



Estudo da adsorção de corante Yellow 5G em solução aquosa utilizando resíduo mineral

Study of the adsorption of Yellow 5G dye in aqueous solution using mineral waste.

Leandro Mulek¹, Mariane Hawerth², Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli³

RESUMO

Com os avanços industriais e emissão de poluentes e efluentes tiveram um grande salto, trazendo inúmeros problemas ambientais. Este trabalho se desenvolveu com um viés ambiental, a fim de avaliar a utilização do pó de rocha basáltica (PRB) como adsorvente para remoção do corante Basazol Yellow 5G, bem como a avaliação cinética e termodinâmica deste sistema. O tempo de equilíbrio foi de 40, 30, 30 e 15 minutos, remoção próxima a 97% para 25, 30, 40 e 50 °C, respectivamente. O modelo de pseudosegunda ordem foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. O processo foi caracterizado como exotérmico e espontâneo a partir dos parâmetros de entalpia e energia livre de Gibbs, respectivamente, sinalizando que a adsorção é favorável do ponto de vista termodinâmico. Logo, pode-se dizer o resíduo mineral PRB apresenta significativo potencial para o tratamento de efluentes contendo o corante Basazol Yellow 5G.

PALAVRAS-CHAVE: adsorção, corante; pó de rocha

ABSTRACT

With the advancements in industrial processes and the release of pollutants and effluents, a significant escalation in environmental issues has occurred. This study was undertaken with an environmental perspective, aiming to assess the utilization of basaltic rock powder (BRP) as an adsorbent for the removal of the Basazol Yellow 5G dye, alongside the kinetic and thermodynamic evaluation of this system. The equilibrium time was 40, 30, 30, and 15 minutes, resulting in approximately 97% removal at temperatures of 25, 30, 40, and 50°C, respectively. The pseudo-second-order model provided the best fit to the experimental data. The process was characterized as exothermic and spontaneous based on the enthalpy and Gibbs free energy parameters, respectively, indicating that adsorption is favorable from a thermodynamic perspective. Therefore, it can be concluded that the mineral residue BRP exhibits significant potential for treating effluents containing the Basazol Yellow 5G dye.

KEYWORDS: adsorption; dye; rock powder

INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico e industrial surge a necessidade do desenvolvimento de tecnologias que minimizem os impactos ambientais. A indústria de embalagens, que em 2022 obteve um faturamento de R\$ 123.2 bilhões, e o ramo de mineração que representa uma grande força econômica em nosso país (HAWERROTH, 2023), produzem grande quantidade de resíduos e efluentes que se não tratados de maneira adequada geram significativo passivo ambiental.

No setor de embalagens, os efluentes geralmente possuem corantes que são utilizados para dar tonalidade a estas. Há a necessidade de remoção desses corantes, pois eles impedem a passagem da radiação solar afetando os seres vivos que habitam os

¹ Leandro Mulek. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: leandromulek@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 2463355730184445.

² Mariane Hawerth. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: mari.hawerth@gmail.com. ID Lattes: 6166814140054383.

³ Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli /DAENQ/ PPGEQ-PG. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: jpietrobelli@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7261115658729291.



respectivos corpos receptores. Um destes corantes é o Basazol Yellow 5G, tintura de caráter básico composto por Piridínio (4,4-6-bis(2-hidroxiethyl)amino-1,3,5-triazina-2,4-diilbis(imino-4,1-fenileno-2,1-etenediil)bis(1-metil)dicloreto), não é rapidamente biodegradável e possui alta toxicidade a vidas aquáticas segundo sua Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ) e deve ser devidamente tratado antes de seu descarte.

Já na área de mineração, na extração e britagem de rocha basáltica, por exemplo, é produzido um pó composto por partículas de diâmetro muito pequeno denominado, pó de racha basáltica (PRB), que representa sérios riscos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente (AZEVEDO citado por URIBE, 2022) podendo causar doenças graves como a silicose.

A fim de procurar uma alternativa tanto para o uso quanto para o tratamento de resíduos, este trabalho tem o objetivo de avaliar a aplicabilidade do PRB na remoção de corante Yellow 5G em solução, por meio da adsorção, estudando a cinética e parâmetros termodinâmicos da mesma.

