

## Avaliação do caulim como adsorvente de corante de Indústria têxtil

### Evaluation of kaolin as a dye adsorbent in the textile industry

Vanessa Londero<sup>1</sup>, Ivanir Luiz De Oliveira<sup>2</sup>, Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli<sup>3</sup>

#### RESUMO

No contexto da indústria têxtil, a busca por práticas mais sustentáveis se tornou crucial. Um dos problemas ambientais críticos é a remoção de corantes têxteis das águas industriais, que prejudicam os ecossistemas aquáticos e a qualidade de água. Este estudo teve como objetivo avaliar a capacidade do mineral caulim em remover o corante Basazol Yellow 5G de soluções aquosas. A análise cinética indicou tempo de equilíbrio de 7 minutos com uma remoção superior a 94% do corante. O modelo cinético de pseudossegunda ordem e a isoterma de Langmuir melhor se ajustaram aos dados experimentais, com  $q_{max}$  de 77,5163 mg. g<sup>-1</sup>. Assim conclui-se que o caulim possui um ótimo potencial de adsorção do corante Basazol Yellow 5G, principalmente por ser uma matéria de baixo custo e fácil manejo. Além disso, é promissora a possibilidade de realizar estudos utilizando o caulim após o processo de adsorção, principalmente na fabricação de cerâmicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** adsorção; caulim; corante; remoção; mineral.

#### ABSTRACT

In the context of the textile industry, the pursuit of more sustainable practices has become crucial. One of the critical environmental issues is the removal of textile dyes from industrial waters, which harms aquatic ecosystems and water quality. This study aimed to assess the ability of the mineral kaolin to remove the Basazol Yellow 5G dye from aqueous solutions. Kinetic analysis indicated an equilibrium time of 7 minutes with removal exceeding 94% of the dye. The pseudo-second-order kinetic model and Langmuir isotherm best fit the experimental data, with a  $q_{max}$  of 77.5163 mg g<sup>-1</sup>. Thus, it is concluded that kaolin has excellent dye adsorption potential, mainly due to its low cost and easy handling. Additionally, there is promising potential for conducting studies using kaolin after the adsorption process, particularly in ceramics manufacturing.

**KEYWORDS:** adsorption; kaolin; dye; removal; mineral.

#### INTRODUÇÃO

Para as indústrias têxteis, uma das questões ambientais críticas existentes é a necessidade de remoção de corantes dos seus efluentes. Com isso, a adsorção surge como uma solução promissora para o tratamento de água, oferecendo eficiência, baixo custo e redução de produtos químicos. Este estudo teve como objetivo avaliar a capacidade do caulim, um mineral de cor branca devido ao baixo teor de ferro, em remover o corante têxtil Basazol Yellow 5G de soluções aquosas.

#### MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 1 está sintetizada a metodologia experimental utilizada no presente estudo. Os procedimentos estão baseados em trabalhos feitos por Pietrobelli (2012) e

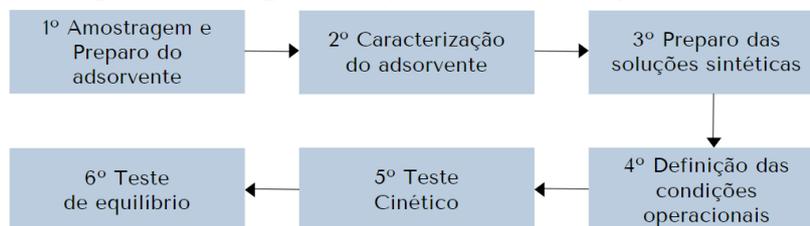
<sup>1</sup> Iniciação científica voluntária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: [vanessalondero@alunos.utfpr.edu.br](mailto:vanessalondero@alunos.utfpr.edu.br). ID Lattes: 1790863690141575

<sup>2</sup> Docente no Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: [ivanir@utfpr.edu.br](mailto:ivanir@utfpr.edu.br). ID Lattes: 3769612369464149

<sup>3</sup> Docente no Departamento de Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: [jpietrobelli@utfpr.edu.br](mailto:jpietrobelli@utfpr.edu.br). ID Lattes: 7261115658729291

Hawerth (2020), todos desenvolvidos por membros do grupo de pesquisa: Sistema de Tratamento e Aproveitamento de Resíduos- STAR.

