

II-329 – BIOSSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL REACTIVE RED 239 UTILIZANDO O BAGAÇO DA ESPIGA DE MILHO COMO BIOSSORVENTE

Hélen Cristina Oliveira dos Reis⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Monitora acadêmica da disciplina de Microbiologia Aplicada do curso de Engenharia Sanitária Ambiental.

Aline Silva Cossolin⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bolsista de Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT.

Bruna Assis Paim dos Santos⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bolsista de Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT.

Ketiny Camargo de Castro⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bolsista de Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT.

Eduardo Beraldo de Moraes⁽¹⁾

Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Professor Adjunto IV na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) ministrando disciplinas no curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Docente do Programa de Mestrado em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Mato Grosso, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367– Boa Esperança – Cuiabá – MT – CEP:78060-900 – Brasil – Tel: (65) 3628-1219 – e-mail: helenreis08@gmail.com.br

RESUMO

Dentre os efluentes industriais, um de relevante impacto é o efluente de origem têxtil, pois o mesmo contém corantes que podem ser tóxicos e grande quantidade de matéria orgânica, sais, sólidos e pH variável. Considerando as atuais tecnologias para tratamento de remoção de corantes de águas residuárias têm-se tratamentos químicos e físicos como coagulação/floculação, ozonização, fotólise, fotocatalise e fotoeletrocatalise. Entretanto, o alto custo, a alta demanda energética e a possibilidade de formação de subprodutos de alta toxicidade tornam esses processos não viáveis mesmo que sejam eficientes. Assim, a adsorção é um processo que vem destacando-se como um tipo alternativo de tratamento de efluentes têxteis. Este é um processo no qual o poluente fica aderido à superfície de algum substrato adsorvente. O presente trabalho teve como objetivo determinar o potencial do bagaço da espiga de milho em biossorver o corante têxtil Reactive Red 239 de solução aquosa. Considerando que esse processo sofre influência de diversos parâmetros, o efeito de diferentes pH, temperatura, tempo de contato, concentração do corante e concentração da biomassa da espiga de milho foram avaliados. Os resultados mostraram que as condições ideais para a descoloração são em solução com pH 2 e 2 g/L de biomassa. O estudo cinético da biossorção apontou o modelo de pseudo-segunda ordem como o mais adequado para descrever os dados. Ambos os modelos de isotermas aplicados, Langmuir e Freundlich, descreveram os dados adequadamente, não sendo possível, portanto, apontar se o processo de adsorção ocorre em camada homogênea ou heterogênea. Considerando o potencial da biomassa da espiga de milho em adsorver corantes, sugere-se o estudo de sua capacidade biossorbitiva em efluentes têxteis reais.

PALAVRAS-CHAVE: Biorremediação, efluentes têxteis, estudo cinético, isotermas.

INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos grandes riscos aos recursos hídricos são os descartes de forma irregular de certos efluentes, como efluentes domésticos e industriais. Dentre os efluentes industriais, aqueles originados da indústria têxtil são de difícil tratamento devido a alta concentração de DBO, DQO, sais, sólidos e pH variável. Além disso, esses efluentes possuem corantes que são resistentes à degradação devido à estrutura química

complexa e precisam ser removidos antes de seu descarte no ambiente, pois muitos apresentam efeitos tóxicos, mutagênicos e carcinogênicos (Dellamatrice, 2005).

Considerando as atuais tecnologias para a remoção de corantes de águas residuárias, têm-se tratamentos químicos e físicos como coagulação/floculação (Liang et al., 2014), ozonização (Padzior et al., 2016), fotólise, fotocatalise e fotoeletrocatalise (Cardoso et al., 2016). Entretanto, o alto custo, a alta demanda energética e a possibilidade de formação de subprodutos de alta toxicidade tornam estes processos não viáveis mesmo que sejam eficientes.

Assim, a adsorção é um processo que vem se destacando como um tipo alternativo de tratamento de efluentes têxteis. Este é um processo no qual o poluente fica aderido a algum substrato adsorvente. O processo de adsorção mais utilizado para o tratamento de efluentes têxteis é com o carvão ativado que é um material que eficientemente remove a cor dos efluentes, entretanto, seu uso vem diminuindo devido o alto custo quando se considera produções em larga escala.

