

ESTUDO CINÉTICO DA BIOSSORÇÃO DO CORANTE AMARELO REATIVO B2R EM RESÍDUO ORGÂNICO DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE SEMENTE DE CHIA (*Salvia hispanica*)

Deborah Cristina Crominski da Silva¹ (deborahecrominski@gmail.com), Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli¹ (jpietrobelli@utfpr.edu.br)

¹ UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, CAMPUS PONTA GROSSA

RESUMO

As indústrias têxteis são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 60% dos corantes sintéticos existentes, na etapa de tingimento do tecido, sendo que destes, 10 a 15% são descartados nos efluentes. A ineficiência ou ausência de tratamento de remoção desses corantes confere impacto ambiental grave ao meio ambiente, reduzindo a penetração de luz nos corpos d'água e impossibilitando a fotossíntese. Os corantes em sua maioria apresentam propriedades tóxicas e cancerígenas. Uma alternativa eficiente aos métodos convencionais na remoção de corantes é o processo de biossorção, que possui características de captação do componente desejado por meio de um biossorvente. A torta de chia é um resíduo orgânico industrial da extração do óleo de chia e atualmente não existem aplicações para este, tampouco destinação ambientalmente correta. Neste trabalho foi avaliado o potencial da torta de chia como biossorvente na remoção do corante Amarelo Reativo B2R, em sistema batelada, a partir da cinética de adsorção. Os testes preliminares foram realizados com o objetivo de encontrar as melhores condições de operação, sendo elas: pH 2, velocidade de agitação 150 rpm e o diâmetro resíduo original de torta de chia sem peneiramento. O modelo cinético de pseudo-segunda ordem foi o que melhor se ajustou ao processo em estudo, avaliado nas temperaturas de 30, 40 e 50°C. O tempo de equilíbrio obtido foi de 60 horas com remoção de aproximadamente 92%. Além disso, o início do teste cinético foi marcado pelo aumento da velocidade de reação de acordo com o aumento da temperatura.

Palavras-chave: Torta de chia, Biossorção, Amarelo Reativo B2R.

BIOSORPTION OF REACTIVE YELLOW B2R DYE ONTO ORGANIC RESIDUE FROM THE OIL-EXTRACTING PROCESS OF CHIA SEEDS (*Salvia hispanica*): A KINETIC STUDY

ABSTRACT

The textile industries are responsible for the consumption of approximately 60% of the existing synthetic dyes in the fabric dyeing stage, of which 10 to 15% are discarded in the wastewater. The inefficiency or lack of removal treatment of these dyes confers a serious environmental impact to the environment, reducing the penetration of light in water bodies and making photosynthesis impossible. Dyes most often have toxic and carcinogenic properties. An efficient alternative to the conventional methods in dye removal is the biosorption process, which has characteristics of capturing the desired component through a biosorbent. The residual meal of chia seeds is an industrial organic residue from the oil-extracting process, and there are neither applications, nor an environmentally-friendly destination to it. In this project, the potential of the residual meal of chia seeds as biosorbent in the removal of the Reactive Yellow B2R dye in batch system was evaluated by the application of the adsorption kinetics. Initially preliminary tests were performed with the goal of finding the best operating conditions, which were pH 2, agitation speed of 150 rpm and the original residue without the sieving stage. The adsorption kinetic study at the temperatures of 30, 40 and 50°C indicated the kinetic model of pseudo-second order as the best fit, and concluded equilibrium time of 60 hours and removal of approximately 92%. In addition, the beginning of the study was marked by the increase of the reaction speed related to the increase of the temperature.

Keywords: Residual meal of chia seed oil extraction, Biosorption, Reative Yellow B2R.

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil, a qual tem expressiva contribuição de cerca de 5% no PIB, é responsável pelo consumo de aproximadamente 60% dos corantes sintéticos existentes, na etapa de tingimento do tecido, sendo que destes, 10 a 15% são descartados nos efluentes. A ineficiência ou ausência de tratamento de remoção desses corantes pode conferir impacto ambiental grave ao meio ambiente, reduzindo a penetração de luz nos corpos d'água e impossibilitando a fotossíntese, além de sua maioria apresentar propriedades tóxica e cancerígena (DANESHVAR et al., 2012).