METODOLOGIA

Os testes foram realizados seguindo os estudos e metodologias utilizados nos trabalhos de Pietrobelli (2012), Zanutto et al (2015) e Hawerth (2020 e 2023), e não foi necessário um preparo prévio do PRB para realizar os experimentos.

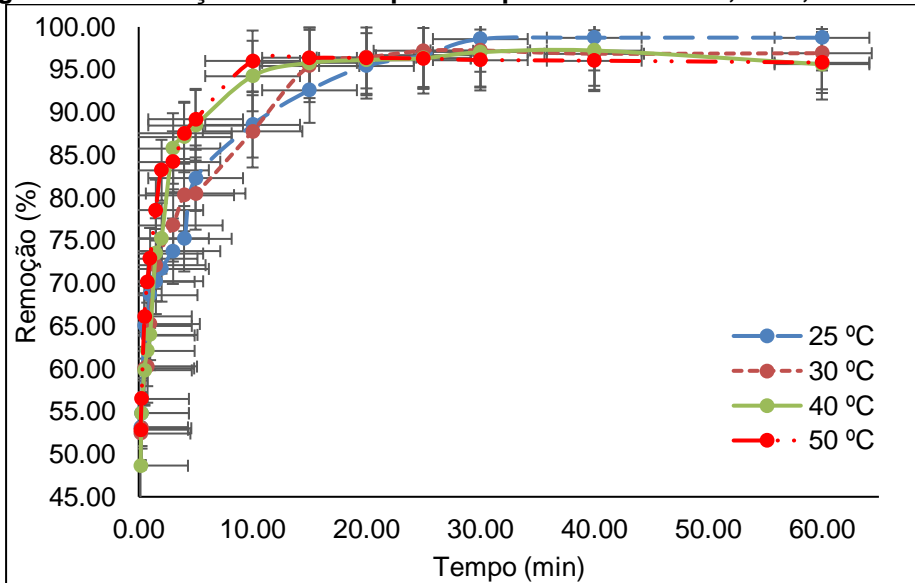
O preparo da solução de corante sintético se deu pela diluição do corante Basazol Yellow 5G em água destilada, obtendo-se soluções de 60 ppm, realizou-se o ajuste do pH da solução pela adição de soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl). Para determinar a absorvância do corante utilizou-se um espectrofotômetro UV-Vis (N6000), o mesmo equipamento utilizado para as leituras.

Para realização dos testes cinético e termodinâmico, que tiveram como objetivo determinar o tempo de equilíbrio e cinética de adsorção, e os parâmetros termodinâmicos, utilizou-se 0,15 g de PRB com 25 mL de solução de corante de 60 mgL⁻¹ em pH 7, condições e quantidades ótimas para o estudo definidas anteriormente no trabalho de Hawerth (2023). Foram realizados testes a 25, 30, 40 e 50 °C, sob agitação constante de 130 rpm em uma incubadora de agitação rotativa (Tecnal, TE-424). Amostras foram retiradas em tempos pré-determinados, de 0 a 120 minutos, centrifugadas a uma rotação de 3000 rpm por 10 minutos e a leitura da absorvância realizada em UV-Vis a 419 nanômetros. Os testes foram realizados em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A curva de calibração utilizada foi obtida pela mesma metodologia aplicada por Hawerth (2023). A Figura 1 representa os dados obtidos experimentalmente. Os tempos de equilíbrio obtidos foram de 40, 30, 30 e 15 minutos, para 25, 30, 40 e 50°C, respectivamente.

Figura 1 — Remoção do corante para temperaturas de 25°C, 30°C, 40°C e 50°C



Fonte: autoria própria (2023).

Pela Figura 1 é possível notar que com o aumento da temperatura a uma pequena redução na porcentagem de remoção, ao mesmo tempo que o tempo de equilíbrio diminui.

Para determinar a cinética de adsorção e os parâmetros cinéticos foram utilizados três modelos expressos na Tabela 1, já os resultados encontrados após a aplicação dos modelos se situam na Tabela 2 junto com os dados experimentais obtidos.