Outra fonte alternativa para adsorventes são os materiais de origem biológica provenientes de processos industriais e agrícolas, que geralmente são resíduos de baixo custo encontrados em grandes quantidades e que possuem potencial para remoção de corantes (Chuah et al., 2005). Materiais como palha de milho (Fathi et al., 2015), mesocarpo de coco verde (Rocha et al., 2012), pistache (Deniz et al., 2016), folhas de pinheiro (Deniz et al., 2011) e até mesmo algas (Nautiyal et al., 2016) e consórcio de bactérias (Das et al., 2017) são exemplos de bioadsorventes que vem sendo utilizado e que são uma alternativa para o tratamento de efluentes têxteis com baixo custo e eficiência.

Considerando os resíduos agrícolas, o milho é um material de interesse para estudo, pois o Brasil é um grande produtor, gerando significativa quantidade de resíduos e, portanto, tornando-se um material viável para o processo de bioadsorção. De acordo com Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2017), a safra 2016/2017 do milho deverá ser 91,5 milhões de toneladas sendo um crescimento de 37,5 % ao período anterior.

Dessa forma, o presente trabalho teve como finalidade determinar o potencial do bagaço da espiga de milho como material bioadsorvente considerando o processo de bioadsorção de uma solução aquosa contendo o corante Reactive Red 239 (RR239). Foram avaliados os parâmetros que possam influenciar no processo de bioadsorção como: pH, temperatura, tempo de contato, concentração do corante e concentração da biomassa da espiga de milho. Além disso, os resultados foram submetidos à análise cinética e de isotermas para obter melhor entendimento do processo de adsorção.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliação da remoção do corante Reactive Red 239 por meio do bagaço da espiga de milho, testes foram efetuados no Laboratório de Microbiologia Sanitária e Ambiental (LAMSA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.

CORANTE

O corante Reactive Red 239 foi obtido na Indústria Têxtil São João (São João da Boa Vista, SP). A estrutura química do corante é apresentada na Figura 1. Trata-se de um corante reativo monoazo (apenas um grupo -N=N-). Para realização dos testes de bioadsorção, preparou-se uma solução estoque no qual o corante em pó foi dissolvido em água destilada (1,0 g/L) e a partir da diluição dessa solução as concentrações desejadas foram alcançadas.

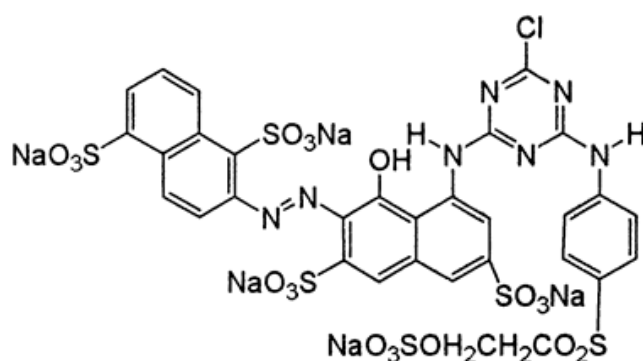


Figura 1: Estrutura química do corante Reactive Red 239.

BIOSSORVENTE – BAGAÇO DA ESPIGA DE MILHO

Para o preparo do bioissorvente, as espigas de milho foram lavadas com água destilada, secas em estufa a 80 °C e trituradas. Após, esse material foi peneirado para obtenção de partículas menores que 250 µm usando peneira ASTM e estocado em dessecador até o momento de uso.

TESTES DE BIOSORÇÃO

Os testes de biossorção foram conduzidos em triplicata, utilizando Erlenmeyers de 250 mL, nos quais continham 100 mL da solução aquosa do corante. A determinação da concentração do corante foi feita por meio de espectrofotometria (espectrofotômetro HACH DR6000) em um comprimento de onda de 542nm.

Os Erlenmeyers foram colocados em agitação constante em 150 rpm a 25°C. Uma vez que o processo de adsorção é influenciado por parâmetros físico-químicos, foram estudados a influência do pH (2, 4, 6, 8 e 10, ajustado pela adição de uma solução de HCl (0,1 M) ou NaOH (0,1 M)), concentração de bioissorvente (2, 3, 4 e 5 g/L), temperatura (25, 35 e 45 °C) e concentração inicial de corante (15, 25, 50, 75 e 100 mg/L).