Os processos de tratamento convencionais de efluentes talvez não se aplicam à remoção de corantes sintéticos, visto que essas substâncias são muito estáveis quimicamente (FORGACS et al., 2004). Os estudos acerca do processo de biossorção indicaram que esta é uma alternativa eficiente de tratamento de efluentes devido às características de captação do componente desejado aliado ao baixo custo. Segundo Bailey et al. (1999), "o sorvente pode ser assumido como de baixo custo se requer pouco processamento, é abundante na natureza ou advém da indústria como subproduto ou resíduo". Adicionalmente, o estudo de novos materiais orgânicos de baixo custo se faz importante da difusão do processo (TABARAKI et al., 2014 apud VOLESKY; HOLAN, 1995).

Diversos materiais orgânicos se mostraram eficientes na remoção de cor de efluentes têxteis, como o bagaço de cana-de-açúcar (CASTRO et al., 2014), bagaço de malte (FONTANA et al., 2016), cascas de soja (HONORIO et al., 2014), cascas de amêndoas (AYDIN et al., 2004), cascas de laranja (NAMASIVAYAM et al., 1996), e entre outros.

A torta de chia é um resíduo orgânico da indústria de extração do óleo de semente de chia. O estudo de Capitani et al. (2012) sugeriu a utilização do resíduo gerado em formulações para indústria alimentícia diante do alto grau de fibras e proteínas presentes, mas em razão do baixo valor econômico e baixa aplicabilidade do resíduo no Brasil, a torta de chia segue sem disposição final adequada.

A asserção deste trabalho é avaliar a utilização da torta de chia como biossorvente na remoção do corante Amarelo Reativo B2R, a partir do estudo das condições ótimas de operação como pH, velocidade de agitação e diâmetro da partícula do biossorvente, e cinética de adsorção. Além disso, o trabalho visa sugerir uma disposição correta para o resíduo gerado na indústria de extração de óleo de chia, e tratar eficientemente os efluentes industriais têxteis de forma eficaz com custo ínfimo, criando a simbiose industrial minimizando os impactos ambientais gerados pela disposição inapropriada de resíduos e efluentes industriais.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a cinética de remoção do corante Amarelo Reativo B2R, em solução aquosa, pelo resíduo orgânico da extração do óleo de chia a partir da otimização das condições ótimas de operação em sistema batelada, como pH, temperatura, agitação e granulometria do material biossorvente.

3. METODOLOGIA

As etapas referentes aos procedimentos experimentais tiveram por referência o trabalho de Pietrobelli (2007).

3.1. Materiais

Os principais materiais utilizados na realização do presente projeto foram o Corante Amarelo Reativo B2R também denominado como corante Amarelo Reafix B2R, doado pela empresa AGS Química, localizada na cidade de Barueri – São Paulo e a torta de chia – resíduo orgânico da extração de óleo de chia, cedido pela indústria H. Larocca Carbonar M.E., localizada na cidade de Castro – Paraná.

3.2. Equipamentos

A torta de chia foi seca em estufa com circulação e renovação de ar (SOLAB - SL 102) e o peneiramento do resíduo feito em agitador eletromagnético com peneiras redondas (BERTEL,

AAKER). As medidas de pH e quantidade de massa foram feitas utilizando pHmetro (MPA- 210, AAKER) e balança analítica (MARK, BEL ENGINEER- ING). O processo em batelada foi realizado em incubadora shaker (TECNAL, TE 420). A determinação da concentração de corante em solução aquosa foi analisada segundo as absorvâncias lidas em espectrofotômetro DE UV-Vis (FEMTO, 800XI) e a separação do biossorvente e da solução de corante realizada em centrífuga (EXCELSA BABY II 206-R, FANEM).

3.3. Preparo do biossorvente torta de chia e das soluções de corante

A torta de chia já estava previamente triturada. Dessa forma, o resíduo foi seco a temperatura de 35°C, em estufa, até massa constante e estocado em um recipiente hermético.

O preparo das soluções sintéticas de corante Amarelo Reativo B2R consistiram na diluição do corante em água deionizada e ajuste de pH a partir de soluções de hidróxido de sódio e ácido clorídrico.

3.4. Testes preliminares

Os testes preliminares foram realizados de forma a se obter a otimização dos parâmetros de operação. Para tanto, foram analisadas a influência do pH, velocidade de rotação e diâmetro da partícula do biossorvente, na porcentagem final de remoção do corante Amarelo Reativo B2R em solução aquosa, bem como a influência do pH sobre a banda de absorção do corante.

