calibração.

b) Isotherma de adsorção – Soluções de azul de metileno com concentrações iniciais de 10, 20, 30 e 60 mg/L foram preparadas em balões volumétricos de 100 mL e transferidas para erlenmeyers de 250 mL contendo 0,01 g de carvão ativado. Após o tempo de equilíbrio estimado, as amostras foram filtradas e analisadas por espectrofotometria.

A quantidade adsorvida por grama de adsorvente ( $q_e$ ) foi calculada segundo a equação:

$$q_e = (C_i - C_e) \times V / m$$

Em que  $C_i$  é a concentração inicial (mg/L),  $C_e$  a concentração em equilíbrio (mg/L),  $V$  o volume da solução (L) e  $m$  a massa de adsorvente (g).

c) Ajuste dos modelos de isoterma: Os dados obtidos foram ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich, em suas formas linearizadas, comparando-se os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) para avaliar o melhor ajuste.

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.2.1 - Curva de Calibração para Azul de Metileno

A curva de calibração do azul de metileno apresentou uma correlação de linearidade ( $R^2$ ) de 0,9868, confirmando a exatidão dos dados e demonstrado no Gráfico 1.

#### 2.2.2 - Determinação da Isotherma de Adsorção

A determinação da isoterma de adsorção baseou-se na análise após tempo fixo de 30 minutos onde o carvão ativado tinha atingido sua concentração de equilíbrio ( $C_e$ ). Observa-se que as concentrações inferiores a 30 mg/L de azul de metileno são adsorvidas acima de 85%, enquanto a concentração de 30 mg/L foi adsorvida 79,54% e a concentração de 60 mg/L foi adsorvida 44,94%.

A capacidade adsorptiva do carvão ativado (mg/g) de azul de metileno máxima obtida foi na concentração de 60 mg/L apresentando 269,633 mg/g, porém percebe-se que acima de 30 mg/L já é atingido o equilíbrio da adsorção demonstrado no Gráfico 2.

Estes resultados diferem do obtido por de Costa et al (2015), onde utilizou uma comparação com carvão ativado mineral de 112 mg/g. Lima et al (2020) obteve para hidrocarvão uma capacidade adsorptiva de 141,68 mg/g, sugerindo que tratamentos ácidos favorecem a adsorção de azul de metileno. Isso pode ser explicado pela maior área superficial bem como a ativação do carvão que pode ter proporcionado uma maior afinidade com compostos aromáticos como o azul de metileno. Análises da área superficial por DRX e FTIR são necessárias para confirmação.

#### 2.2.3 - Modelagem Gráfica das Curvas de Adsorção por Freundlich e Langmuir

A modelagem gráfica das curvas de adsorção (isotermas) basearam-se na linearização das equações de Langmuir e Freundlich. No caso de Langmuir, foi realizado o inverso da concentração de equilíbrio  $C_e$  e o inverso da capacidade adsorptiva no equilíbrio  $q_e$  para possibilitar a modelagem gráfica da curva, obtendo uma equação linear da reta  $y=0,0081x + 0,0032$ .

Para Freundlich, os dados são os mesmos, porém realizando o logaritmo natural ( $\ln$ ) de  $C_e$  e  $q_e$ . Neste caso, a equação da reta obtida foi  $y=0,3057x + 4,6853$ .

A modelagem de Langmuir foi a que apresentou melhor correlação estatística ( $R^2=0,9949$ ) conforme o Gráfico 3, com uma cinética de equilíbrio  $k$  estabelecida em 0,395 mg/L. A isoterma de Freundlich, apresentada no Gráfico 4 não ajustou ao modelo adsorativo de azul de metileno, corroborando com o achado por Lima et al (2020), de Costa et al (2015) e Silveira e Oliveira (2012). Todos estes autores identificaram que a isoterma de Langmuir foi mais adequada para a adsorção de azul de metileno em diferentes adsorventes, confirmando a cinética de adsorção em monocamada, fato caracterizado pela natureza aromática catiônica do azul de metileno.

O  $q_{máx}$  encontrado neste trabalho foi de 312,50 mg/g sendo superior ao encontrado por de Costa et al (2015) para um carvão ativado comercial. Isto se deve a características do próprio carvão, como já citadas anteriormente, que poderíamos esclarecer com análise de DRX e FTIR para conhecimento da porosidade, área específica e dados de sítios ativos do adsorvente.