Após o equilíbrio ser atingido, as amostras foram filtradas em membrana de 0.45 µm para retirada da biomassa residual e em seguida foram realizadas as leituras da concentração do corante. A eficiência de remoção do corante, R (%) e a capacidade de biossorção do corante pela biomassa, q_e (mg/g), foram obtidos a partir das equações (1) e (2) respectivamente.

$$R(\%) = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) \cdot B}{B} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo C_i e C_e as concentrações do corante inicial e de equilíbrio (mg/L), respectivamente, e B a concentração do bioissorvente na solução (g/L).

CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Para o estudo da cinética de adsorção, diversos modelos têm sido aplicados como os modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e o modelo de difusão intrapartícula (Cunha, 2014).

A forma linear do modelo de pseudo-primeira ordem (Lagergren, 1898), é apresentada pela equação (3):

$$\log(q_e - qt) = \log(q_e) - \left(\frac{k_1}{2,303} \right) t \quad \text{equação (3)}$$

Sendo q_e (mg/g) a quantidade do corante adsorvido por biomassa no equilíbrio, q_t (mg/g) a quantidade de corante adsorvido no tempo t e K_1 a constante da taxa de adsorção deste modelo (1/min). Para obtenção dos valores de K_1 e q_e é necessário plotar os valores de $\log(q_e - q_t)$ pelo t .

O modelo de pseudo-segunda ordem (Ho and Mckay, 1998) pode ser representado pela equação 4:

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

Sendo q_e e q_t a quantidade de corante adsorvido pela biomassa (mg/g) no equilíbrio e no tempo t (min), respectivamente, e K_2 a constante da taxa de adsorção deste modelo (g/mg min). A partir da plotagem dos valores de t/q_t versus t , os parâmetros do modelo K_2 e q_e são obtidos.

Quanto ao modelo de difusão intrapartícula, o mesmo permite a identificação dos mecanismos de difusão e a equação 5 representa esse modelo:

$$q_t = K_{id} t^{0.5} + C \quad \text{equação (5)}$$

No qual K_{id} é a constante de difusão de intrapartícula (mg/g min^{0.5}) e C (mg/g) é uma constante relacionada com a resistência à difusão. Por meio da plotagem de q_t por $t^{0.5}$ obtém-se os valores de K_{id} e C .

ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

O estudo de equilíbrio foi realizado visando à determinação da capacidade máxima de sorção do biosorvente utilizado. Para isso os modelos isotérmicos de Langmuir e Freundlich foram aplicados (Langmuir, 1918; Freundlich, 1906).

O modelo da isoterma de Langmuir admite-se que a superfície de adsorção é em monocamada homogênea. A representação matemática linearizada deste modelo é então dada pela equação 6:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad \text{equação (6)}$$

Em que q_e (mg/g) é a quantidade de corante adsorvido por biomassa no equilíbrio, C_e (mg/L) é a concentração de corante na solução no equilíbrio, q_{max} (mg/g) é a capacidade máxima de sorção do corante por unidade de massa de biomassa para formar uma monocamada completa na superfície e K_L (L/mg) é a constante de Langmuir relacionada com a afinidade dos sítios ativos e energia de adsorção. A plotagem de C_e/q_e por C_e gera os valores de q_{max} e K_L .

A isoterma de Freundlich considera a adsorção em multicamadas e geralmente é empregado em sistemas heterogêneos. O modelo matemático da isoterma de Freundlich é descrito pela equação 7:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{equação (7)}$$

Sendo que K_f ((mg/g)(mg/L)^{-1/n}) e n (adimensional) são constantes de Freundlich que está relacionada com a capacidade de adsorção e a intensidade de adsorção, respectivamente. Por meio da plotagem entre $\ln q_e$ e $\ln C_e$, tem-se os valores destes parâmetros.

