

## Removal of methyl orange and bromocresol green dyes from aqueous solutions through adsorption on activated carbon

## Remoção dos corantes alaranjado de metila e verde de bromocresol de soluções aquosas por meio da adsorção em carvão ativado

Article Info:

Article history: Received 2023-10-29 / Accepted 2023-11-26 / Available online 2024-01-31

doi: 10.18540/jcecv110iss2pp17104



**Kessi Jhony de Araújo Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-1966>

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil

E-mail: [kessijhony.as@gmail.com](mailto:kessijhony.as@gmail.com)

**Layanny Samara da Silva Souza**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5882-6620>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: [layanny.souza@ifpi.edu.br](mailto:layanny.souza@ifpi.edu.br)

**Karine Oliveira Moura**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8430-0149>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Segipe, Brasil

E-mail: [karine.moura@ifs.edu.br](mailto:karine.moura@ifs.edu.br)

### Resumo

O presente estudo descreve o processo de adsorção dos corantes sintéticos alaranjado de metila (AM) e verde de bromocresol (VB) em meio aquoso, utilizando o carvão ativado (CA) como material adsorvente. Diferentes parâmetros foram avaliados, tais como tempo de contato, dosagem do adsorvente e concentração inicial do adsorbato. A cinética de adsorção foi avaliada empregando os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, tendo os dados cinéticos melhor se ajustado ao primeiro modelo para VB e ao segundo modelo para AM. O tempo de equilíbrio de adsorção foi alcançado em 1850 e 1440 min para AM e VB, respectivamente, sendo suas capacidades máximas de adsorção ( $Q_t$ ) de 2,98 e 2,46 mg g<sup>-1</sup>, dentro das condições estudadas. Os resultados demonstraram que a remoção dos corantes AM e VB em meio aquoso empregando o CA é favorável, uma vez que este material apresentou taxas de adsorção máximas de 95% para AM e 75% para VB.

**Palavras-chave:** Adsorção. Corantes orgânicos. Carvão ativado.

### Abstract

The present study describes the adsorption process of synthetic dyes methyl orange (AM) and bromocresol green (VB) in an aqueous medium, using activated carbon (CA) as adsorbent material. Different parameters were evaluated, such as contact time, adsorbent dosage and initial adsorbate concentration. The adsorption kinetics were evaluated using the pseudo-first order and pseudo-second order models, with the kinetic data best fitted to the first model for VB and the second model for AM. The adsorption equilibrium time was reached at 1850 and 1440 min for AM and VB, respectively, with their maximum adsorption capacities ( $Q_t$ ) being 2.98 and 2.46 mg g<sup>-1</sup> under the conditions studied. The results demonstrated that the removal of AM and VB dyes in an aqueous medium using CA is favorable, since this material presented maximum adsorption rates of 95% for AM and 75% for VB.

**Keywords:** Adsorption. Organic dyes. Activated carbon.

## 1. Introdução

O progressivo crescimento das atividades de diversos setores industriais tem causado sérios problemas ambientais (Cesar *et al.*, 2022). A geração de grandes quantidades de resíduos é um exemplo disso, e tem exposto o meio ambiente às mais variadas substâncias nocivas, tais como metais pesados, poluentes farmacêuticos e corantes sintéticos (Ramesh *et al.*, 2023).

Um dos ramos industriais que mais tem gerado resíduos com compostos tóxicos para o meio ambiente é o setor industrial de produção têxtil. Suas atividades produzem uma quantidade significativa de efluentes provenientes da fixação incompleta dos corantes sintéticos às fibras no processo de tingimento, tornando-se uma das principais fontes responsáveis pela poluição de águas naturais (Ferreira *et al.*, 2018).

Os corantes sintéticos, além de serem largamente empregados no setor de produção têxtil, também têm sido amplamente utilizados para diversas outras aplicações, tais como na indústria alimentícia, cosmética, farmacêutica, coureira e plástica (Piaskowski *et al.*, 2018). Estima-se que mais de 70 milhões de toneladas de corantes são produzidas anualmente em todo o mundo e cerca de 10 a 15% são descartados como efluentes em cursos de águas naturais (Esmaili *et al.*, 2023).

O descarte inadequado dessas substâncias na água causa graves problemas ao meio ambiente, pois a maioria são compostos tóxicos e altamente resistentes à degradação, podendo provocar a destruição direta de comunidades aquáticas, uma vez que impossibilitam a penetração da luz solar naquele meio (Borba *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.* 2011). Além disso, a exposição excessiva aos corantes pode acarretar aos organismos vivos irritações cutâneas, problemas respiratórios, efeitos mutagênicos e carcinogênicos (Hemashenpagam *et al.*, 2023; Varghese *et al.*, 2019).

Dentre os diversos corantes existentes, cabe ressaltar o alaranjado de metila (AM) e o verde de bromocresol (VB). Ambos apresentam uma variedade de aplicações, incluindo a coloração de fibras, tais como linho e algodão, e em impressões gráficas (Shokrollahi *et al.*, 2011). Também são bastante utilizados na separação de moléculas de DNA através de eletroforese, além de serem amplamente empregados como indicadores de pH em procedimentos de titulação (Wu *et al.*, 2019). A estrutura molecular e as principais características físico-químicas do AM e VB são apresentados na Figura 1 e Tabela 1, respectivamente (Freitas, 2019 e Riveros, 2022).