A influência do pH sobre a banda de absorção do corante Amarelo Reativo B2R foi realizada em concentração inicial de 75 mg L⁻¹ com pH ajustados de 1 a 12, e então realizadas as leituras em espectrofotômetro UV-Vis. Nesta etapa foi possível verificar o valor de absorvância e o comprimento de onda de máxima absorção do corante para cada faixa de pH. Os valores dos comprimentos de onda específicos encontrados nesse teste foram utilizados nos experimentos posteriores.

Para determinar a eficiência de remoção do corante Amarelo Reativo B2R pelo biossorvente torta de chia, foram inseridos em erlenmeyers de 250 mL 0,3 g de torta de chia e 50 mL de solução de corante em concentração de 75 mg L⁻¹ e pH ajustado. Em seguida, as amostras foram inseridas em incubadora shaker no tempo de contato de 22 horas. Os demais parâmetros selecionados estão indicados na Tabela 1. Finalizado o tempo de contato, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos e em seguida realizadas as leituras das absorvâncias iniciais (solução-estoque acondicionada em cada experimento) e finais (sobrenadante) no espectrofotômetro UV-Vis em comprimentos de onda adequado, empregando a equação abaixo para obter a porcentagem de remoção, onde a indica a leitura da Abs_i absorvância inicial – solução-estoque, e Abs_f a absorvância final – sobrenadante.

$$\% \text{ Remoção} = 100 \frac{\text{Abs}_i - \text{Abs}_f}{\text{Abs}_i}$$

Tabela 1 – Parâmetros utilizados em cada influência estudada.

| Influência estudada | Parâmetros | | |
|---|------------|------------------------------|---|
| | pH | Velocidade de agitação (rpm) | Diâmetro da partícula de torta de chia |
| pH | 1 a 12 | 100 | Resíduo original sem peneiramento |
| Velocidade de agitação | pH ótimo | 0, 75 e 150 | Resíduo original sem peneiramento |
| Diâmetro da partícula de torta de chia | pH ótimo | Velocidade ótima | 0,065, 0,275, 0,725, 0,925 mm e resíduo original sem peneiramento |

3.5 Teste cinético

Inicialmente foram inseridos em erlenmeyers 0,3 g de torta de chia e 50 mL de solução sintética de corante Amarelo Reativo B2R com concentração de 75 mg L^{-1} em pH ótimo ajustado, sendo as condições de operação as determinadas nos testes preliminares, em triplicata, tempo de contato de 0 a 5760 minutos (96 horas) e temperaturas de 30, 40 e 50°C . Finalizado o tempo de contato, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos e em seguida foram realizadas as leituras das absorvâncias iniciais e finais em espectrofotômetro UV-Vis. Os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem, Elovich e difusão intrapartícula foram ajustados aos dados experimentais para verificar qual modelo descreve melhor o processo e determinar os parâmetros cinéticos da bioissorção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Testes Preliminares

Influência do pH sobre a banda de absorção do corante

Os resultados da varredura em espectrofotômetro UV-Vis das soluções de mesma concentração em diferentes pH indicaram que o pH é responsável por deslocar a banda de absorção, com pico máximo de 439 nm para pH entre 1 e 2, 428 nm para pH 3, 418 nm para pH 4 e 411 nm para pH acima de 5, como apresentados nas Figuras 1, 2, 3 e 4.

Figura 1 – Espectro de absorção da solução de Corante Amarelo Reativo B2R em concentração de 75 mg L^{-1} e pH 1-2 com pico em 439 nm.

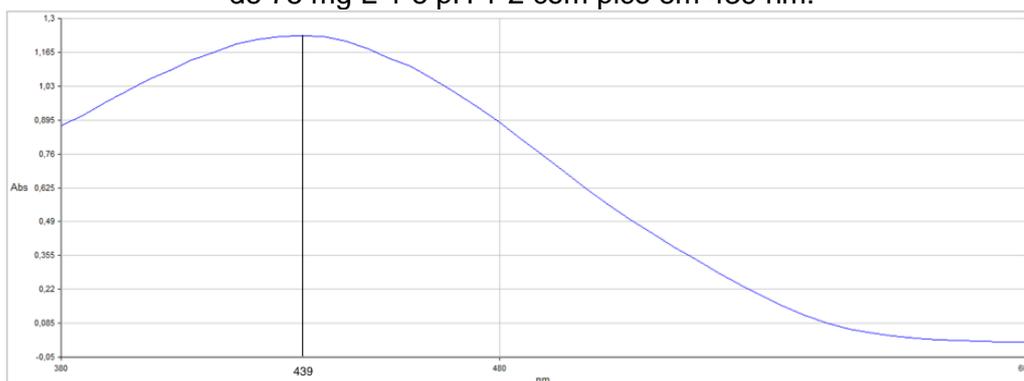


Figura 2 – Espectro de absorção da solução de Corante Amarelo Reativo B2R em concentração de 75 mg L^{-1} e pH 3 com pico em 428 nm.