RESULTADOS

pH

A Figura 2 apresenta a influência do pH na remoção do corante Reactive Red 239 pela biomassa da espiga de milho. As condições do experimento foram 25 mg/L de corante, 2 g/L de biomassa, e 25 °C. Verifica-se que as melhores taxas de remoção ocorreram nos pH 2 e 4 (68,6 e 49,2%, respectivamente). Este comportamento era

esperado já que o corante é aniônico e em pHs ácidos há a protonação dos grupos funcionais da parede celular da biomassa o que leva a uma interação eletrostática entre esses grupos carregados positivamente e o corante carregado negativamente. Este comportamento também foi observado no trabalho de Kimura et al. (1999), em que os corantes aniônicos reativos Azul 2, Preto 5 e Laranja 16 foram melhores adsorvidos em soluções ácidas. O mesmo foi notado por Safa e Bhatti (2011), que obteve maior eficiência na remoção de dois corantes em soluções de pH 2 e 3 utilizando casca de arroz. Uma vez constatado a melhor eficiência de remoção do corante no pH 2, este foi utilizado nos experimentos seguintes.

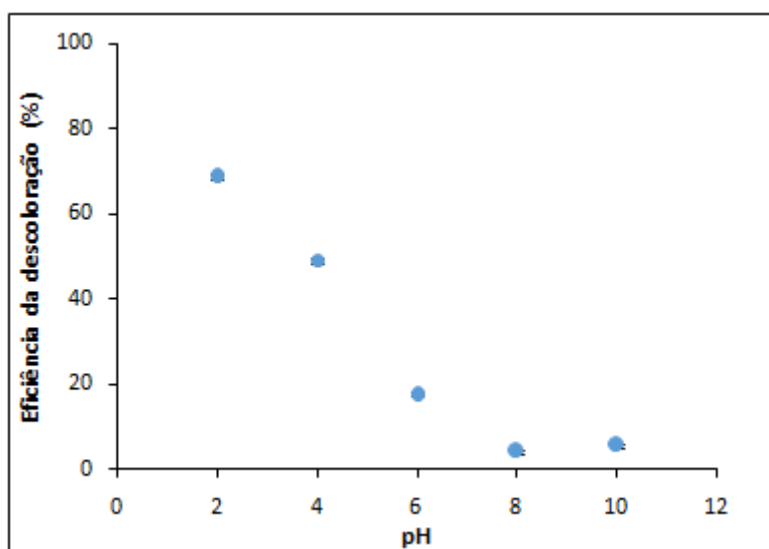


Figura 2: Influência do pH na remoção do corante Reactive Red 239 de solução aquosa usando bagaço da espiga do milho (concentração de biomassa = 2 g/L; concentração do corante = 25 mg/L, 25 °C).

TEMPERATURA

Os resultados da remoção do corante Reactive Red 239 pela biomassa da espiga de milho em diferentes temperaturas são apresentados na Fig. 3. Após o equilíbrio ser atingido, as remoções do corante foram de 76,39, 68,24 e 74,72% nas temperaturas 25, 35 e 45 °C, respectivamente. Esses resultados podem ser considerados conflitantes uma vez que as maiores taxas de remoção ocorreram nas temperaturas 25 e 45 °C, enquanto a menor foi obtida em 35 °C. Dessa forma, não se pode concluir se a adsorção do corante no bagaço da espiga de milho é um processo endotérmico ou exotérmico.