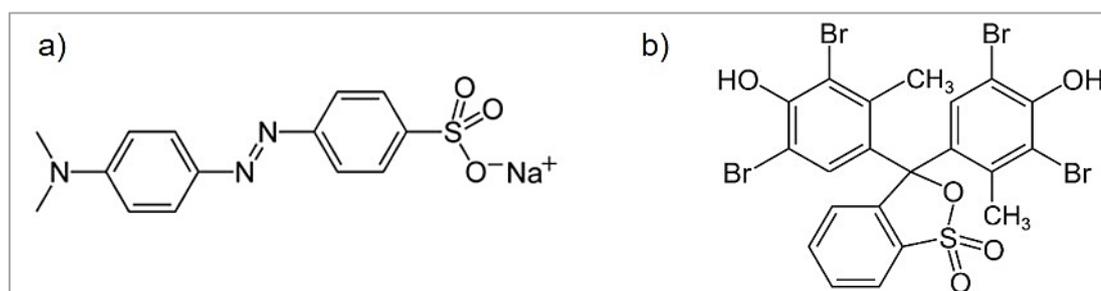


Figura 1 – Estrutura molecular dos corantes a) AM e b) VB.

Tabela 1 – Principais propriedades físico-químicas do AM e VB.

Propriedades	AM	VB
Fórmula molecular	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> N <sub>3</sub> NaO <sub>3</sub> S	C <sub>21</sub> H <sub>14</sub> Br <sub>4</sub> O <sub>5</sub> S
Massa molar	327,33 g mol <sup>-1</sup>	698,01 g mol <sup>-1</sup>
Ponto de fusão	> 300 °C	217 °C

O corante AM caracteriza-se como um azocorante tóxico, e em caso de exposição pode provocar irritações cutâneas, respiratórias e oculares, possuindo ainda propriedades mutagênicas (Chung *et al.*, 1978; Ibrahim *et al.*, 2019). O corante VB, embora não possua significativo teor de toxicidade associado, assim como AM pode provocar irritações cutâneas e oculares (Ka *et al.*, 2020). Portanto, é de suma importância a remoção dessas substâncias dos ambientes aquáticos. Neste sentido, tendo em vista a problemática causada pelo descarte de efluentes contaminados com

corantes sintéticos em cursos de águas naturais, esforços têm sido mundialmente direcionados com a intenção de remover essas substâncias do meio aquoso (Ribas *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023; Tomaz *et al.*, 2023). Ao longo dos anos, diversos métodos vem sendo estudados, tais como coagulação e floculação, processos biológicos, processos oxidativos e adsorção (Chaves *et al.*, 2022). Contudo, dentre os métodos citados, adsorção é a técnica que mais tem se mostrado eficaz devido às suas vantagens singulares, tais como estabilidade, baixo custo, facilidade operacional e eficiência de desempenho (Kim *et al.*, 2022; Muharrem *et al.*, 2017).

A adsorção pode ser definida como um processo de separação e purificação, no qual uma espécie química presente numa fase líquida ou gasosa, denominada adsorbato, é retida na superfície de um substrato sólido, conhecido como adsorvente (Skoog *et al.*, 2006). O processo de adsorção pode ser classificado como físico ou químico, a depender da natureza das forças envolvidas. Na adsorção física ocorre entre adsorbato e adsorvente uma interação fraca, do tipo forças de Van der Waals; enquanto isso, na adsorção química ocorrem interações fortes, onde as moléculas ou átomos se ligam à superfície do material adsorvente através de ligações químicas (Penha *et al.*, 2021).

Dentre os materiais que podem ser empregados como adsorvente, o carvão ativado (CA) muito tem se destacado devido às suas propriedades únicas (Husien *et al.*, 2022). Este produto é um material carbonáceo e poroso, obtido pela pirólise de substâncias orgânicas, em sua maioria de origem vegetal (Zakaria *et al.*, 2023). Sua alta capacidade adsorptiva é resultante da alta área superficial porosa e da presença de uma variedade de grupos funcionais contidos em sua superfície (Sujiono *et al.*, 2022). A aplicação desse material tem sido bastante empregada na adsorção de metais pesados em interfaces líquidas e tem apresentado apreciável eficiência para a remoção de substâncias orgânicas, principalmente de espécies que alteram a cor de efluentes (Serban *et al.*, 2023).

Ante o exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência do carvão ativado comercial como material adsorvente para a remoção dos corantes sintéticos alaranjado de metila e verde de bromocresol de águas residuais.

## 2. Metodologia

### 2.1 Matéria-prima e reagentes

Os ensaios adsorptivos foram realizados utilizando o carvão ativado (CA) comercial (DINAMICA<sup>®</sup>) como material adsorvente. Este material foi empregado sem a realização de qualquer tratamento prévio. Para a realização dos testes de adsorção em CA, foram preparadas soluções estoques dos corantes alaranjado de metila (AM) (INLAB<sup>®</sup>) e verde de bromocresol (VB) (NEON<sup>®</sup>), ambas à 500 mg L<sup>-1</sup>.

### 2.2 Determinação do $\lambda_{max}$ e construção da curva de calibração

Soluções à 10 mg L<sup>-1</sup> dos corantes AM e VB foram submetidas a varredura em um espectrofotômetro de absorção molecular UV-Vis (TECNAL), a fim de determinar o comprimento de onda de máxima absorção ( $\lambda_{max}$ ) para cada um dos corantes. A faixa espectrofotométrica variou de 350 a 550 nm para o AM e de 500 a 700 nm para o VB, obtendo-se os comprimentos de onda de máxima absorção de 460 e 613 nm para AM e VB, respectivamente. Estes resultados estão em acordo com dados encontrados na literatura (Cano *et al.*, 2017; Nam *et al.*, 2002). Ambos os comprimentos de onda máximo foram utilizados para a construção da curva de calibração e demais curvas analíticas. Todas as análises foram realizadas em triplicatas com a finalidade de garantir uma maior precisão e reprodutibilidade dos dados.

