



ACÇÃO DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE ADSORÇÃO DA RODAMINA B SOBRE Bi_2WO_6 EM COLUNA DE LEITO FIXO

Renato. S. Rodrigues¹; Willken B. S. Almeida¹; Yasmim. S. da Conceição¹. Jacqueline A. Santos¹; Maria. E. F. Alves¹; Rayelle M. Morais¹ e Ossalin de Almeida¹

¹Universidade Federal do Pará
renato.senaonerd@gmail.com.

Palavras-Chave: Leito fixo, cinética, termodinâmica.

Introdução

Com o aumento das atividades industriais, a contaminação de corpos hídricos por efluentes se tornou um dos mais significativos problemas ambientais (BEIGI et al, 2023; SMADI, ALSOOD e ALJARADIN, 2023). No Brasil, a indústria têxtil ocupa o quinto maior produtor mundial de tecidos (ABIT, 2019). Essa atividade possui alto consumo de água gerando grandes volumes de efluentes, contendo concentrações elevadas de corantes e substâncias químicas que não tratadas corretamente, podem gerar sérios problemas de contaminação da fauna e flora devido a sua complexidade de remoção (TROMBINI e OBARA-DOI, 2012; TKACZYK, MITROWSKA e POSYNIK, 2020).

O setor têxtil é responsável por quase metade de todos os efluentes de corantes no mundo (FARHANA et al., 2022). A presença de corantes em corpos hídricos modifica o ecossistema, impossibilitando a incidência da luz solar no meio aquático. A Rodamina B ($\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{N}_2\text{O}_3\text{Cl}$) (RB), é corante catiônico, sendo também um dos corantes mais tóxicos presentes nas águas residuais têxteis. É um composto neurotóxico e cancerígeno, causando irritação cutânea e gastrointestinal, infecções oculares e respiratórias quando ingeridos por seres humanos e animais (BENKHAYA, RABET e HARFIR, 2020; IMAM e BABAMALE, 2020).

A adsorção é uma das alternativas mais usada para a remoção desses resíduos líquidos, pois o método destaca-se por apresentar facilidade de aplicação, eficiência na remoção, baixo custo e pode possibilitar a recuperação do corante (ADEYEMO, ADEOYE e BELLO, 2015; SANTANA et al., 2020). A adsorção em leito fixo destaca-se no tratamento de efluentes



industriais devido à sua elevada eficiência operacional e simplicidade construtiva (ABIN-BAZAINE, OLMOS-MARQUEZ e CAMPOS-TRUJILLO, 2024). O desempenho de uma coluna de leito fixo é governado por parâmetros fundamentais como a vazão de alimentação, a altura do leito e a concentração inicial do contaminante, os quais determinam diretamente o perfil das curvas de ruptura e o tempo útil de saturação do material adsorvente (FILA e KOŁODYŃSKA, 2023). Além disso, o estudo aprofundado dos fenômenos de transferência de massa e a aplicação de modelos matemáticos preditivos tornaram-se abordagens indispensáveis para elaborar o projeto de colunas (KEBIR et al., 2023).

A legislação ambiental, nas últimas décadas tornou-se mais severa e rígida, em relação ao tratamento de resíduos líquidos, surgindo então a necessidade de elaborar e aprimorar técnicas de tratamento. Entre essas novas técnicas, os Processos Oxidativos Avançados (POA) vêm se destacando por sua elevada eficiência na degradação de compostos orgânicos. A maior parte dos catalisadores estudados são ativos somente na região do ultravioleta (CHANG et al., 2010). Essa evolução tecnológica reduz consideravelmente os custos operacionais associados ao consumo de energia elétrica e amplia a viabilidade industrial dos POAs. Desse modo, o emprego de catalisadores heterogêneos avançados consolida-se como uma alternativa altamente eficiente para a remediação sustentável de efluentes complexos (HOCHSCHEIDT et al., 2024).

Portanto, os catalisadores à base de Bismuto é têm se destacado como alternativa em fotocatalises devido sua capacidade a absorver luz visível e à versatilidade de suas estruturas químicas (CHI et al., 2024; ESSENNI et al., 2024; YE et al., 2019). O Tungstato de Bismuto (Bi_2WO_6) trata-se de um óxido que possui uma estrutura em camadas interligadas e boa aplicabilidade catalítica além de ser um material proeminente na área de oxidação fotocatalítica (LINGHU et al., 2023a). Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a ação da temperatura no processo de adsorção da Rodamina B sobre o Bi_2WO_6 em coluna de leito fixo.