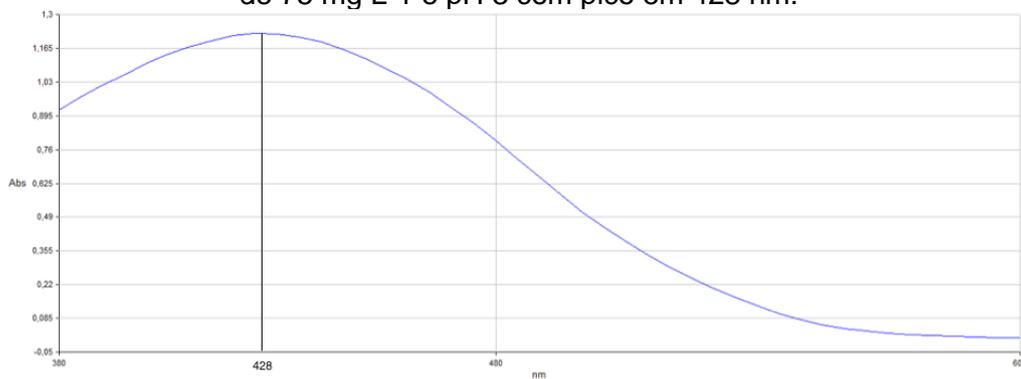


Figura 3 – Espectro de absorção da solução de Corante Amarelo Reativo B2R em concentração de 75 mg L⁻¹ e pH 4 com pico em 418 nm.

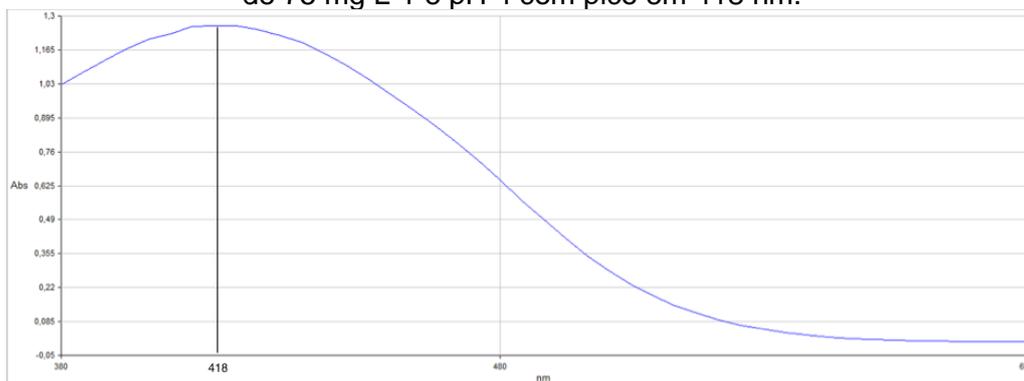
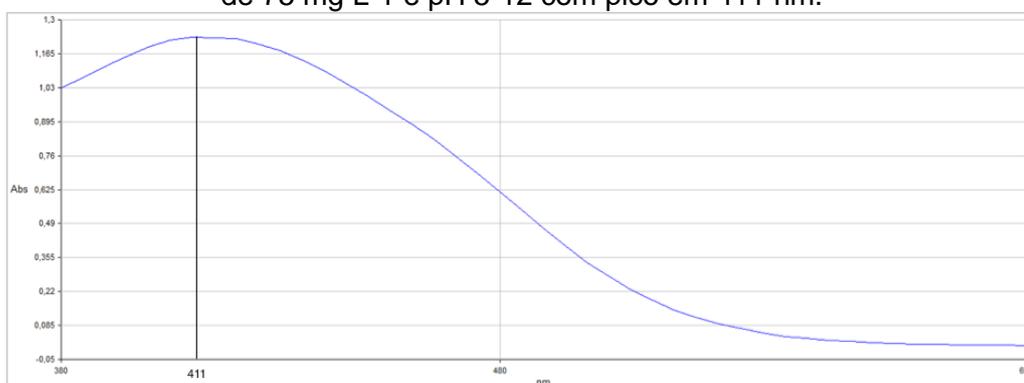


Figura 4 – Espectro de absorção da solução de Corante Amarelo Reativo B2R em concentração de 75 mg L⁻¹ e pH 5-12 com pico em 411 nm.