### 2.3 Ensaios adsorptivos

Os ensaios adsorptivos foram conduzidos à temperatura ambiente e em sistema estático. Durante sua realização foram estudados os efeitos dos parâmetros: tempo de contato, dosagem do

adsorvente e concentração inicial do adsorbato. Todos os ensaios foram realizados sem prévia alteração do pH da solução.

Cinética de adsorção: O efeito do tempo de contato entre o adsorvente e adsorbato foi investigado através da cinética de adsorção. Neste procedimento, foram adicionadas 0,05 g de CA a diferentes recipientes contendo 10 mL de solução dos corantes AM e VB, com concentrações iniciais previamente conhecidas. Alíquotas do sobrenadante foram retiradas em intervalos de tempo predeterminados, variando de 15 a 5760 min para AM e de 15 a 5390 min para VB. A concentração inicial e final do adsorbato foi determinada através de análises espectrofotométricas de absorção molecular UV-Vis.

Efeito da dosagem do adsorvente: A influência da dosagem do adsorvente foi estudada variando a massa de CA adicionada a 10 mL das soluções de AM e VB, ambas em aproximadamente 18 mg L<sup>-1</sup>. Esta variação foi de 0,05 a 0,5 g de CA em todos os sistemas. Alíquotas das soluções foram colhidas e suas concentrações iniciais e finais foram determinadas do mesmo modo que as etapas anteriores.

Isotermas de adsorção: O efeito da concentração inicial do adsorbato foi determinado por meio das isotermas de adsorção. Nesta etapa, 0,05 g de CA foram adicionadas a 10 mL de solução dos corantes AM e VB com concentrações variando de 3,1 a 10,8 mg L<sup>-1</sup> para AM e VB. Alíquotas das soluções foram colhidas após o período de 28 h e suas concentrações iniciais e finais foram determinadas conforme as etapas anteriores.

Capacidade e eficiência de adsorção: A quantidade de corante adsorvida por unidade de massa de CA foi determinada conforme a Equação 1 (Castro *et al.*, 2018).

$$Q_t = \frac{(C_i - C_f)V}{m} \quad (1)$$

Onde  $Q_t$  é a quantidade de adsorbato removida (mg g<sup>-1</sup>);  $C_i$  e  $C_f$  são, respectivamente, as concentrações inicial e final (mg L<sup>-1</sup>),  $m$  é a massa de adsorbato utilizada (g) e  $V$ , o volume da solução (L). A eficiência de adsorção do corante foi calculada através da Equação 2 (Castro *et al.*, 2018).

$$R_{\%} = \frac{(C_i - C_f) 100}{m} \quad (2)$$

Onde  $R_{\%}$  é a eficiência de adsorção ou remoção (%);  $C_i$  e  $C_f$  são as concentrações inicial e final (mg L<sup>-1</sup>), respectivamente.

Modelagem cinética de adsorção: A modelagem cinética de adsorção foi estudada através dos modelos matemáticos de pseudo-primeira ordem (Equação 3) e pseudo-segunda ordem (Equação 4) (Castro *et al.*, 2018).

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

Onde  $q_e$  e  $q_t$  são as quantidades de corante adsorvidas (mg g<sup>-1</sup>) no equilíbrio e no tempo  $t$  (min), respectivamente;  $k_1$  é a constante de velocidade de adsorção (min<sup>-1</sup>). A constante  $k_1$  pode ser calculada a partir da inclinação da reta do gráfico  $\ln(q_e - q_t)$  versus  $t$  e o valor teórico de  $q_e$  através do intercepto com o eixo  $y$ .

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Onde  $k_2$  é a constante de velocidade de pseudo-segunda ordem ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ ),  $q_e$  e  $q_t$  são as quantidades de corante adsorvida ( $\text{mg g}^{-1}$ ) no equilíbrio e no tempo  $t$  (min). A partir da reta do gráfico de  $t/q_t$  versus  $t$ , os valores de  $q_e$  e  $k_2$  podem ser calculados através da inclinação e do intercepto com o eixo y, respectivamente.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1 Cinética de adsorção

A cinética de adsorção analisa a quantidade de adsorbato removida em função do tempo de contato com o adsorvente. Seu estudo visa determinar o tempo de equilíbrio onde o sistema atinge o ponto máximo de adsorção (Gonsalves *et al.*, 2014). Os parâmetros  $Q_t$  e  $R\%$  foram utilizados para a avaliação da cinética de adsorção. A Figura 2 demonstra os resultados obtidos para os ensaios cinéticos empregando o CA como adsorvente e o AM e VB como adsorbato.