Material e Métodos



Materiais

Os reagentes utilizados apresentam grau analítico. O corante escolhido neste estudo foi Rodamina B (RB).

Métodos

O Bi_2WO_6 foi sintetizado pelo método hidrotérmico conforme descrito no trabalho de Campos (2019).

Caracterização do adsorvente

O Bi_2WO_6 , foi caracterizado por dois métodos: Difração de Raios-X (método do pó): X'PERT PRO MPD, PW 3040/60 (PANalytical), (Theta/Theta), Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$), em condições de 4° a $80^\circ 2\theta$, 40 kV, 40 mA, $0,02^\circ 2\theta$ e 30s. A aquisição dos dados foi realizada por meio de software X'PERT HighScore, sendo utilizado banco de dados International Center for Diffraction Data (ICDD). Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): VEJA 3 SBU (TESCAN), em condições de 10 kV e 15 mm.

Preparação da curva padrão da RB

A solução de RB foi preparada a uma concentração de 400 mg.L^{-1} . Aliquotas de 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 e $225 \mu\text{L}$ foram diluídas para produzir as concentrações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 mg.L^{-1} . A confecção da curva padrão foi obtida em espectrofotômetro (Thermo Scientific-Genesys 10S UV, $\lambda = 553 \text{ nm}$). Todos os pontos foram analisados em triplicata.

Adsorção da RB em leito fixo

Foram selecionadas para teste de adsorção as soluções de RB em concentrações de 5,2 (RBA) e $2,8 \text{ mg.L}^{-1}$ (RBB) a fim de adequar a massa de adsorvente disponível e pela



necessidade de dimensionamento do leito. Cada solução entrou em contato com 0,4 g de Bi_2WO_6 a 30 °C (RB30A e RB30B), 40 °C (RB40A e RB40B) e 50 °C (RB50A e RB50B) durante 1h, sendo coletadas alíquotas a cada 2 min. As alíquotas foram analisadas por espectrofotometria no comprimento de onda de absorção característico do corante ($\lambda=553\text{nm}$). As condições experimentais estabelecidas foram $Q = 3 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $HL = 0,7 \text{ cm}$, $Di = 0,6 \text{ cm}$, $t = 60 \text{ min}$ e $\text{pH} = 5$.

Ajustes matemáticos dos modelos

A quantidade adsorvida e a percentagem retida (%R) de RB foram calculadas de acordo com equação da capacidade de adsorção de equilíbrio (q_e) e pela equação percentual de remoção %R.

A modelagem seguiu as equações linearizadas dos modelos. Foram calculados os parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich. Os ajustes cinéticos seguiram os modelos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem e difusão intra-partícula. Termodinâmica foi avaliada segundo os parâmetros de entalpia (ΔH), variação de entropia (ΔS) e variação da energia de Gibbs (ΔG) para determinar a se o sistema é espontâneo ou não, o ΔG permite a compreensão do estudo termodinâmico, valores negativos indicam que o processo é negativo, a constante de equilíbrio de adsorção K_L está relacionada a constante de equilíbrio da equação de van't Hoff a modelagem em leito fixo seguiu os modelos de Thomas, Bohart-Adams e Yoon-Nelson.

Os ajustes das equações foram verificados de acordo com o coeficiente de correlação (R^2) e do erro médio relativo (E_{MR}).

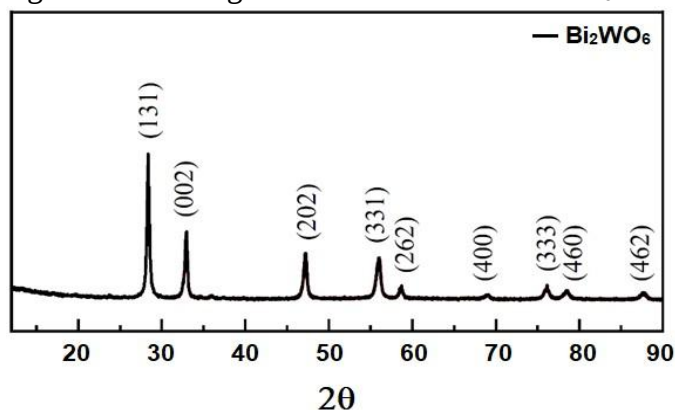
Resultados e Discussão

Caracterização do adsorvente

A análise por difração de raios X (Figura 1) revelou picos de maior intensidade bem definidos para o Bi_2WO_6 sintetizado, correspondentes aos planos cristalinos (131), (002), (202), em perfeita concordância com a carta ICSD JCPDS nº 73-1126 resultados que são apresentados no trabalho de Phuruangrat et al. (2015). Os parâmetros de rede calculados ($a =$

5,44 Å; b = 5,42 Å; c = 16,47 Å) asseguram a boa cristalinidade do material. A ausência de fases secundárias indica que a síntese hidrotérmica ocorreu de forma eficiente.