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o de pseudosegunda ordem para todas as temperaturas com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9999. A Tabela 2 também mostra que a contante k_2 aumenta conforme o aumento da temperatura, o que implica em uma adsorção mais rápida, e um decréscimo do q_{eq} conforme o aumento da temperatura. Ou seja, o tempo de equilíbrio tende a diminuir com este aumento, ambas características corroboram com os resultados obtidos na Figura 1.

Tabela 1 — Equações lineares para os modelos cinéticos

Modelo cinético	Equação linear
Pseudoprimeira ordem	$\log(q_{eq} - q_t) = \log(q_{eq}) - \left(\frac{k_1}{2,303}\right)t$
Pseudosegunda ordem	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}}$
Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t)$

Fonte: Adaptado de Hawerth (2023).



Tabela 2 — Equações lineares para os modelos cinéticos

Modelo Cinético	Parâmetros	Temperatura °C			
		25	30	40	50
Pseudoprimeira ordem	q_e (mg L ⁻¹)	4.7087	4.5384	2.7612	3.1485
	k_1 (min ⁻¹)	0.1545	0.2427	0.1863	0.4694
	R^2	0.9206	0.9472	0.8996	0.9465
Pseudosegunda ordem	q_e (mg L ⁻¹)	10.4167	8.5179	7.6511	6.4061
	k_2 (min ⁻¹)	0.1407	0.2219	0.5830	1.6245
	R^2	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
Elovich	α (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	3724.0715	2366.9131	2929.4069	16912.2417
	β (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	1.1855	1.3899	1.5366	2.1395
	q_e (mg L ⁻¹)	10.1909	8.2741	7.6881	6.1717
	R^2	0.9657	0.9360	0.8908	0.8712
Dados experimentais	t de equilíbrio (min)	40	30	30	15
	q_e (mg L ⁻¹)	10.3211	8.4896	7.7324	6.4824

Fonte: autoria própria (2023).

A obtenção da energia de ativação (E_a) e o parâmetro A se deu através da equação linearizada de Arrhenius (Eq.1). Para a determinação dos parâmetros termodinâmicos relacionados à adsorção foi utilizada a Eq. 2 e os dados apresentados na Figura 1 para encontrar a constante k_d e posteriormente a Eq. 3 para encontrar os valores de entalpia (ΔH°), energia e entropia (ΔS°), e a Eq 4 para determinar a energia livre de Gibbs (ΔG°)

$$\ln(k_2) = \ln(A) - \frac{E_a}{RT} \quad (1)$$

$$k_d = \frac{q_{eq}}{C_{eq}} \quad (2)$$

$$\ln(k_d) = -\frac{\Delta H_{ads}^\circ}{RT} + \frac{\Delta S_{ads}^\circ}{R} \quad (3)$$

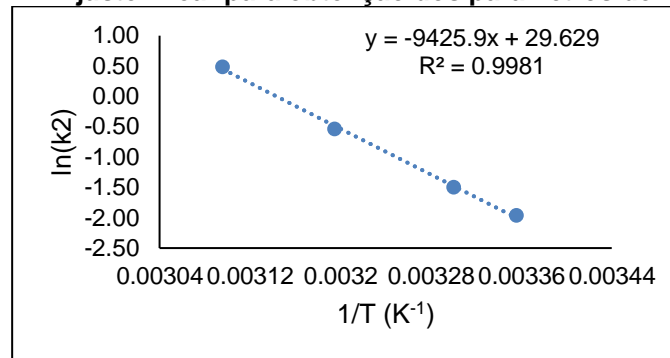
$$\Delta G_{ads}^\circ = \Delta H_{ads}^\circ - T\Delta S_{ads}^\circ \quad (4)$$

Através da Figura 2 é possível obter os parâmetros de Arrhenius utilizando a equação da reta obtida. Com as informações da Figura 2 é possível obter um fator pré-exponencial (A) de $7,37 \times 10^{12}$ e uma energia de ativação (E_a) de $78,37 \text{ kJ mol}^{-1}$ evidenciando uma quimissorção, indicando que há uma maior dificuldade de recuperação do adsorvato e regeneração do adsorvente (FOGLER, 2009 citado por HAWERROTH, 2023).