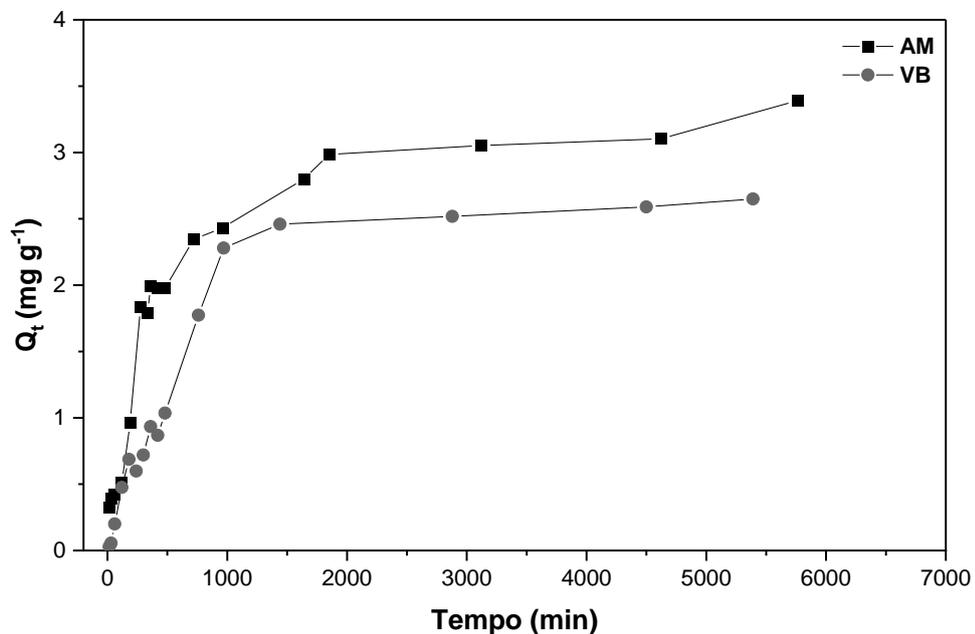
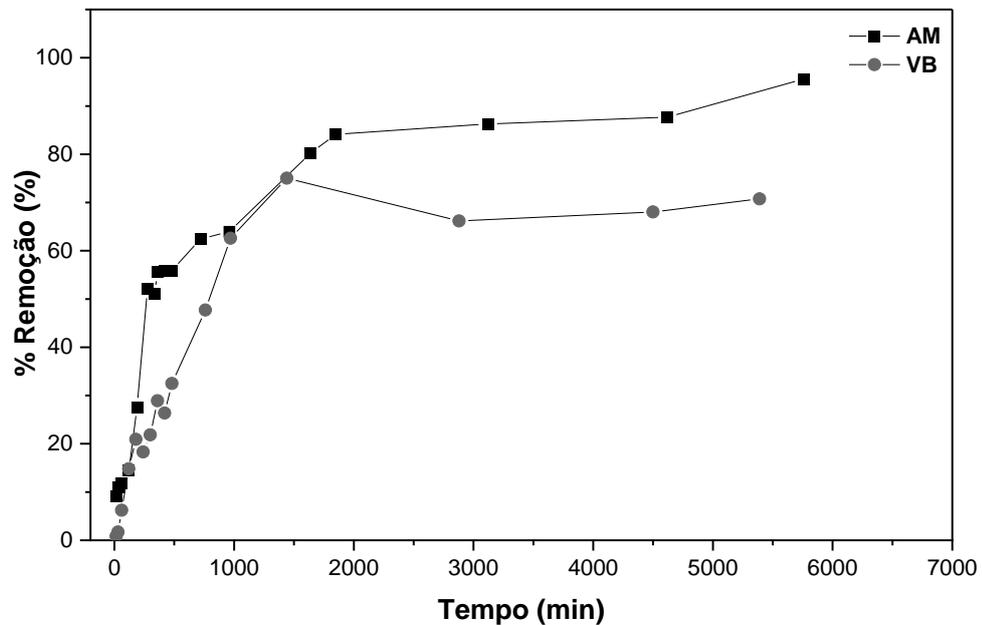


Figura 2 – Cinética de adsorção: quantidade ( $\text{mg g}^{-1}$ ) de AM e VB adsorvida em CA.

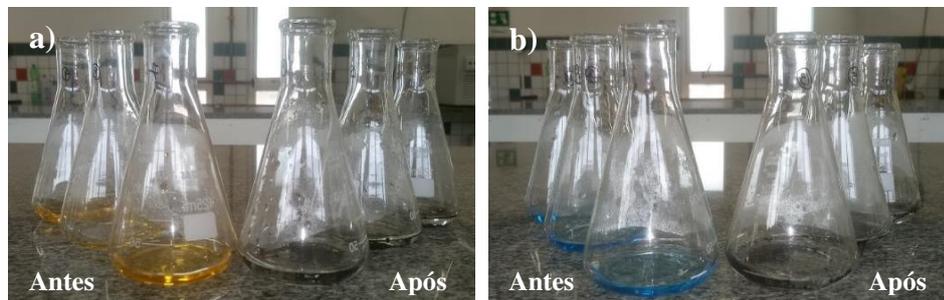
Percebe-se, através da inclinação das curvas cinéticas, que a quantidade de corante adsorvida por unidade de massa de CA ( $Q_t$ ) dos corantes AM e VB é elevada nos instantes iniciais, evoluindo de forma moderada nos minutos seguintes. Este comportamento é esperado, tendo em vista que nos tempos iniciais o número de sítios ativos disponíveis no adsorvente para a impregnação do adsorbato é maior, assim como a quantidade deste na solução (De Costa, *et al.*, 2015). Além disso, o caminho percorrido pelas curvas cinéticas de  $Q_t$  em função do tempo de contato com o adsorvente se assemelha com as curvas obtidas por Rattanapan *et al.*, (2017) e Özdemir *et al.*, (2016) em seus estudos acerca da adsorção dos corantes analisados em diferentes tipos de carvão ativado.

Percebe-se que a condição de equilíbrio é atingida em tempo menor para o VB (1440 min) quando comparado com o AM (1850 min), com valores de capacidade de adsorção ( $Q_t$ ) máximas de 2,46 e 2,98  $\text{mg g}^{-1}$ , respectivamente. Todavia, a taxa de remoção máxima (Figura 3) é maior para AM (95%) do que para VB (75%).