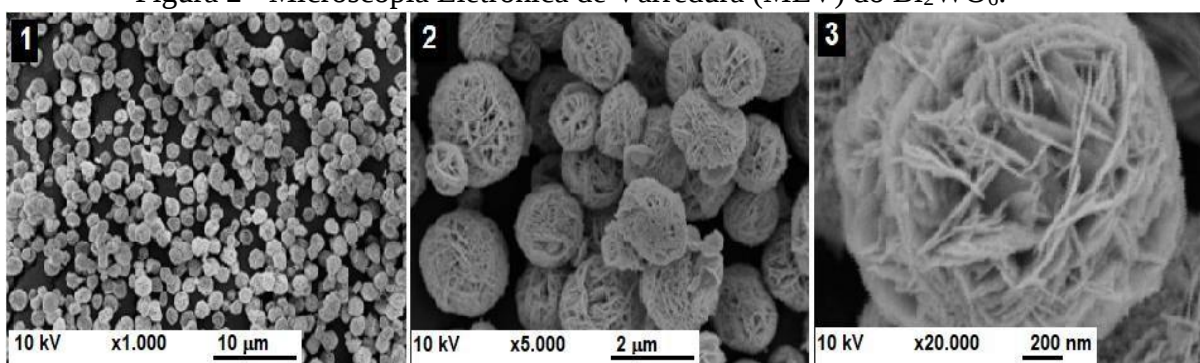
Figura 1 - Difratograma de Raios-X do Bi_2WO_6 .



Fonte: Autor, 2026.

As imagens de microscopia eletrônica de varredura (Figura 2) evidenciaram a formação de microesferas com morfologia em flor. Essa arquitetura tridimensional, resultado da forte atração eletrostática entre os íons Bi^{3+} e WO_4^{2-} , confere ao material elevada área superficial e abundância de sítios ativos, características favoráveis ao processo adsorptivo, resultados semelhantes foram observados por Wang et al. (2023).

Figura 2 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do Bi_2WO_6 .



Fonte: Autor, 2026.

Curva padrão da Rodamina B

A relação entre absorvância e concentração do corante apresentou comportamento linear no intervalo estudado, com equação $y = 0,2024x - 0,0267$ e coeficiente de determinação



$R^2 = 0,998$. A excelência desse ajuste assegura a confiabilidade das concentrações determinadas.

Estudos de adsorção em coluna de leito fixo

Eficiência de remoção e fator de separação

Os ensaios demonstraram que o processo é favorável em todas as condições investigadas, com fatores de separação (R_L) situados entre 0,0002 e 0,0027, bastante inferiores à unidade e indicando forte afinidade entre o corante e o adsorvente. A maior retenção ocorreu na amostra RB30B, alcançando 98,23% de remoção. À medida que a temperatura aumentou para 40 °C e 50 °C, observou-se decréscimo na eficiência de 95,45% e 91,38%. Esse comportamento é consistente com processos exotérmicos.

Para a menor concentração (2,8 mg·L⁻¹), a influência da temperatura mostrou-se menos pronunciada, com retenções de 92,50%, 91,64% e 87,50% às temperaturas de 30 °C, 40 °C e 50 °C. Esse achado sugere que, em concentrações diluídas, a força motriz para a transferência de massa já é suficientemente alta para manter a eficiência mesmo com variações térmicas. Os resultados superam os reportados por Mascarenhas (2017), que alcançou 80% de remoção com zeólitas, e se aproximam dos 94% encontrados por Morosino (2018) utilizando sílica híbrida, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Fator de separação e percentagem retida da Rodamina B.