### 3 CONCLUSÃO

O azul de metileno é um corante aromático que apresenta um modelo de adsorção em monocamada, explicado pela sua isoterma de adsorção aproximada pelo modelo de Langmuir. Logo, podemos correlacionar que a adsorção deste corante é possível em sólidos porosos, validando a sua aplicabilidade no processo de tratamento de efluentes, especialmente de indústrias têxteis.

A presente análise conclui que a adsorção no carvão ativado foi possível obter uma adsorção de até 269,33 mg/g, valor bem superior aos estudos prévios realizados por demais autores, indicando que a granulometria, composição e dados de superfície ativa que podem ser obtidos por análise instrumentais são imprescindíveis para caracterização de um sistema de adsorção.

### REFERÊNCIAS

COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. *Revista Virtual de Química*, Aracaju, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, jul.–ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150070>. Acesso em: 8 set. 2025.

FREITAG, Juliana Alves. Adsorção do corante azul de metileno na rama de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). 2013. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Químicos) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Toledo, 2013.

LEAL, P. V. B.; GREGÓRIO, A. M.; OTONI, E.; SILVA, P. R.; KRAUSER, M. de O.; HOLZBACH, J. C. Estudo da adsorção do corante azul de metileno em resíduos de babaçu. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 3, n. 4, p. 166–171, nov.–dez. 2012. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uff.cemaf.v3n4.leal>. Acesso em: 8 set. 2025.

LIMA, A. F.; FAGNANI, H. M. C.; SANTOS, W. L. F.; BARROS, M. A. S. D. Adsorção de azul de metileno em hidrocarvões de resíduos têxteis. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1185>. Acesso em: 8 set. 2025.

SILVA, W. L. L.; OLIVEIRA, S. P. Modificação das características de adsorção do bagaço de cana para remoção de azul de metileno de soluções aquosas = Modification of the sorptive characteristics of sugarcane bagasse for removing methylene blue from aqueous solutions. *Geociências* (São Paulo), v. 31, n. 4, p. 557–566, 2012.

Sobre o(s) autor(es)

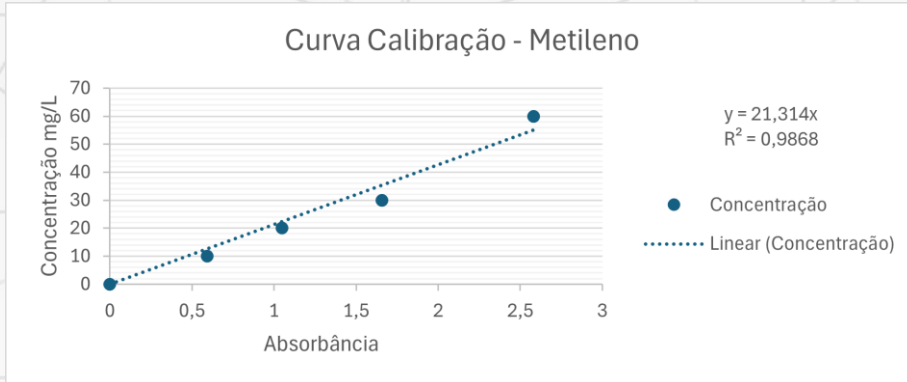
(1) Aluno do curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira, [joaovitorschuppel@hotmail.com](mailto:joaovitorschuppel@hotmail.com);

(2) Aluno do Curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira [nardi.rodrigo@hotmail.com](mailto:nardi.rodrigo@hotmail.com);

(3) Aluno do curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira, [wilson140503@gmail.com](mailto:wilson140503@gmail.com);