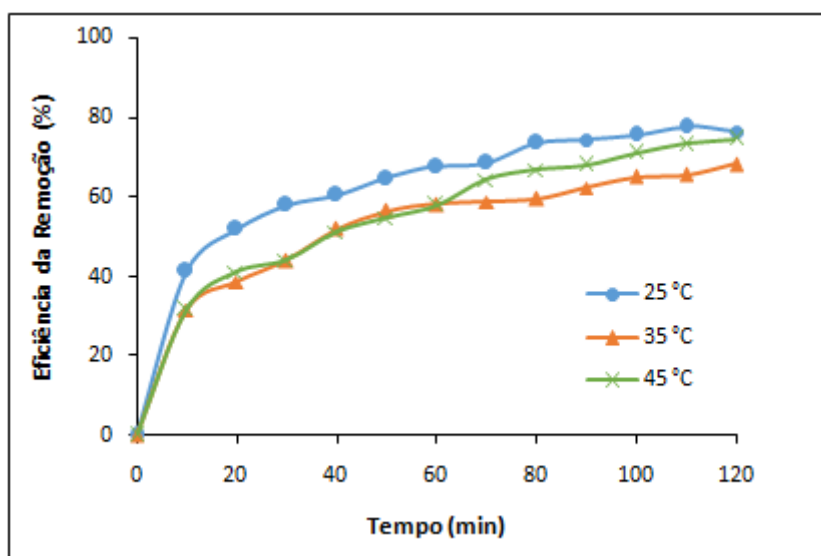


Figura 3: Influência da temperatura na remoção do corante Reactive Red 239 de solução aquosa usando bagaço da espiga do milho (concentração de biomassa = 2 g/L; concentração do corante = 25 mg/L; pH = 2,0).

CONCENTRAÇÃO DE BIOMASSA

A Figura 4 apresenta os resultados da influência da concentração da biomassa no processo de bioadsorção do corante Reactive Red 239. Verificou-se que o aumento da concentração da biomassa, provocou um aumento na remoção do corante, atingindo 97,5% quando foi utilizado 5 g/L de biomassa. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que com aumento da quantidade de biomassa, tem-se um aumento da superfície do bioadsorvente e sítios ativos de adsorção e, portanto, um aumento na adsorção do corante. Resultados similares foram observados por Deniz et al. (2011), o qual o aumento da quantidade de bioadsorvente (folhas de pinho) presente nas amostras testadas levou a um aumento da taxa de descoloração das soluções.

Por outro lado, a capacidade de bioadsorção foi diminuída, passando de 35,1 para 12,2 mg/g quando a concentração de biomassa foi aumentada de 2,0 para 5,0 g/L. A redução na capacidade de bioadsorção em concentrações mais elevadas de biomassa está relacionada ao sítios de adsorção da superfície do bioadsorvente que permanecem livres durante o processo de adsorção, uma vez que com o aumento da quantidade de biomassa também há o aumento desses sítios.

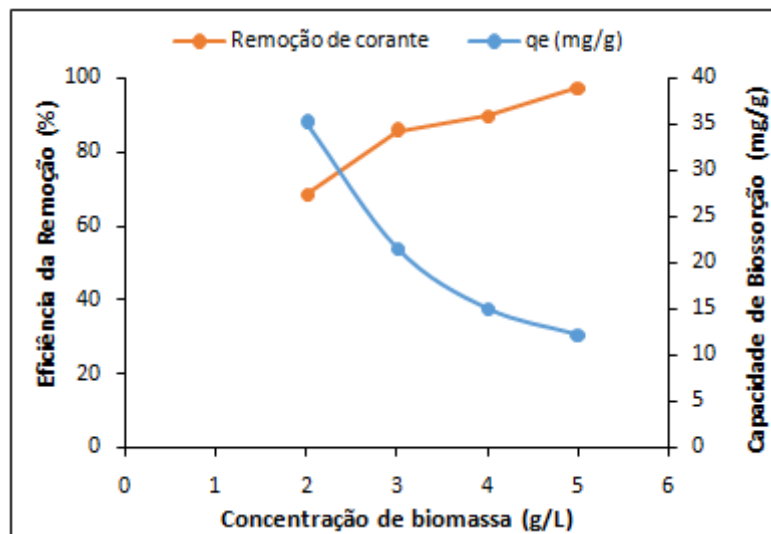


Figura 4: Influência da concentração de biomassa na remoção do corante Reactive Red 239 de solução aquosa usando bagaço da espiga do milho (pH = 2,0; concentração do corante = 25 mg/L, 25 °C).

CONCENTRAÇÃO DE CORANTE

Neste estudo, a remoção do corante Reactive Red 239 pela biomassa da espiga do milho foi investigada usando soluções com concentrações de corante que variaram de 15 a 100 mg/L, 2,0 g/L de biomassa, pH 2 e 25 °C. Notou-se que com o aumento da concentração teve-se uma redução na eficiência da remoção do corante (Figura 5). Já a capacidade de biossorção aumentou, atingido valor máximo de 36,9 mg/g na concentração de 100 mg/L de Reactive Red 239. Descolorações menos eficientes nas concentrações mais elevadas de corante podem ser explicadas pela saturação dos sítios de adsorção do biossorvente. Resultado similar foi apresentado por Deniz et al. (2016) em que realizaram um estudo com a casca do pistache com três concentrações de corante (50, 100 e 200 mg/L) durante 120 minutos e identificou-se que com o aumento da concentração, teve-se uma redução na eficiência da remoção do corante.