**Figura 1- Fluxograma de procedimentos experimentais**



Fonte: Autoria própria (2023)

### PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

O caulim foi desaglomerado por um moinho de martelos, seco a 100 °C em estufa com renovação e circulação de Ar (SL 102- SOLAB). Com um agitador eletromagnético e peneiras granulométricas redondas (Bertel – AAKER), o pó foi peneirado em três momentos e separados em 12 granulometrias diferentes (80, 100, 115, 150, 170, 200, 250, 270, 325, 400, 500, 635 mesh) com o número de aberturas por polegadas linear das peneiras, para assim obter a granulometria do pó e a padronização do grânulo. Para a separação do material adsorvente após a adsorção, o mesmo foi filtrado e secado em estufa a 100 °C. Para caracterização do material, foi feita Microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada à espectroscopia de Raios X por energia dispersiva (EDS). A técnica de MEV examinou a morfologia do caulim pré e pós adsorção no equipamento Vega 3 LMU da Tescan. Uma camada de ouro foi aplicada usando o metalizador SC7620 da Quórum, seguida de análise a 20kV e 1000x de ampliação, junto com EDS modelo X-Act da Oxford para identificar elementos químicos.

Ademais, foi feito o Ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{pcz}}$ ), para determinar o valor de pH em que a superfície do material apresenta carga nula. Assim, foi usado 0,10 g de caulim em erlenmeyers com 25 mL de solução de cloreto de sódio (NaCl) 0,01 M, variando o pH de 1 a 12 por 24 horas, a 30 °C e 130 rpm em uma incubadora de agitação rotativa (Tecnal, TE-424), finalizando com as medições dos pHs finais.

### PREPARO DAS SOLUÇÕES SINTÉTICAS

As soluções foram preparadas diluindo o corante Basazol Yellow 5G em água destilada. Para o ajuste do pH foram utilizadas soluções concentradas de HCl e NaOH. Para determinar as absorvâncias do experimento, foi utilizado o espectrofotômetro UV-Vis (FEMTO SCAN). Nesse contexto, foi essencial construir a curva de calibração do corante. Para isso, foram preparadas soluções variadas do corante Basazol Yellow 5G com diferentes concentrações, expressas em  $\text{mg.L}^{-1}$ . Essas soluções foram posteriormente analisadas através do aparelho UV-Vis, no modo fotométrico, utilizando o comprimento de onda de 419 nm (pico de absorvância), que relaciona a absorvância com a concentração do corante.

### CONDIÇÕES OPERACIONAIS

A temperatura de trabalho para os experimentos deste estudo foi de 30°C. Em relação ao pH, tendo em vista os resultados obtidos para a remoção de corante em pH



neutro e o requisito de pH para descarte do efluente, conforme definido na resolução nº 430 (CONAMA, 2011), estabeleceu-se um pH de 7 como condição operacional para os testes subsequentes (Hawerth 2023). Essas condições demonstraram a maior eficiência na remoção do corante e, portanto, foram selecionadas como os parâmetros operacionais para os testes subsequentes. As condições de pH, granulometria, temperatura e agitação foram estabelecidas com base em experimentos preliminares.

## TESTE CINÉTICO

O teste cinético foi conduzido com o objetivo de determinar o tempo necessário para atingir o equilíbrio no sistema composto pelo corante Basazol Yellow 5G e caulim. Foram utilizadas amostras contendo 0,075 g de caulim e 25 ml da solução de corante Basazol Yellow 5G, com concentração de  $60 \text{ mg.L}^{-1}$ . Em intervalos de tempo predefinidos, até 600 minutos, as amostras foram coletadas, centrifugadas e posteriormente analisadas no espectrofotômetro UV-Vis para quantificar a concentração residual. Os modelos cinéticos testados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos Cinéticos

Modelo Cinético	Equação Linear
Pseudoprimeira Ordem	$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k}{2.303}t$
Pseudossegunda Ordem	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{1}{q_e}t$

Fonte: HO & MCKAY (1998).