**Figura 3 – Cinética de adsorção: taxa de remoção (%) de AM e VB em CA.**

Considerando os resultados da cinética de adsorção e analisando a natureza elétrica de ambos os corantes (Figura 1), infere-se que a eficiência de remoção do AM é favorecida em decorrência das interações eletrostáticas entre esse corante, cuja natureza é aniônica, e as cargas superficiais positivas presentes no CA (Pavão *et al.*, 2017). Todavia, nos dois casos, a taxa de remoção máxima foi elevada, indicando que o processo de adsorção em CA se mostrou eficiente para a remoção de ambos os corantes, as quais podem ser evidenciadas visualmente pela descoloração das soluções (Figura 4).



**Figura 4 – Descoloração das soluções de a) AM e b) VB antes e após a adsorção em CA.**

Além disso, as taxas de remoção obtidas no presente estudo estão em consonância com valores relatados na literatura científica em estudos acerca da adsorção do AM e VB em CA (Onu *et al.*, 2022; Ramutshatsha-Makhwedzha *et al.*, 2022).

### 3.2 Modelagem cinética

A modelagem cinética do processo de adsorção dos corantes AM e VB sobre o CA foi obtida pelas regressões lineares das curvas analíticas dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, item 2.3. Esta modelagem fornece parâmetros cinéticos importantes para os ensaios adsorptivos, tais como constante de velocidade de adsorção ( $k$ ) e valor teórico da quantidade máxima de corante adsorvido no equilíbrio ( $q_e$ ) (Castro *et al.*, 2018). A Tabela 2 apresenta os parâmetros cinéticos obtidos conforme as curvas analíticas de cada modelo.

Os modelos cinéticos foram avaliados com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Dessa maneira, é possível perceber que o modelo cinético de pseudo-primeira ordem melhor se ajustou para o processo adsorptivo de VB ( $R^2 = 0,93$ ), enquanto o modelo cinético de pseudo-segunda ordem

melhor se ajustou para o processo adsorptivo de AM ( $R^2 = 0,99$ ). Dessa forma, os parâmetros apresentados na Tabela 2 foram obtidos utilizando os modelos que melhor se ajustaram às curvas.

**Tabela 2 – Parâmetros da modelagem cinética de adsorção de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.**

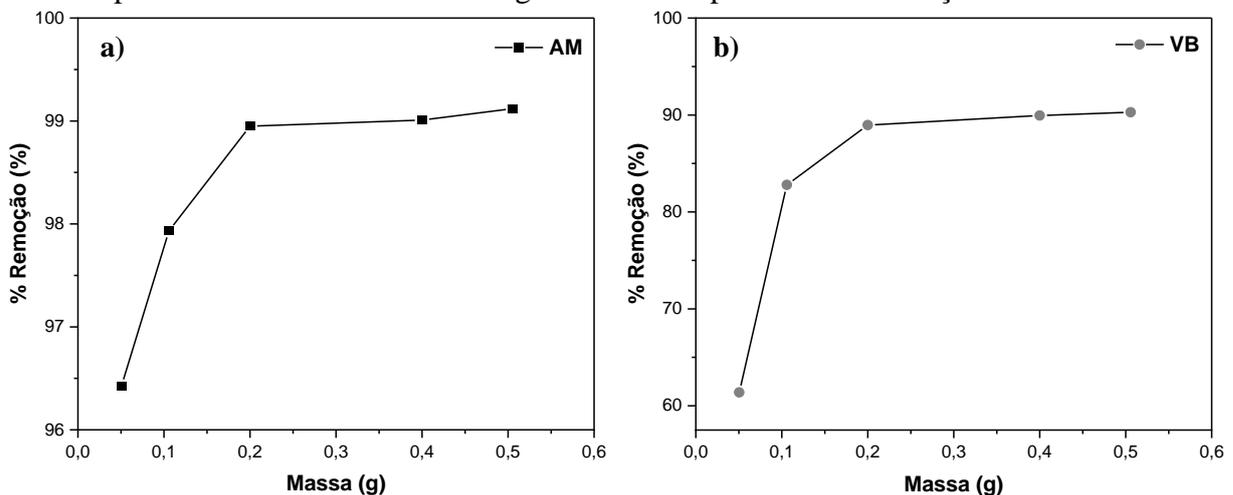
Modelo	Parâmetros	AM	VB
Pseudo-primeira ordem	$k_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$6 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$
	$q_e$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	2,09	2,43
	$R^2$	0,81	0,93
Pseudo-segunda ordem	$k_2$ ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ )	$7,86 \times 10^{-4}$	$1,27 \times 10^{-3}$
	$q_e$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	3,48	1,87
	$R^2$	0,99	0,77
Experimental	$q_e$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	3,39	2,52

Os respectivos ajustes também se confirmam pela proximidade obtida entre os valores de  $q_e$  experimental e  $q_e$  teórico. Isso sugere que a adsorção, em ambos os casos, se comportou de maneira distinta, em que para VB ocorreu uma adsorção do tipo física (em multicamadas) e para AM uma adsorção do tipo química (em monocamada) (Bastos, 2015).

Comparando os dados da constante de velocidade de adsorção ( $k$ ) obtidos a partir dos modelos de melhor ajuste, pode-se observar que os valores são próximos, indicando que o processo de adsorção para ambos os corantes apresenta também velocidades similares. Isso pode ser observado quando comparamos as curvas cinéticas de adsorção dos dois corantes (Figuras 2 e 3).

### 3.3 Efeito da dosagem do adsorvente

A avaliação do efeito da dosagem objetiva verificar de que forma a variação da massa do adsorvente influencia no processo de remoção do adsorbato, demonstrando qual a melhor dosagem a ser empregada num sistema adsorptivo (Silva *et al.*, 2019). A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para a análise do efeito da dosagem de CA no processo de adsorção de AM e VB.