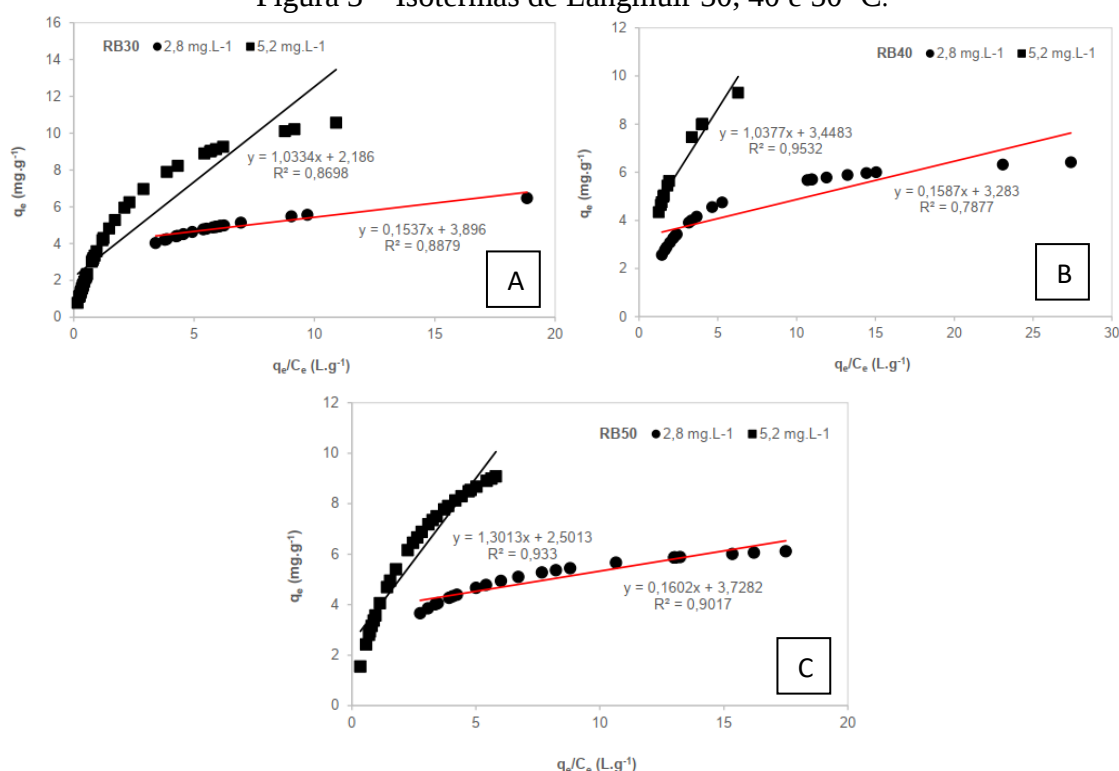
Amostras	R_L	Retenção (%)
RB30A	0,0022	92,50
RB40A	0,0003	91,64
RB50A	0,0027	87,50
MASCARENHAS, 2017 (25 °C, 5mg.L ⁻¹)	-	80,00
MOROSINO, 2018 (30 °C, 5mg.L ⁻¹)	-	94,00
RB30B	0,0003	98,23
RB40B	0,0002	95,45
RB50B	0,0004	91,38

Fonte: Autor, 2026.

Isotermas de adsorção

O ajuste dos dados aos modelos citados, evidenciou que o processo é melhor descrito pelo modelo de Langmuir, indicando a formação de uma monocamada de corante sobre a superfície, com energia equivalente entre os sítios ativos e ausência de interações laterais significativas. O melhor ajuste ocorreu para a amostra RB40B, com capacidade máxima de 11,21 mg·g⁻¹ e R² = 0,9532 (Figura 3 - A, B e C).

Figura 3 – Isotermas de Langmuir 30, 40 e 50 °C.



Fonte: Autor, 2026

Para a menor concentração, as capacidades máximas permaneceram praticamente inalteradas com a elevação térmica (6,51; 6,30; e 6,24 mg·g⁻¹). Já em 5,2 mg·L⁻¹, observou-se uma queda na capacidade adsorptiva (11,45; 11,21; e 10,89 mg·g⁻¹), confirmando o caráter exotérmico. Esses valores são superiores aos obtidos por Duarte Neto et al. (2018) com argilas purificadas (~8 mg·g⁻¹). O modelo de Freundlich apresentou coeficientes de determinação inferiores. (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich das amostras RB30A, RB40A, RB50A, RB30B, RB40B e RB50B.