## TESTE DE EQUILÍBRIO

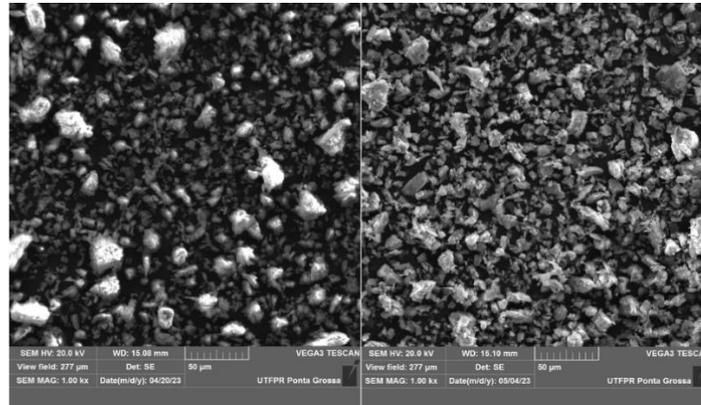
O teste de equilíbrio visou encontrar a quantidade máxima de corante que pode ser removida pelo material adsorvente. Para isso, foram separados erlenmeyers de 125 mL contendo 0,075 gramas de caulim e 25 ml de solução aquosa do corante estudado. Foram definidas diferentes concentrações iniciais e ajustadas em pH 7. Após isso, as amostras foram colocadas na incubadora shaker a 30 °C e 130 rpm. Posteriormente, foram colocadas na centrífuga por 10 minutos e 3000 rpm e seu sobrenadante lido no espectrofotômetro UV-Vis (FEMTO SCAN). Com os resultados, foi possível aplicar as Isotermas de Langmuir e Freundlich, para assim identificar o comportamento do sistema.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

Após a secagem, o material peneirado foi submetido ao teste de granulometria, onde o diâmetro de Sauter foi de 0,056 mm (MESH 205-270), sendo esse utilizado nos testes seguintes. Para a análise da morfologia do material, foram utilizados o MEV e o EDS com ampliação de 1000 vezes. O resultado do MEV pode ser visto na Figura 2.

Figura 2- MEV do caulim respectivamente antes e após a adsorção do corante



Fonte: Autoria Própria (2023)

As duas amostras possuem grânulos de formatos diferentes e de modo irregular. Ademais observa-se que o caulim está empilhado em blocos próximos a 10 µm, que segundo Cherata (2016), indica caulim tipo “macio” com partículas aglomeradas com morfologia pseudo-hexagonal.

Com relação ao EDS, o caulim antes e após a adsorção apresenta minerais como Silício, Alumínio, Oxigênio, Ferro e Titânio. Com relação ao Ponto de carga zero, o valor do ponto de carga zero obtido para o caulim em estudo é 6,4, ou seja, os valores de pH acima de 6,4 são mais propícios para remover o corante pelo caulim.

### CURVA DE CALIBRAÇÃO

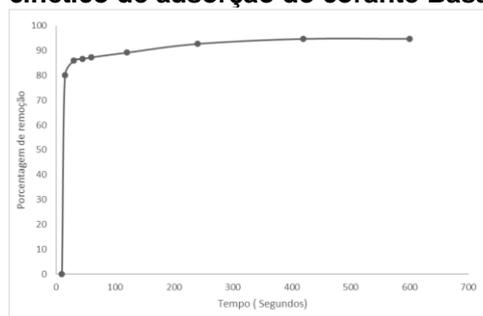
A partir de leituras no espectrofotômetro UV-Vis, a curva de calibração resultou em um R<sup>2</sup> de 0,9978. A equação encontrada é apresentada na Equação 1.

$$y = 0,0255x - 0,047 \quad (1)$$

### TESTE CINÉTICO

O resultado do teste cinético foi obtido nas condições operacionais, pH 7, rotação de 130 rpm e temperatura de 30 °C. O comportamento e o resultado do experimento podem ser vistos na Figura 3.

Figura 3- Dados do teste cinético de adsorção do corante Basazol Yellow 5G pelo caulim



Fonte: Autoria Própria (2023)