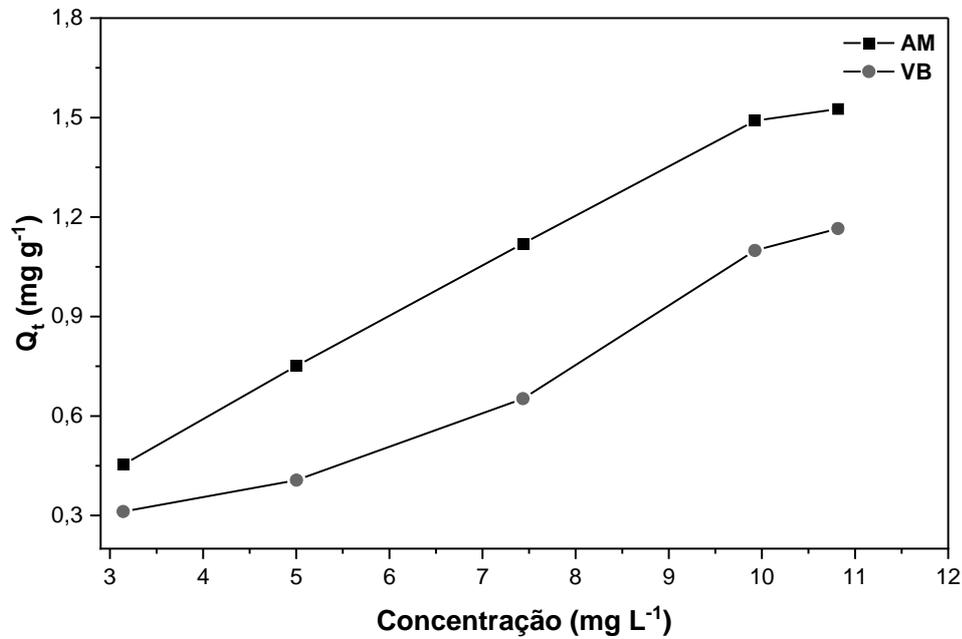


**Figura 5 – Efeito da dosagem de CA no processo de adsorção: a) taxa de remoção de AM e b) taxa de remoção de VB.**

Observa-se um aumento gradativo na taxa de remoção (R%) de AM e VB à medida em que se eleva a massa de CA. Esse resultado é esperado uma vez que o aumento da dosagem do adsorvente pode elevar o número de sítios ativos disponíveis para a retenção do adsorbato (Dos Santos *et al.*, 2016). Consta-se que a dose de máxima eficiência para a remoção de AM e VB foi 0,5 g de CA numa solução de concentração aproximada de  $18 \text{ mg L}^{-1}$  em ambos os casos, atingindo, para AM uma taxa de remoção máxima de 99% e, para VB, o valor de 90%.

### 3.4 Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção apresentam informações acerca da natureza das interações entre adsorbato e adsorvente até o ponto de equilíbrio (De Costa, *et al.*, 2015). Além disso, fornecem estimativas da quantidade máxima de soluto que melhor é retida sobre o adsorvente (Moura, 2011). Neste caso, as isotermas de adsorção foram construídas apenas com finalidade de determinar a concentração inicial máxima de AM e VB que pode ser adsorvida sobre uma massa de referência de 0,05 g de CA, conforme apresentado na Figura 6.



**Figura 6 – Isotermas de adsorção: quantidade de AM e VB adsorvida em CA.**

Verifica-se que o aumento da concentração dos corantes AM e VB provoca um aumento proeminente na quantidade de corante adsorvida por unidade de massa de CA ( $Q_t$ ). Contudo, percebe-se que ocorre um decréscimo na elevação da curva de adsorção a partir da concentração inicial de  $9,92 \text{ mg L}^{-1}$ , o que sugere uma possível saturação no processo de adsorção. Deste modo, determina-se que a concentração inicial máxima de AM e VB que melhor é adsorvida sobre a massa de referência de CA, dentro das condições empregadas, fica na faixa de  $9,92$  a  $10,81 \text{ mg L}^{-1}$ , tanto para AM como para VB.

### 4. Considerações finais

A utilização do carvão ativado como material adsorvente para a remoção dos corantes alaranjado de metila (AM) e verde de bromocresol (VB) em meio aquoso, apresentou resultados positivos. Os dados obtidos demonstram comportamentos diferentes para cada um dos corantes estudados. Isso acontece devido a diferença da natureza dos adsorbatos em questão. Porcentagens de remoção  $\geq 75\%$  foram obtidas, sugerindo que o material adsorvente utilizado neste trabalho é favorável para o uso em processos de adsorção de VB e AM, sendo mais eficiente para a remoção deste último. Os estudos de modelagem cinética mostram que o processo de adsorção para VB segue o modelo de pseudo-primeira ordem, ao contrário do corante AM, que segue o modelo de pseudo-segunda ordem. Tais resultados são esperados, uma vez que a natureza do corante VB é neutra, enquanto a natureza do corante AM é aniônica, sugerindo que o processo de adsorção é física para o corante VB e química para o corante AM. O efeito da dosagem estudado mostra que a capacidade de adsorção cresce com o aumento da massa do adsorvente utilizado devido ao aumento do número de sítios de adsorção. Além disso, a avaliação da concentração inicial do adsorbato mostrou que a capacidade de adsorção cresce com o aumento da concentração inicial, como esperado. Os

resultados encontrados evidenciam que o CA empregado no estudo é um material promissor para a remoção dos corantes AM e VB de águas residuais.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (*Campus Paulistana*) pelo fornecimento de suporte técnico e material para a realização do estudo.