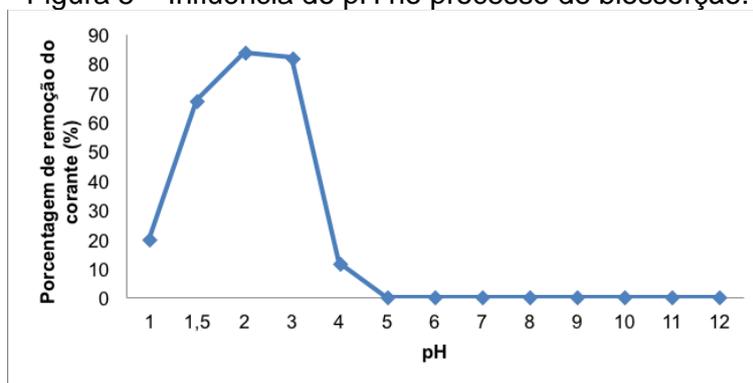
Dessa forma, para os testes seguintes foram feitas as leituras das amostras no comprimento de onda adequado para cada faixa de pH.

Influência do pH na biossorção

O pH é um dos mais importantes parâmetros a se controlar no processo de biossorção de corantes, visto que o pH da solução de poluente influencia na carga superficial do adsorvente, no grau de ionização do material em solução e na dissociação dos grupos funcionais dos sítios ativos do biossorvente (CRINI et al., 2007).

Os resultados da influência do pH na biossorção são apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Influência do pH no processo de biossorção.



Em análise à Figura 5, percebe-se que a partir do pH 4 o percentagem de remoção foi decaindo até ficar nula. Enquanto isso, a faixa de pH entre 2 e 3 se mostrou muito favorável ao processo de bioissorção, apresentando uma porcentagem aproximada de 82% de remoção do corante Amarelo Reativo B2R pelo bioissorvente torta de chia.

De acordo com a análise dos dados de influência do pH no processo de bioissorção, quanto maior o aumento do pH da solução mais baixa a eficiência de remoção, tendo como justificativa a interação eletrostática entre o corante e o bioissorvente. Segundo os autores Fiorentin et al. (2010), o decréscimo do pH ocasiona em aumento de prótons disponíveis na solução de corante e consequente diminuição do número de sítios ativos carregados negativamente na superfície do corante, e portanto a superfície do bioissorvente fica mais carregada positivamente em virtude da condução dos prótons da solução para o bioissorvente. Sendo assim, a repulsão eletrostática entre o corante reativo azo e o bioissorvente diminui devido à característica aniônica do corante, resultando em favorecimento da adsorção.

Tendo determinado pH ótimo de processo como 2, foi possível a execução dos experimentos de influência de outras variáveis como temperatura, velocidade de agitação e diâmetro da partícula no processo de bioissorção.

Influência da velocidade de agitação na bioissorção

A velocidade de agitação é um parâmetro que tem se mostrado atuante no processo de bioissorção, visto que pode influenciar na dispersão do soluto por entre a solução e na redução da camada limite formada por um filme de soluto nos arredores do bioissorvente, diminuindo a resistência à transferência de massa (GEETHAKARTHI, 2011).

Para as velocidades de agitação de 0, 75 e 150 rpm foi obtido de 69, 82 e 89% respectivamente, possibilitando certificar que a velocidade de agitação selecionada para o processo, em incubadora shaker, influencia na remoção final do corante. Dessa forma, a aplicação de uma velocidade ótima de agitação em 150 rpm é justificada.

Influência do diâmetro da partícula do bioissorvente na bioissorção

Segundo os autores Klimaviciute et al. (2010), “o diâmetro da partícula do bioissorvente pode ter grande influência sobre as propriedades de sorção”, visto que “o aumento da área superficial pode estar associada ao menor tamanho da partícula” (JAIN; SHRIVASTAVA, 2008).

No entanto, para este estudo a análise dos dados indicou que o diâmetro da partícula do bioissorvente tem pouca influência na porcentagem final de remoção do corante Amarelo Reativo B2R, visto que o resíduo original de torta de chia sem peneiramento apresentou 87% de remoção e o menor diâmetro 90%. Sendo assim, para esse trabalho a utilização de recursos de peneiramento para obtenção do diâmetro específico e descarte do restante em razão da maior eficiência não foi justificado, aproveitando-se todo o resíduo de torta de chia disponibilizado para o estudo.