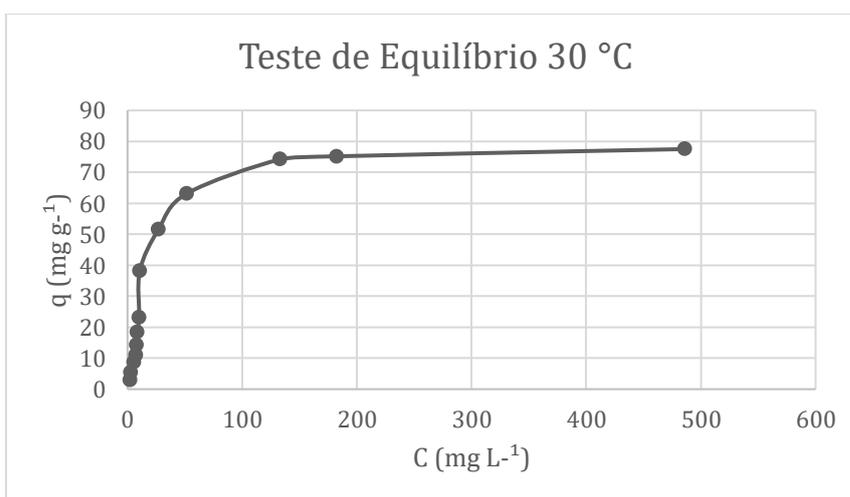
Observa-se que a adsorção ocorreu de forma rápida nos primeiros 10 segundos, atingindo rapidamente 80% de remoção. Percebe-se que o equilíbrio foi atingido em 7 minutos (420 segundos) com uma remoção de 94,75% que se manteve constante até o fim do experimento. Para compreender o comportamento do processo, foi feito o ajuste do modelo cinético de pseudoprimeira ordem e do modelo cinético de pseudossegunda ordem aos dados obtidos.

Os coeficientes de correlação dos modelos cinéticos resultaram em 0,7256 do modelo de pseudoprimeira ordem e 1 do modelo pseudossegunda ordem. Dentre os resultados, o modelo que melhor representou os dados experimentais foi o modelo de pseudossegunda ordem, devido ao coeficiente de correlação ter sido 1, o maior entre os resultados.

### TESTE DE EQUILÍBRIO

A partir das diferentes concentrações iniciais do corante Basazol Yellow 5G, foi feito o teste de equilíbrio. A isoterma de equilíbrio resultante é representada na Figura 4. Para isso, foi feita a relação entre quantidade de corante da fase sólida ( $q$ ) e fase líquida ( $C$ ).

Figura 4- Dados de equilíbrio de adsorção do corante Basazol Yellow 5G pelo caulim



Fonte: Autoria Própria (2023)

A partir dos resultados, foi notório observar que o  $q$  foi aumentando gradualmente em relação ao eixo das abscissas, até o momento que se manteve constante, ou seja, linear. O melhor modelo ajustado foi o de Langmuir onde o coeficiente de correlação foi de 0,9902. Esse modelo baseia-se na hipótese de que as moléculas são adsorvidas em monocamadas na superfície do material adsorvente. Com os modelos ajustados, segue os resultados na Tabela 2.

Tabela 2- Ajuste linear dos dados experimentais aos modelos de isoterma de equilíbrio.

	Parâmetros	30 ° C
LANGMUIR	QMAX (mg.g <sup>-1</sup> )	77,5163
	K ( L.g <sup>-1</sup> )	0,0381
	R <sup>2</sup>	0,9902



FREUDLICH	Kf (mg.g <sup>-1</sup> )	2,0254
	n	1,4169
	R <sup>2</sup>	0,7233

Fonte: Autoria Própria (2023)

## CONCLUSÃO

O estudo teve como objetivo investigar a capacidade do caulim para adsorver o corante Basazol Yellow 5G de soluções sintéticas. Testes de pHpcz mostraram que pH acima de 6,4 favorece a adsorção devido à natureza catiônica do corante. A análise da morfologia do caulim usando MEV e EDS revelou sua irregularidade, variados tamanhos de grânulos e composição mineral rica em Silício, Alumínio, Oxigênio, Ferro e Titânio. No teste cinético, foi alcançado 80% de remoção no primeiro minuto, destacando a alta capacidade de adsorção do caulim. O modelo de pseudossegunda ordem foi o mais adequado para descrever a cinética. Na análise de equilíbrio, a isoterma de Langmuir ajustou-se bem aos dados, com qmax de 77,51 mg.g<sup>-1</sup>, indicando potencial de adsorção. Os resultados indicam que o caulim apresenta excelente potencial no tratamento de efluentes contendo Basazol Yellow 5G.

## Agradecimentos

À UTFPR- PG pela concessão de espaços físicos e equipamentos para as atividades, aos grupos de pesquisa STAR e ao Centro de Caracterização Multiusuário em Pesquisa e Desenvolvimento de Materiais (C2MMA) pelo MEV. Aos meus amigos Lucas Vinicius Kugler e Guilherme Caetano, por todo suporte e auxílio nas análises.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

CHERATA, Iulian Dumitru. **Caracterização da caulinita da região do Rio Capim, Pará**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências.

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, 2020.

HAWERROTH, Mariane. **Pó de rocha granítica na remoção de corante em efluente e aplicação em matriz de cimento Portland**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 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.