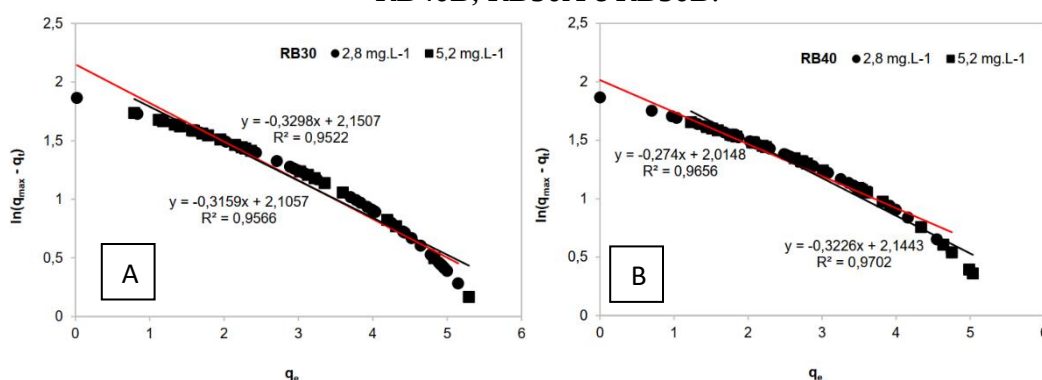
Isotermas	Parâmetros	RB30		RB40		RB50	
		2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹	2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹	2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹
Langmuir	q _{e,exp} (mg.g ⁻¹)	6,48	12,77	6,41	12,36	6,13	11,88
	q _{max,calc} (mg.g ⁻¹)	6,51	11,45	6,30	11,21	6,24	10,68
	¹⁾	25,3537	53,0025	20,6842	87,2561	21,4853	41,3819
	K _L (L.mg ⁻¹)						
	R ²	0,8679	0,8898	0,9017	0,9532	0,7877	0,9330
Freundlich	EMR	0,0129	0,2882	0,0465	0,2630	0,0476	0,2969
	KF (mg. g ⁻¹)(L.g ⁻¹) ^{1/n}	3,8296	7,6043	2,8316	33,2978	3,9205	14,3906
	¹⁾	-0,8270	-1,2650	-0,9649	-0,5436	-1,7223	-0,6960
	N						
	R ²	0,7787	0,5383	0,2755	0,8341	0,3966	0,6032

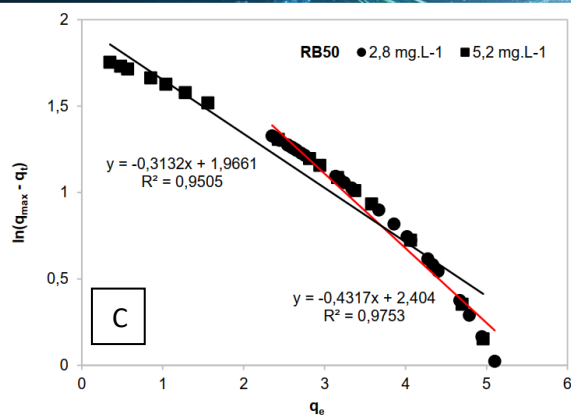
Fonte: Autor, 2026.

Cinética de adsorção

O modelo de pseudo primeira ordem proporcionou os melhores ajustes, com R². O ponto ótimo foi a amostra RB40B (Figura 4 - A, B e C). Esse resultado indica que a adsorção ocorre predominantemente por fisissorção, onde a velocidade de ocupação dos sítios é proporcional à quantidade de sítios livres disponíveis. O modelo de pseudo segunda ordem apresentou R² significativamente menores, sugerindo que a etapa determinante da velocidade não está nas interações químicas de superfície. A difusão intra-partícula, apesar de bons R² em 50 °C, apresentou interceptos C diferentes de zero, indicando que não é a etapa controlante única. A transferência de massa externa parece governar a cinética global.

Figura 4 – Cinética de pseudo primeira ordem das amostras RB30A, RB30B, RB40A, RB40B, RB50A e RB50B.





Fonte: Autor, 2026.

Tabela 3 – Parâmetros cinéticos do modelo de pseudo primeira ordem.

Parâmetros		RB30		RB40		RB50	
Modelos		2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹	2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹	2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹
	$q_{e,exp}$ (mg.g ⁻¹)	6,48	12,77	6,41	12,36	6,13	11,88
Pseudo primeira ordem	$q_{e,calc}$ (mg.g ⁻¹)	8,59	8,21	7,50	8,54	7,14	11,07
	k_1 (min ⁻¹)	0,3159	0,3298	0,3226	0,3740	0,3232	0,4170
	$t_{1/2}$ (min)	2,10	2,19	2,53	2,15	1,66	2,21
	R^2	0,9522	0,9566	0,9653	0,9702	0,9605	0,9675
	E_{MR}	-0,6298	1,4242	-0,3726	1,1469	-1,1442	1,7022
Pseudo segunda ordem	$q_{e,calc}$ (mg.g ⁻¹)	1,78	1,21	1,13	1,49	2,40	0,71
	k_2 (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)	0,0854	0,1065	0,1305	0,124	0,107	0,1393
	$t_{1/2}$ (min)	6,58	7,46	6,78	5,43	3,9	10,13
	R^2	0,6561	0,8209	0,7815	0,9357	0,9653	0,5405
	E_{MR}	-3,4714	0,4538	-3,4097	-0,5904	-3,7866	3,5833
Difusão intra-partícula	K_d (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)	0,5809	0,5944	0,8775	0,7576	0,6268	0,6215
	C	6,3797	7,4360	7,1130	7,1473	6,7486	7,8542
	R^2	0,8692	0,9676	0,9716	0,7573	0,9857	0,9757

Fonte: Autor, 2026.