4.2. Estudo cinético

O estudo cinético tem por objetivo determinar o tempo de contato ótimo entre a solução e o bioissorvente (DANESHVAR et al., 2012), ou seja, o tempo de contato necessário para que o sistema torta de chia e solução de corante Amarelo Reativo B2R entre em equilíbrio.

Os resultados principais do estudo cinético são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados principais do estudo cinético em diferentes temperaturas.

| | Tempo de contato (horas) | | | | | | | | R _{ce} (%) |
|-------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | 0 | 0,08 | 0,17 | 0,25 | 1 | 10 | 24 | 60 | |
| 30°C | 0 | 40,21 | 49,52 | 60,40 | 74,52 | 82,26 | 87,89 | 92,42 | |

| | | | | | | | | |
|-------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 40°C | 0 | 46,27 | 59,01 | 65,74 | 83,37 | 83,52 | 88,17 | 92,55 |
| 50°C | 0 | 55,45 | 70,11 | 75,93 | 84,08 | 88,33 | 90,30 | 92,65 |

Em análise à Tabela 2, observa-se que a taxa de sorção inicial é muito rápida nos primeiros instantes, sendo de aproximadamente 40, 46 e 55% nas primeiras 0,08 horas – 5 minutos para 30, 40 e 50°C respectivamente, progredindo lentamente até o tempo de equilíbrio de 60 horas, com aproximadamente 92% de remoção do corante para as três temperaturas e concentração de 6,05, 6,24 e 6,23 mg L⁻¹ respectivamente. Além disso, o perfil cinético caracteriza uma possível aplicação industrial no tratamento de efluentes têxteis, visto que no tempo de 0,25 horas – 15 minutos a remoção atingiu 60, 66 e 76%, e no tempo de 1 hora a remoção atingiu 74, 83, 84% nas temperaturas de 30, 40 e 50°C respectivamente, sendo viável aplicação real se estas forem percentagens pretendidas para o efluente final.

De acordo com os autores Ahmad et al. (2009) em seu estudo da remoção do corante azul de metileno, o comportamento apresentado possui três fases distintas: a primeira fase, na qual a rapidez da taxa inicial de sorção é devido às fortes atrações eletrostáticas entre o corante e a superfície externa do sorvente a segunda fase, representada pela progressão lenta do processo de sorção, devido à ocupação dos sítios ativos do sorvente pelas moléculas de corante, criando forças de repulsão, e a terceira e última fase, com o alcance do equilíbrio de adsorção, ou seja, quando todos os sítios ativos do sorvente já foram ocupados.

Alguns estudos de aplicações de resíduos orgânicos industriais como biossorbentes na remoção de corante apresentaram comportamento semelhante no que se diz respeito à velocidade de sorção ser muito rápida nos primeiros instantes, como no estudo da remoção de corante Azul Reativo 5G utilizando bagaço de laranja dos autores Fiorentin et al. (2010).

Cinética de adsorção

Os modelos cinéticos são muito úteis na determinação dos mecanismos de adsorção e na avaliação da eficiência de remoção do sorvato pelo biossorbente empregado no processo (MICHALAK et al., 2013). Para este estudo, os modelos cinéticos de Lagergren (pseudo-primeira ordem), Ho e McKay (pseudo-segunda ordem), Elovich e difusão intrapartícula foram aplicados aos dados obtidos, apresentados na Tabela 3 suas respectivas equações lineares.

Tabela 3 – Modelos cinéticos aplicados no estudo e suas respectivas equações lineares.

| Modelo cinético | Equação linear |
|-------------------------------|---|
| Pseudo-primeira ordem | $\log(q_{eq} - q_t) = \log(q_{eq}) - \left(\frac{K_1}{2,303}\right)t$ |
| Pseudo-segunda ordem | $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t$ |
| Elovich | $q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t)$ |
| Difusão intrapartícula | $q_t = k_i t^{0,5} + x$ |

Os modelos foram ajustados aos dados experimentais e a Tabela 4 apresenta os parâmetros de ajuste para cada modelo.