### Referências

- Bastos, A. D. C. (2015). Adsorção de metais em solução aquosa pelos processos de batelada e coluna de leito fixo utilizando silsesquioxano funcionalizado com 5-amino-1, 3, 4-tiadiazol-2-tiol. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP, Brasil.
- Borba, C. E., Módenes, A. N., Espinoza-Quiñones, F. R., Borba, F. H., Bassi, A. F., Ribeiro, C. (2012). Estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção dos corantes azul turquesa QG e amarelo reativo 3R em carvão ativado. *Engevista*, 14(2). <https://doi.org/10.22409/engevista.v14i2.344>
- Cano, M., Castorena, J. H., Santiago, V., Ariza, J. A., Cervantes, L. A. (2017). Estudio comparativo de la remoción de verde de bromocresol y rojo congo entre sechium edule y trametes versicolor. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(1), 1-8. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323650376001>
- Castro, A. D. S., Franco, C. R., Cidade, M. J. A. (2018). Adsorção de Corantes Azul Indosol, Laranja Indosol e Vermelho Drimaren em Solução Aquosa por Argila Branca. *Resista Virtual de Química*, 10(5), 1-14. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180102>
- Cesar, A. G. S., da Silva, J. V. F., Perondi, M. Â., Pontarolo, E. (2022). Educação ambiental: contribuições do ensino superior no desenvolvimento regional sustentável do Vale do Mamanguape/PB. *Redin-Revista Educacional Interdisciplinar*, 11(1), 25-49. <http://seer.faccat.br/index.php/redin/article/view/2629>
- Chaves, N. O., de Carvalho, L. C. F., Oliveira, R. M. P. B. (2022). As principais técnicas utilizadas para remoção de corantes das águas residuais da indústria têxtil: uma revisão. *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia*: 1984-5693, 14. <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2022.v14.p.e20221406>
- Chung, K. T., Fulk, G. E., Andrews, A. W. (1978). The mutagenicity of methyl orange and metabolites produced by intestinal anaerobes. *Mutat Res*, 58(2-3), 375-379. [https://doi.org/10.1016/0165-1218\(78\)90033-2](https://doi.org/10.1016/0165-1218(78)90033-2)
- De Costa, P. D., Furmanski, L. M., Domingui, L. (2015). Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. *Revista virtual de química*, 7(4), 1272-1285. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150070>
- Dos Santos, R. F. Adsorção de Bário (II) por casca de laranja oriundo da indústria de suco. *Semana de Pesquisa da Universidade Tiradentes-SEMPESq*, n. 18, 2016.
- Esmaili, A. (2023). Remoção de corantes têxteis usando materiais híbridos de sílica-dendrimer. Em *Materiais Nanohíbridos para Tratamento de Corantes Têxteis* (pp. 303-342). Singapura: Springer Nature Singapura. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-3901-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-99-3901-5_14)
- Ferreira, W. M., Rocha, L. B., Santos, L. D., Santos, B. L. S. R., Pitanga, A. F. (2018). Corantes: Uma abordagem com enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS) usando processos oxidativos avançados. *Química nova na escola*, 40(4), 249-257. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160118>
- Freitas, R. C. D. S. (2019). Degradação do corante alaranjado de metila por plasma atmosférico. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil.

- Gonsalves, A. D. A., Leite Filho, C. A., Medeiros, F. S. D., Araújo, C. R. M. (2014). Casca do tamarindo: caracterização e estudos de adsorção de azul de metileno e cromo (VI) usando a técnica de banho finito de líquido. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140095>
- Hemashenpagam, N., Selvajeyanthi, S. (2023). Textile Dyes and Their Effect on Human Beings. In *Nanohybrid Materials for Treatment of Textiles Dyes* (pp. 41-60). Singapore: Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-3901-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-99-3901-5_3)
- Husien, S., El-taweel, R. M., Salim, A. I., Fahim, I. S., Said, L. A., Radwan, A. G. (2022). Review of activated carbon adsorbent material for textile dyes removal: Preparation, and modelling. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 100325. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100325>
- Ibrahim, R. K., El-Shafie, A., Hin, L. S., Mohd, N. S. B., Aljumaily, M. M., Ibraim, S., AlSaadi, M. A. (2019). A clean approach for functionalized carbon nanotubes by deep eutectic solvents and their performance in the adsorption of methyl orange from aqueous solution. *Journal of environmental management*, 235, 521-534. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.070>
- KA, S., Anoobkumar, K. I., Rasa, O. K. (2020). pH Indicators: A Valuable Gift for Analytical Chemistry. <https://doi.org/10.36348/sjimps.2020.v06i05.001>
- Kim, S., Nam, S. N., Jang, A., Jang, M., Park, C. M., Son, A., Yoon, Y. (2022). Review of adsorption–membrane hybrid systems for water and wastewater treatment. *Chemosphere*, 286, 131916. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131916>
- Mohammadi, N., Khani, H., Gupta, V. K., Amereh, E., Agarwal, S. (2011). Adsorption process of methyl orange dye onto mesoporous carbon material–kinetic and thermodynamic studies. *Journal of colloid and interface science*, 362(2), 457-462. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.06.067>
- Moura, K. O. (2011). Utilização de escamas do peixe corvina para adsorção de Cr (VI) em meio aquoso–cinética e termodinâmica por calorimetria isotérmica contínua. Tese de Doutorado, Universidade Federal Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.
- Muharrem, I. N. C. E., Ince, O. K. (2017). An overview of adsorption technique for heavy metal removal from water/wastewater: a critical review. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2), 10-19. <https://doi.org/10.29132/ijpas.358199>
- Nam, W., Kim, J., Han, G. (2002). Photocatalytic oxidation of methyl orange in a three-phase fluidized bed reactor. *Chemosphere*, 47(9), 1019-1024. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00327-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00327-7)
- Onu, C. E., & Ohale, P. (2022). Adsorptive removal of bromocresol green dye using activated corn cob. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. <https://ssrn.com/abstract=4153757>
- Özdemir, M., Durmuş, Ö., Şahin, Ö., Saka, C. (2016). Removal of methylene blue, methyl violet, rhodamine B, alizarin red, and bromocresol green dyes from aqueous solutions on activated cotton stalks. *Desalination and Water Treatment*, 57(38), 18038-18048. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1085916>
- Penha, A. V. S., Moura, K. O., Paz, G. L. Tratamento de Águas Residuais: uma Revisão sobre a Adsorção do Corante Preto de Amido 10B. <https://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20210010>
- Piaskowski, K., Świdarska-Dąbrowska, R., Zarzycki, P. K. (2018). Dye removal from water and wastewater using various physical, chemical, and biological processes. *Journal of AOAC International*, 101(5), 1371-1384. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0051>
- Ramesh, B., Saravanan, A., Kumar, P. S., Yaashikaa, P. R., Thamarai, P., Shaji, A., Rangasamy, G. (2023). A review on algae biosorption for the removal of hazardous pollutants from wastewater: Limiting factors, prospects and recommendations. *Environmental Pollution*, 121572. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121572>
- Ramos, J. P., Pavão, M. F. U., Barra, E. C., Vilhena, K. S. S., Gouveia, F. P. (2017). Potencial de Adsorção do Resíduo Proveniente do Processo de obtenção do silício metálico. *Revista Virtual de Química*, 9(2), 751-763. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170046>
- Ramutshatsha-Makhwedzha, D., Mavhungu, A., Moropeng, M. L., Mbaya, R. (2022). Activated carbon derived from waste orange and lemon peels for the adsorption of methyl orange and