Termodinâmica da adsorção



Os parâmetros calculados a partir da equação de van't Hoff revelaram valores negativos de ΔG° , confirmando a espontaneidade. Para $5,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, o ΔG° variou de $-12,34 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ (30°C) a $-8,69 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ (50°C), enquanto para $2,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a variação foi de $-8,88$ a $-7,95 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Magnitudes inferiores a $-20 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ são típicas de fisissorção, corroborando as inferências cinéticas. A entalpia negativa ($-67,53$ e $-22,82 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) confirmou o caráter exotérmico, enquanto ΔS negativa ($-0,1821$ e $-0,0460 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) indicou redução da desordem na interface sólido-líquido.

Tabela 4 – Parâmetros termodinâmicos da adsorção.

Amostras	T (K)	T ($^\circ\text{C}$)	ΔG° ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	ΔS° ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	ΔH° ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	R^2
RBA	303,10	30	-8,88			
	313,15	40	-8,41	-0,0460	-22,82	0,7413
	323,15	50	-7,95			
RBB	303,15	30	-12,34			
	313,15	40	-10,51	-0,1821	-67,53	0,9932
	323,15	50	-8,69			

Fonte: Autor, 2026.

Modelagem da coluna de leito fixo

A modelagem dos perfis de ruptura foi conduzida pelos modelos de Thomas, Bohart-Adams e Yoon-Nelson. O modelo de Yoon-Nelson destacou-se como o mais adequado, com melhor ajuste para RB40B. O tempo para 50% de saturação (τ) foi fortemente influenciado pela concentração: média de 29,83 min para $2,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e 3,33 min para $5,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, refletindo o aumento da força motriz em concentrações mais elevadas. A elevação térmica aumentou KYN, acelerando a saturação, em consonância com os achados termodinâmicos.



Tabela 5 – Parâmetros do modelo de Yoon-Nelson.

Modelos	Parâmetros	RB30		RB40		RB50	
		2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹	2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹	2,8 mg.L ⁻¹	5,2 mg.L ⁻¹
	q _{e,exp} (mg.g ⁻¹)	6,48	12,77	6,41	12,36	6,13	11,88
	K _{YN} (min ⁻¹)	0,0330	0,0492	0,0372	0,0668	0,0444	0,0955
	τ (0,5) _{exp} (min)	32,89	5,52	31,05	2,74	25,00	1,96
Yoon-Nelson	τ(0,5) _{calc} (min)	39,95	5,11	31,68	2,65	25,56	2,22
	R ²	0,9305	0,9743	0,9758	0,9803	0,9750	0,9617
	EMR	-0,0453	0,1986	0,0534	0,0606	-0,0549	-0,2091

Fonte: Autor, 2026.

O processo é espontâneo, exotérmico e governado por fisissorção, com melhor desempenho em concentrações elevadas e temperaturas mais baixas. A modelagem por Yoon-Nelson oferece subsídios consistentes para dimensionamento de unidades de tratamento em escala real, onde concentração do efluente e temperatura ambiente devem ser consideradas variáveis críticas de projeto. Por isso, os dados de Thomas e Bohart-Adams foram omitidos neste trabalho.

Conclusões

O trabalho teve como objetivo geral avaliar a influência da temperatura no processo de adsorção do corante Rodamina B sobre o tungstato de bismuto em uma coluna de leito fixo. Os objetivos específicos envolveram a caracterização do material, testes variando concentração e temperatura, e ajustes em modelos isotérmicos, cinéticos e termodinâmicos.

A caracterização do adsorvente evidenciou boa cristalinidade e morfologia em flor, propícias para a adsorção. Os resultados experimentais revelaram uma retenção máxima de 98,3% na concentração de 5,2 mg.L⁻¹ a 30 °C. Isso provou que o aumento da temperatura reduz a retenção do corante.