Tabela 4 – Parâmetros de adsorção e coeficientes de correlação R^2 para os modelos cinéticos aplicados.

| Modelo cinético | Parâmetros | Temperatura | | |
|------------------------|--|-------------|----------|-----------|
| | | 30°C | 40°C | 50°C |
| Pseudo-primeira ordem | q_{eq} (mg g ⁻¹) | 1,4709 | 2,4575 | 1,2853 |
| | K_1 (min) | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 |
| | R^2 | 0,2498 | 0,5434 | 0,5627 |
| Pseudo-segunda ordem | q_{eq} (mg g ⁻¹) | 10,9649 | 10,9770 | 11,1358 |
| | K_2 (g mg ⁻¹ min ⁻¹) | 0,0032 | 0,0043 | 0,0075 |
| | R^2 | 0,9991 | 0,9994 | 0,9998 |
| Elovich | α (g mg ⁻¹ min ⁻¹) | 131,8518 | 123,1448 | 6079,1840 |
| | β (g mg ⁻¹) | 1,1896 | 1,1397 | 1,4601 |
| | R^2 | 0,7449 | 0,7811 | 0,5332 |
| Difusão intrapartícula | k_i (mg g ⁻¹ min ^{0,5}) | 0,0502 | 0,0596 | 0,0307 |
| | x | 7,9772 | 8,0470 | 9,6293 |
| | R^2 | 0,4904 | 0,6933 | 0,4385 |
| Experimental (60h) | q_{eq} (mg g ⁻¹) | 11,1107 | 11,1619 | 11,1408 |

O modelo cinético é tido como eficaz se o coeficiente de correlação da reta – R^2 possuir o valor mais próximo de 1, representando então que o ajuste dos dados foi válido (PIETROBELLI, 2007). Dessa forma, ao analisar a Tabela 3, observa-se que o modelo que melhor ajustou-se aos dados experimentais foi o modelo de Ho e McKay – pseudo-segunda ordem, sendo a quantidade de corante adsorvido no tempo de equilíbrio (q_{eq}) para o modelo foi próximo ao obtido experimentalmente. Segundo Ho e McKay (1998), o modelo pseudo-segunda ordem sugere que provavelmente a etapa limitante do processo de bioadsorção está na quimiossorção, que envolve forças de compartilhamento ou troca de elétrons entre o sorvato e o sorvente.

Oguntimein (2015), em seu estudo da remoção de corantes reativos e diretos de efluente industrial utilizando cascas de semente de girassol e Honorato et al. (2015) em seu estudo do processo de bioadsorção do corante azul de metileno em resíduos palha de milho e bainha do palmito pupunha constataram que o modelo pseudo-segunda ordem foi o qual melhor ajustou-se aos dados experimentais.