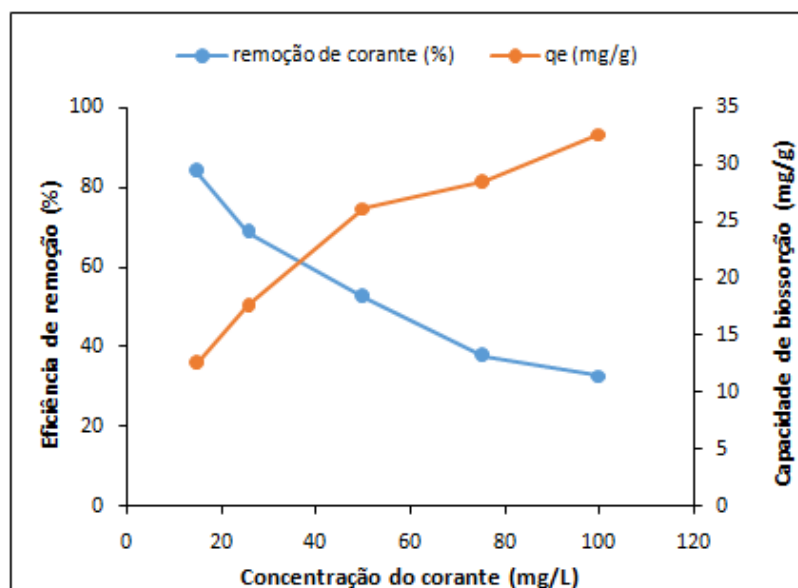


Figura 5: Influência da concentração inicial do corante na remoção do corante Reactive Red 239 de solução aquosa usando bagaço da espiga do milho (pH = 2,0; concentração de biomassa = 2,0 g/L; 25 °C).

CINÉTICA DE ADSORÇÃO

De forma a determinar o comportamento cinético da biossorção, os dados experimentais foram analisados pelos seguintes modelos: pseudo primeira-ordem, pseudo segunda-ordem e difusão intrapartícula (Figura 6, 7 e 8).

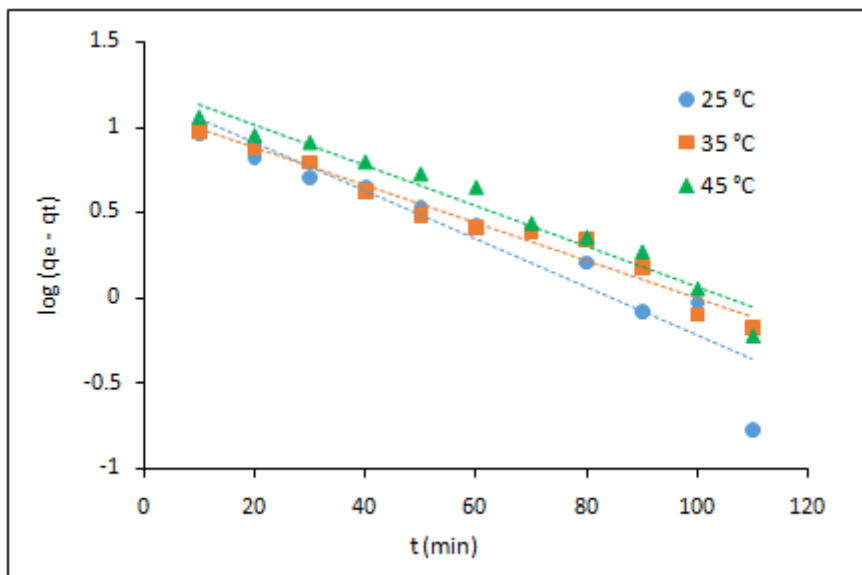


Figura 3: Modelo cinético de pseudo-primeira ordem para a remoção do corante Reactive Red 239 pelo bagaço da espiga de milho considerando três diferentes temperaturas.