Em relação à modelagem, o processo ajustou-se adequadamente ao modelo de Langmuir, indicando uma adsorção em monocamada, com capacidade máxima de 11,21 mg.g⁻¹. A cinética seguiu o modelo de pseudo primeira ordem, apontando para o predomínio



da fisiossorção. A análise termodinâmica revelou variações de energia livres negativas e entalpias negativas ($-22,82$ e $-67,53 \text{ KJ.mol}^{-1}$), confirmando que a adsorção é espontânea, favorável e de caráter exotérmico, justificando a maior eficiência em temperaturas mais brandas.

Para a coluna de leito fixo, o modelo de Yoon-Nelson teve o melhor ajuste, indicando que elevar a concentração inicial e a temperatura diminui o tempo para o sistema atingir 50% de saturação.

Em síntese, os autores concluem que o tungstato de bismuto é um adsorvente com elevado potencial para remoção da Rodamina B. O processo apresenta maior capacidade adsorptiva em altas concentrações e baixas temperaturas, alcançando a meta da pesquisa e possibilitando a redução de custos energéticos operacionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem a utilização dos equipamentos dos Laboratórios da Faculdade de Química (FAQUI/UFPA) e ao Laboratório de Desenvolvimento e Aplicação de Novos Materiais (LADANOM/UFPA).

Referências

ABIN-BAZAINE, A. A.; OLMOS-MARQUEZ, M. A.; CAMPOS-TRUJILLO, A. A Fixed-Bed Column Sorption: Breakthrough Curves Modeling. In: MARGETA, K.; FARKAŠ, A. (Ed.). **Sorption - New Perspectives and Applications**. IntechOpen, 2024. DOI: 10.5772/intechopen.1004446.

ABIT. **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção**. São Paulo: Abit, 2019.

ADEYEMO, A.; ADEOYE, I; BELLO, O. Adsorption of dyes using different types of Clay: **Applied Water Science**, p. 1–26, 2015.

BEIGI, N.; SHAYESTEH, H.; JAVANSHIR, S.; HOSSEINZADEH, M. 2023. Pyrolyzed magnetic NiO/carbon-derived nanocomposite from a hierarchical nickel-based metal-organic framework with ultrahigh adsorption capacity. **Environmental Research**. 231(Pt 1):116146. doi:10.1016/j.envres.2023. 116146.



BENKHAYA, S.; M' RABET, S.; EL HARFI, A. A review on classifications, recente synthesis and applications of textile dyes. **Inorganic Chemistry Communications**, v.115, p. 107891, 1 maio 2020.

CAMPOS, W. E. O.; FRANCISCO, X. N.; GERALDO, N. da R. F.; MARCOS, A. R. da S.; CARLOS, E. F. da C.; LUÍS, A. S. do N.; JOSÉ, R. Z. Alta atividade fotocatalítica sob luz visível para uma nova morfologia de microcristais Bi_2WO_6 . **Catalisadores** 9, no. 8: 667. 2019. <https://doi.org/10.3390/catal9080667>

CHANG, X.; HUANG, J.; CHENG, C.; SHA, W.; LI, X.; JI, G.; DENG, S.; YU, G. Photocatalytic decomposition of 4-t-octylphenol over NaBiO_3 driven by visible light: Catalytic kinetics and corrosion products characterization. **Journal of Hazardous Materials**, v. 173, n. 1–3, p. 765-772, 2010.

CHI, S.; TU, Y.; LI, X.; DANG, J.; JIN, T.; FANG, D.; WANG, J. Preparation of several Z-scheme $\text{CuBi}_2\text{O}_4/\text{Bi}_2\text{O}_3$ photocatalyst films loaded on different metal foils for efficient methylene blue degradation with synchronous hydrogen evolution. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 91, p. 1009–1024, 19 nov. 2024.

DUARTE NETO, J. F.; PEREIRA, I. D. S.; SILVA, V. C.; FERREIRA, H. C; NEVES, G. A.; MENEZES, R. R. Estudo do equilíbrio e da cinética de adsorção da rodamina B em bentonitas purificadas. **Cerâmica**, v. 64, n. 372, p. 598-607, 2018.

ESSENNI, S.; KHAN, M.; ELKAIMBILLAH, R.; JEON, B.; SUNDARAMURTHY, S.; AGUNAOU, M.; (2024). Template assisted hydrothermal synthesis of bismuth vanadate for Rhodamine B photodegradation. **Journal of Molecular Liquids**. 398. 124270. 10.1016/j.molliq.2024.124-270.