5. CONCLUSÃO

O resíduo orgânico da extração do óleo de semente de chia, a torta de chia, se mostrou um bioadsorvente promissor na remoção do corante Amarelo Reativo B2R de solução aquosa, visto que não necessita de tratamento prévio e apresentou ótima eficácia. Além disso, por se tratar de um resíduo industrial, a torta de chia pode ser considerada um bioadsorvente de baixo custo. Os testes preliminares indicaram que os parâmetros de pH, velocidade de agitação e diâmetro da partícula do bioadsorvente influenciam na porcentagem final de remoção, no entanto, apenas duas destas foram significativas e determinadas como condições ótimas para o estudo: o pH da solução – pH 2, e a velocidade de agitação – 150 rpm. A cinética de adsorção indicou que a temperatura é influente na porcentagem de remoção apenas para o início do processo de bioadsorção. O modelo cinético de pseudo-segunda ordem foi o que melhor ajustou-se aos dados experimentais. Dessa forma, conclui-se que a torta de chia é um potencial bioadsorvente na remoção do corante em estudo.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, A.; RAFATULLAH, M.; SULAIMAN, O.; IBRAHIM, M. H.; HASHIM, R. Scavenging behaviour of meranti sawdust in the removal of methylene blue from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, V. 170, n. 1, p. 357-365, 15 out. 2009.
- AYDIN, A. H.; BULUT, Y.; YAVUZ, O. Acid dyes removal using low cost adsorbents. *International Journal of Environmental Pollution*, V.21, p.97-104, 2004.
- BAILEY, S. E.; OLIN, T. J.; BRICKA, M.; ADRIAN, D. D. A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Research*, V.33, n.11 p.2469-2479, 1999.
- CAPITANI, M. I.; SPOTORNO, V.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LWT - Food Science and Technology*, V.45, n.1, p.94-102, jan. 2012.
- CASTRO, B., CONTI, S. M., OSHIRO, M. T., SAKATA, S. K. Remoção do corante têxtil Violeta Reativo 5 utilizando bagaço de cana-de-açúcar nas formas bruta e ativada. *X Encontro Brasileiro sobre Adsorção*. Guarujá-SP, abr. 2014.
- CRINI, G.; PEINDY, H. N.; GIMBERT, F.; ROBERT, C. Removal of C.I. Basic Green 4 (Malachite Green) from aqueous solutions by adsorption using cyclodextrin-based adsorbent: Kinetic and equilibrium studies. *Separation and Purification Technology*, V. 53, n. 1, p. 97-110, 15 fev. 2007.
- DANESHVAR, E.; KOUSHA, M.; SOHRABI, M. S.; KHATAEE, A.; CONVERTI, A. Biosorption of three acid dyes by the brown macroalga *Stoechospermum marginatum*: isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, V.195, p.297-306, 2012.
- FIORENTIN, L. D.; TRIGUEROS, D. E. G.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D.; SANTOS, O. A. A. Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling. *Chemical Engineering Journal*, V. 163, n. 1-2, p. 68-77, 15 set. 2010.
- FONTANA, K. B.; CHAVES, E. S.; SANCHEZ, J. D. S.; WATANABE, E. L. R. L.; PIETROBELLI, J. M. T. A.; LENZI, G. G. Textile dye removal from aqueous solutions by malt bagasse: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, V.124, p.329-336, fev. 2016.
- FORGACS, E.; CSERHÁTI, T.; OROS, G. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environment International*, V.30, n.7, p. 953-971, set. 2004.
- GEETHAKARTHI, A.; PHANIKUMAR, B. R. Adsorption of reactive dyes from aqueous solutions by tannery sludge developed activated carbon: kinetic and equilibrium studies. *International Journal of Environmental Science Technology*, V. 8, p.561-570, 2011.
- HO, Y. S., MCKAY, G. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*. V.34, p.451-465, 1998.
- HONORATO, A. C.; MACHADO, J. M.; CELANTE, G.; BORGES, W. G. P.; DRAGUNSKI, D. C.; CAETANO, J. Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, V.19, n.7, p.705-710, 2015.
- HONORIO, J. F.; GONÇALVES, G. C.; VEIT, M. T.; FAGUNDES-KLEN, M. R. Adsorção do corante Reativo Azul BF-5G em casca de soja: parâmetros de processo e isoterms. *X Encontro Brasileiro sobre Adsorção*. Guarujá-SP, abr. 2014.

JAIN, R.; SHRIVASTAVA, M. Adsorptive studies of hazardous dye Tropaeoline 000 from an aqueous phase on to coconut-husk. **Journal of Hazardous Materials**, V.158, n.2-3, p.549-556, out. 2008.

KLIMAVICIUTE, R.; BENDORAITIENE, J.; RUTKAITE, R.; ZEMAITAITIS, A. Adsorption of hexavalent chromium on cationic cross-linked starches of different botanic origins. *Journal of Hazardous Materials*, V. 181, p. 624–632, 2010.

MICHALAK, I.; CHOJNACKA, K.; WITEK-KROWIAK, A. State of the Art for the Biosorption Process—a Review. *Applied Biochemistry & Biotechnology*, V.170, p.1389-1416, mai. 2013.

NAMASIVAYAM, C.; MUNIASAMY, N.; GAYATRI, K.; RANI, M.; ATHAN, K.. Removal of dyes from aqueous solutions by cellulosic waste orange peel. *Bioresource Technology*, V.57, p.37–43, 1996.

OGUNTMEIN, G. B. Biosorption of dye from textile wastewater effluent onto alkali treated dried sunflower seed hull and design of a batch adsorber. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, V. 3, n. 4, p. 2647-2661, dez. 2015.

PIETROBELLI, J. M. T. A. Avaliação do potencial de biossorção dos íons Cd (II), Cu (II) e Zn (II) pela macrófita *Egeria densa*. Toledo: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2007. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química).

TABARAKI, R.; NATEGHI, Ashraf; AHMADY-ASBCHIN, Salman. Biosorption of lead (II) ions on *Sargassum ilicifolium*: Application of response surface methodology. *International Biodeterioration & Biodegradation*, V.93, p.145-152, 2014.

VOLESKY, B.; HOLAN, Z. R. Biosorption of heavy metals. *Biotechnology*, V.11, p.235-250, 1995.

VIJAYARAGHAVAN, K.; YUN, Y. Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advances*, V. 26, n. 3, p. 266-291, 2008.