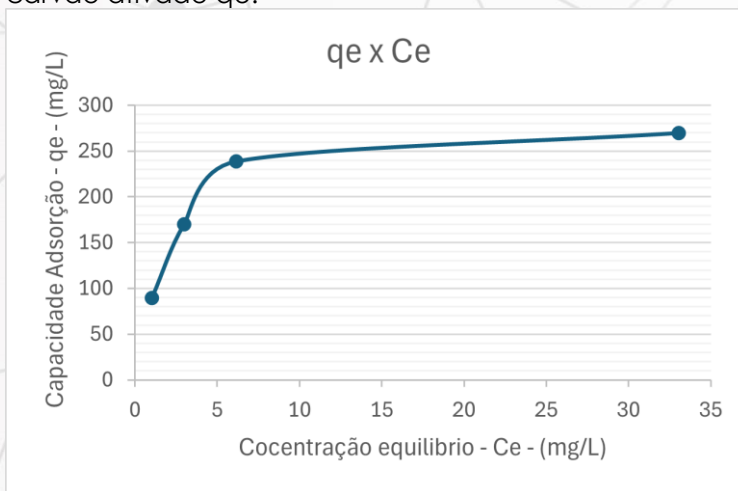
(4) Docente do curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira, [evandro.balestrin@unoesc.edu.br](mailto:evandro.balestrin@unoesc.edu.br);

Gráfico 1 - Curva de Calibração para o Azul de Metileno.



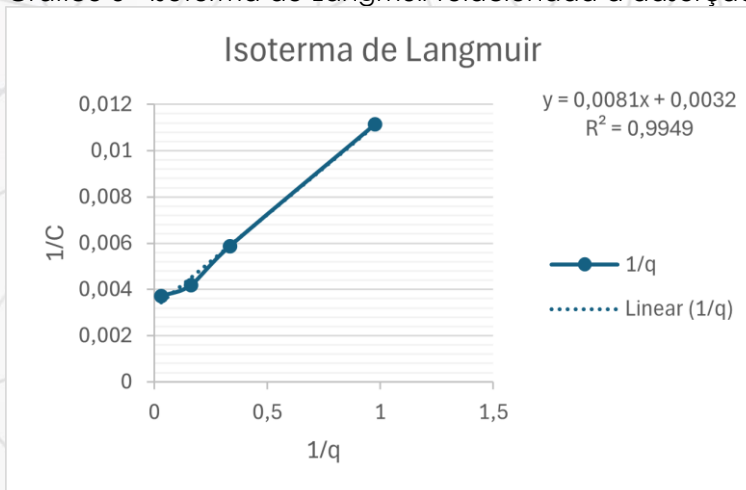
Fonte: Os autores, 2025.

Gráfico 2 - Relação entre a concentração de equilíbrio  $C_e$  e a capacidade adsorbtiva do carvão ativado  $q_e$ .



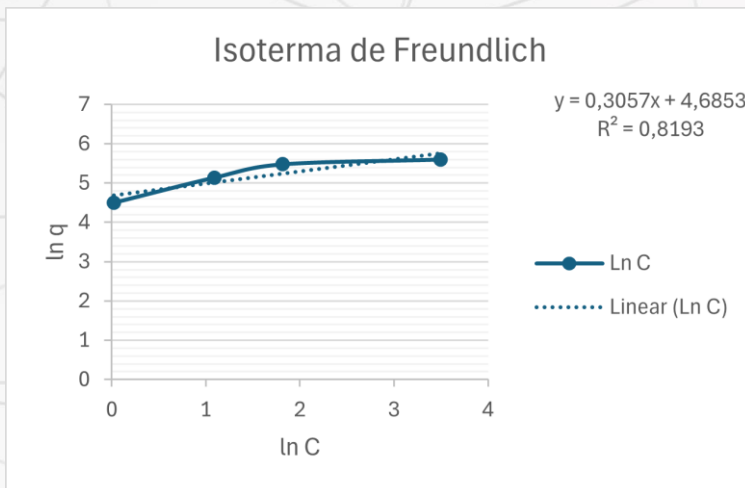
Fonte: Os autores, 2025.

Gráfico 3 - Isoterma de Langmuir relacionada a adsorção experimental.



Fonte: Os autores, 2025.

Gráfico 4 - Isoterma de Freundlich relacionada a adsorção experimental.



Fonte: Os autores, 2025.

Fotografia 1 - Sistema pós reação de adsorção com carvão ativado em sistema de agitação.



Fonte: Os autores, 2025.

Fotografia 2 - Soluções Padrões para Construção da Curva de Calibração.



Fonte: Os Autores, 2025.