FARHANA, K.; KADIRGAMA, K.; MAHAMUDE, A. S. F.; MICA, M.T. Energy Consumption, Environmental Impact, and Implementation of Renewable Energy Resources in Global Textile Industries: An Overview Towards Circularity and Sustainability. **Materials Circular Economy**, 4, Article No. 15. 2022. <https://doi.org/10.1007/s42824-022-00059-1>

FILA, D.; KOŁODYŃSKA, D. Fixed-bed column adsorption studies: comparison of alginate-based adsorbents for La(III) ions recovery. **Materials**, v. 16, n. 3, p. 1058, 2023.

HOCHSCHEIDT, B. E.; BRONDANI, S.N; PAULINO, A. T.; CORDEIRO, P. H. Y.; VISIOLI, L. J.; ENZWEILER, H. Tratamento fotocatalítico sob luz visível aplicado à solução aquosa de glifosato. **Scientia Plena**, v. 20, n. 1, 2024.

IMAM, S. S.; BABAMALE, H. F. A Short Review on the Removal of Rhodamine B Dye Using Agricultural Waste-Based Adsorbents. **Asian Journal of Chemical Sciences**, p. 25–37, 24 jan. 2020.



KEBIR, M.; TAHRAOUI, H.; CHABANI, M.; TRARI, M.; NOUREDDINE, N.; ASSADI, AA; AMRANE, A.; BEN HAMADI, N.; KHEZAMI, L. Limpeza de água por uma coluna contínua de leito fixo para ecoadsorção de Cr(VI) com biomassa à base de adsorvente verde: um estudo de modelagem experimental. **Processes** 2023, 11, 363. <https://doi.org/10.3390/pr11020363>

LINGHU, X., SHU, Y., LIU, L., ZHAO, Y., ZHANG, J., CHEN, Z., SHAN, D., & WANG, B. (2023a). Hydro/solvothermally synthesized bismuth tungstate nanocatalysts for enhanced photocatalytic degradation of dyes, antibiotics, and bacteria in wastewater: A review. **Journal of Water Process Engineering**, 54(July), 103994. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103994>

MASCARENHAS, B. C. **Obtenção e funcionalização da superfície da zeólita FAU particulada e imobilizada em fibras de PLA para a adsorção de corantes**. 2017. 82 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

MOROSINO, L. Z. **Adsorção de corantes rodamina B e safranina por sílica híbrida**. 2018. 52 f. Tese de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

PHURUANGRAT, A.; PUTDUM, S.; DUMRONGROJTHANATH, P.; THONGTEM, S.; THONGTEM, T. Hydrothermal Synthesis of Bi₂MoO₆ Visible-Light-Driven Photocatalyst. **Journal of Nanomaterials**, v. 2015, p. 1-6, 2015. doi:10.1155/2015/135735. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/135735>. Acesso em: 30 ago. 2026.

SANTANA, G.B.; NÓBREGA, D. C.; OLIVEIRA, J. T.; MARTINS, I. A.; NASCIMENTO, R.F.; VIDAL, C. B. Aplicação da semente de moringa (Moringa oleífera) como coagulante natural no tratamento de efluente de indústria de tintas no Ceará. **Revista Tecnologia (UNIFOR)**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-17, jun. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.2020.9889>

SILVA, D. **Estudo de isoterma de adsorção para remoção de poluentes em solução aquosa**. 2023. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química e Biotecnologia Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

SMADI, Y.; ALSOOD E.; ALJARADIN, M. 2023. A solar disinfection water treatment system for rural areas/Jordan. **Al-Kitab J Pure Sci**. 5(2):55–67. doi:10.32441/kjps.05.02.p5. TKACZYK, A; MITROWSKA, K; POSYNIAK, A; Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. Elsevier, **Science of The Total Environment**. v. 717, p. 1-19, 2020.

TROMBINI, R.B.; OBARA-DOI, S. M. Remoção de cor e análises físico-químicas de efluentes de indústrias têxteis tratados com ganoderma spp, **F@pciência**, v. 9, p. 101- 122, 2012.



U, Qi.; LI, J.; WANG, B.; LI, Y.; HOU, L. Direct Z-scheme $\text{Bi}_2\text{MoO}_6/\text{UiO}-66\text{-NH}_2$ heterojunctions for enhanced photocatalytic degradation of ofloxacin and ciprofloxacin under visible light. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 318, artigo 121820, 2022. DOI: 10.1016/j.apcatb.2022.121820.

YE L, DENG Y, WANG L, XIE H, SU F. Bismuth-Based Photocatalysts for Solar Photocatalytic Carbon Dioxide Conversion. *ChemSusChem*. v. 22, n. 16, p. 3671-3701. 2019 doi: 10.1002/cssc.201901196.