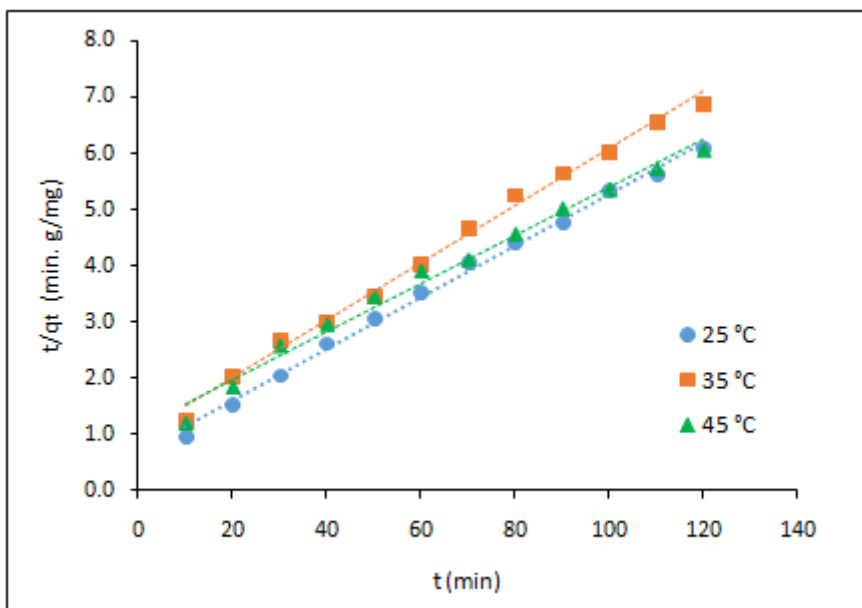


Figura 7: Modelo cinético de pseudo-segunda ordem para a remoção do corante Reactive Red 239 pelo bagaço da espiga de milho considerando três diferentes temperaturas.

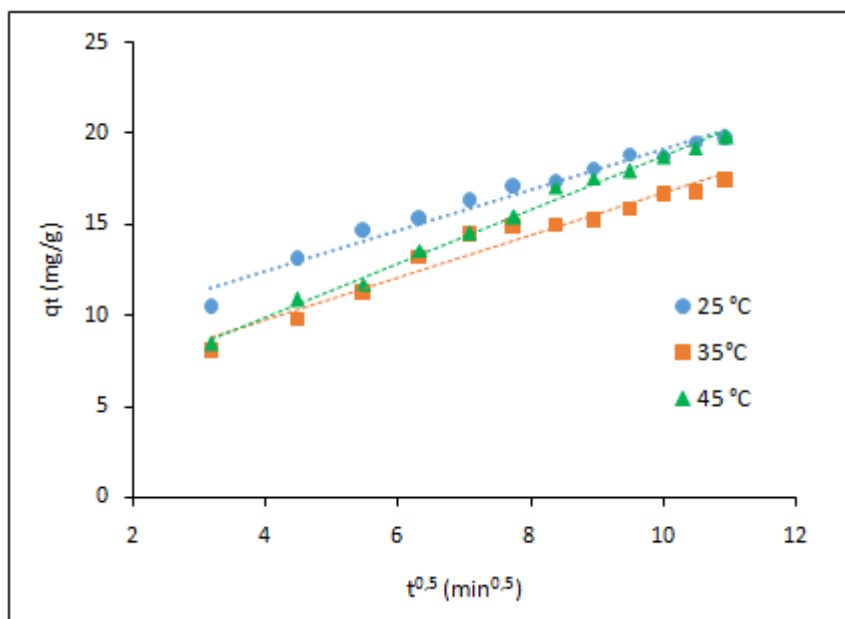


Figura 8: Modelo cinético de difusão intrapartícula para a remoção do corante Reactive Red 239 pelo bagaço da espiga de milho considerando três diferentes temperaturas.