Os resultados dos parâmetros termodinâmicos estão expressos na Tabela 3.



Figura 2 — Ajuste linear para obtenção dos parâmetros de Arrhenius



Fonte: autoria própria (2023).

Tabela 3 — Parâmetros termodinâmicos da adsorção

T (°C)	K _d	ΔG° (kJ mol ⁻¹)	ΔH° (kJ mol ⁻¹)	ΔS° (J mol ⁻¹ K ⁻¹)
25	13.01	-5.68		
30	5.89	-5.29	-28.83	-77.68
40	5.45	-4.52		
50	4.42	-3.74		

Fonte: autoria própria (2023).

O ΔG° negativo indicou processo espontâneo e seu decréscimo sugere um maior favorecimento para as temperaturas menores. ΔH° negativo indicou uma reação exotérmica em que a adsorção é favorecida com temperaturas menores, resultado condizentes com a Figura 1.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a utilização do resíduo industrial (PRB) na remoção do corante Basazol Yellow 5G.

O modelo de pseudosegunda ordem melhor se ajustou aos dados cinéticos obtidos, que evidenciou um processo de quimissorção, com energia de ativação de 78,37 kJ/mol. Os testes termodinâmicos indicam que o processo ocorreu de forma espontânea, de natureza exotérmica. Os parâmetros termodinâmicos mostram uma adsorção favorecida por temperaturas menores (próxima a 98% a 25 °C).

Com os resultados obtidos no trabalho pode-se concluir que o pó de rocha basáltica-PRB tem potencial de aplicação para o tratamento da remoção do corante Basazol Yellow 5G de efluentes industriais.

Agradecimentos

Agradeço a UTFPR pela estrutura disponibilizada. As indústrias parceiras, de embalagens e mineradora, pela doação do corante Basazol Yellow 5G e resíduo PRB, respectivamente. E a minha professora Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli e a Mariane Hawerth pela confiança depositada e o grande auxílio com seus conhecimentos que possibilitaram a realização deste trabalho.



Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

163661-77-6 CAS manufactory. Disponível em:

<https://m.chemicalbook.com/ProdSupplierGWCB31215118_EN.htm>. Acesso em: 18 ago. 2023.

FOGLER, H. Scott. **Elementos de Engenharia das Reações Químicas.** 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.

HAWERROTH, Mariane et al. **Pó de rocha granítica na remoção de corante em efluente e aplicação em matriz de cimento Portland.** 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HAWERROTH, Mariane. **Utilização de subproduto mineral para remoção do corante Basazol Yellow 5G.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.

PEREIRA, M.; SOUSA, D. E. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI QUÍMICA AMBIENTAL.** Disponível em: <<https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/3124/1/Mateus%20Pereira%20de%20Sousa%20Mil%20homem..pdf>>. Acesso em: 18 set. 2023.

PergasoITM Corantes Diretos | Corantes de Papel | Solenis. Disponível em:

<<https://www.solenis.com/pt-br/research-and-development/innovations/pergasol-direct-dyes-for-paper>>. Acesso em: 18 ago. 2023.

PIETROBELLI, J. M. T. de A. **Remoção dos íons Cádmio, Cobre e Zinco utilizando Macrófita Egeria Densa.** 2012. 125 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

SOLENIS. **Boletim Técnico: PergabaseTM Yellow 5G Liquid NEW – Corante Básico (SOLENIS).**

SOLENIS. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ): Corante Basazol Yellow 5G New (SOLENIS).** 2020.

URIBE, Nataly Scola. **Estudo do filler de basalto como resíduo e seu efeito na saúde dos trabalhadores de uma pedreira.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

ZANUTTO, A.; da SILVA, B. C.; DUARTE, E. R.; de ALMEIDA, L. N. B.; PIETROBELLI, J. M. T. A.; "AVALIAÇÃO CINÉTICA DO BAGAÇO DE MALTE NA REMOÇÃO DO CORANTE AMARELO REATIVO", p. 302-307. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica [=Blucher 62 Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3]. ISSN impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeqic2015-267-.