- methylene blue dyes from wastewater. *Heliyon*, 8(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09930>
- Rattanapan, S., Srikram, J., Kongsune, P. (2017). Adsorption of methyl orange on coffee grounds activated carbon. *Energy Procedia*, 138, 949-954. <https://11nq.com/JpAiA>
- Ribas, F. B. T., Silva, W. L. D. (2023). Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais. *Matéria* (Rio de Janeiro), 27, e13212. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220002.1312>
- Riveros Cruz, M. R. (2022). Estudio de la degradación de verde de bromocresol en agua usando oxiclórico de hierro (FeOCl) como catalizador heterogéneo en los procesos de oxidación avanzada Fenton, Foto-Fenton y-Fotocatálisis. Tese de Doutorado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Serban, G. V., Iancu, V. I., Dinu, C., Tenea, A., Vasilache, N., Cristea, I., Chiriac, F. L. (2023). Removal efficiency and adsorption kinetics of methyl orange from wastewater by commercial activated carbon. *Sustainability*, 15(17), 12939. <https://doi.org/10.3390/su151712939>
- Shokrollahi, A., Alizadeh, A., Malekhosseini, Z., Ranjbar, M. (2011). Removal of bromocresol green from aqueous solution via adsorption on *Ziziphus nummularia* as a new, natural, and low-cost adsorbent: kinetic and thermodynamic study of removal process. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 56(10), 3738-3746. <https://doi.org/10.1021/jc200311y>
- Silva Ries, L. A., Silveira, J. H. (2019). Remoção de Cr (VI) por adsorção empregando carvão ativado comercial e carvão vegetal produzido a partir da casca de arroz. *Brazilian Journal of Development*, 5(6), 6477-6494. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n6-148>
- Silva, K. J., Sousa, M. C. S., Silva, M. L., Silva, W. J. S., Rodrigues, M. L. S. (2023). Tratamento de águas residuais: uma revisão sobre a adsorção do azul de metileno em bagaço de cana-de-açúcar. In: Oliveira A. M., Guimarães, O. S. (Org.). *Engenharia, Gestão e Inovação*. 1ª Ed. Belo Horizonte: Poisson, 2023. P. 63-77. <http://dx.doi.org/10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.05>
- Skoog; West; Holler; Crouch. *Fundamentos de Química Analítica*, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.
- Sujiono, E. H., Zabrian, D., Zharvan, V., Humairah, N. A. (2022). Fabrication and characterization of coconut shell activated carbon using variation chemical activation for wastewater treatment application. *Results in Chemistry*, 4, 100291. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100291>
- Tomaz, A. T., Barthus, R. C., Costa, C. R., Ribeiro, J. (2023). Descontaminação de Águas Residuais Contendo Poluentes Orgânicos: Uma Revisão. *Revista Virtual de Química*, 15(1). <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220076>
- Varghese, A. G., Paul, S. A., Latha, M. S. (2019). Remediation of heavy metals and dyes from wastewater using cellulose-based adsorbents. *Environmental Chemistry Letters*, 17, 867-877. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00843-z>
- Wu, Y., Su, M., Chen, J., Xu, Z., Tang, J., Chang, X., & Chen, D. (2019). Superior adsorption of methyl orange by h-MoS<sub>2</sub> microspheres: Isotherm, kinetics, and thermodynamic studies. *Dyes and Pigments*, 170, 107591. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.107591>
- Zakaria, MR, Farid, MAA, Andou, Y., Ramli, I., Hassan, MA (2023). Produção de biocarvão e carvão ativado a partir de biomassa de dendê: situação atual, perspectivas e desafios. *Culturas e Produtos Industriais*, 199, 116767. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116767>