Na Tabela 1 são apresentados os valores das constantes dos três modelos cinéticos utilizados neste estudo além dos valores de R^2 que foram estimados de forma linear para as três temperaturas analisadas. Percebe-se que o modelo de pseudo segunda-ordem (Figura 7) melhor representa o processo de cinética para todas as temperaturas com um $R^2 = 0,996$, k_2 de 0,003 g/mg min e q_e calculado de 21,74 mg/g para 25 °C, $R^2 = 0,972$, k_2 de 0,002 g/mg min e q_e calculado de 20,53 mg/g para 35°C e $R^2 = 0,988$, k_2 de 0,002 g/mg min e q_e calculado de 23,42 mg/g para 45°C. Vale ressaltar que o pseudo primeira-ordem (Figura 6) também apresentou um bom ajuste, entretanto, o valores de q_e calculados de 15,53 mg/g para 25°C, de 12,12 mg/g para 35°C e 17,98 para 45°C não foram condizentes aos valores experimentais de 25,2, 25,5 e 26,5 mg/g para 25, 35 e 45 °C respectivamente. Já os valores de q_e calculados de pseudo-segunda ordem foram próximos aos valores de q_e experimentais.

Quanto ao modelo de difusão de intrapartícula o valor de C foi superior a zero indicando que o mecanismo de difusão intrapartícula não é o único processo determinante para a adsorção (Rocha et al., 2012). Assim, infere-se que o processo de adsorção é controlado pela adsorção superficial e difusão intrapartícula.

Tabela 1 - Parâmetros cinéticos estimados para os modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula para a adsorção do corante Reactive Red 239 em bagaço da espiga de milho.

T (°C)	Pseudo primeira-ordem			Pseudo segunda-ordem			Difusão intrapartícula		
	K_1 (1/min)	q_1 (mg/g)	R^2	K_2 (g/(mg.min))	q_2 (mg/g)	R^2	K_{id} (mg/(g/min ^{0.5}))	C (mg/g)	R^2
25	0,032	15,531	0,883	0,003	21,739	0,996	1,124	7,918	0,972
35	0,025	12,120	0,974	0,002	20,534	0,972	1,159	5,101	0,959
45	0,027	17,980	0,959	0,002	23,419	0,988	1,464	4,109	0,992

ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Para avaliar os dados referentes ao equilíbrio do processo de adsorção, isotermas de adsorção foram utilizadas já que as mesmas representam uma relação de equilíbrio entre a concentração de corante na fase líquida e a quantidade de corante adsorvida considerando uma massa de biossorbente em uma determinada temperatura (Módenes et al., 2011). A Tabela 2 apresenta os valores das constantes para os modelos Langmuir e Freundlich além dos coeficientes lineares de correlação (R^2). O modelo de Langmuir apresentou o valor de $R^2 = 0,991$

(Figura 9). Este modelo assume que o processo de adsorção ocorre apenas em uma camada homogênea sobre o adsorvente. A capacidade máxima de biosorção foi estimada em 34,6 mg/g. Ainda por meio desse modelo foi possível avaliar se o processo de adsorção é favorável ou desfavorável. Para isso considerou-se a constante adimensional R_L , a qual é expressa pela equação (11) (Mckay et al., 1982):

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_i} \quad \text{equação (11)}$$

onde C_i é a concentração inicial mais alta do corante (mg/L). Como interpretação desta constante, tem-se irreversível ($R_L=0$), favorável ($0 < R_L < 1$), linear ($R_L=1$) ou desfavorável ($R_L > 1$). Portanto, para a adsorção do corante Reactive Red 239 em biomassa da espiga de milho obteve-se um valor de 0,147, indicando assim que o processo de adsorção é favorável.

Tabela 2: Parâmetros dos modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich para descrever o processo biosorção entre o corante Reactive Red 239 e o bagaço da espiga de milho.

Modelo	Langmuir				Freundlich		
	q_{\max} (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	R_L	K_f (mg/g)(mg/L) ^{-1/n}	n	R^2
	34,6	0,147	0,991	0,064	9,62	3,36	0,987

O modelo de Freundlich por sua vez apresentou o valor de $R^2 = 0,987$ (Figura 10). Este modelo, ao contrário do de Langmuir, considera que a adsorção ocorre em camadas heterogêneas sobre o adsorvente. Uma vez que os valores de R obtidos para os dois modelos foram próximos (0,991 e 0,987 para os modelos de Langmuir e Freundlich, respectivamente), e os dados foram bem ajustados por ambos, não foi possível concluir se o processo de adsorção ocorre em camada homogênea ou heterogênea.

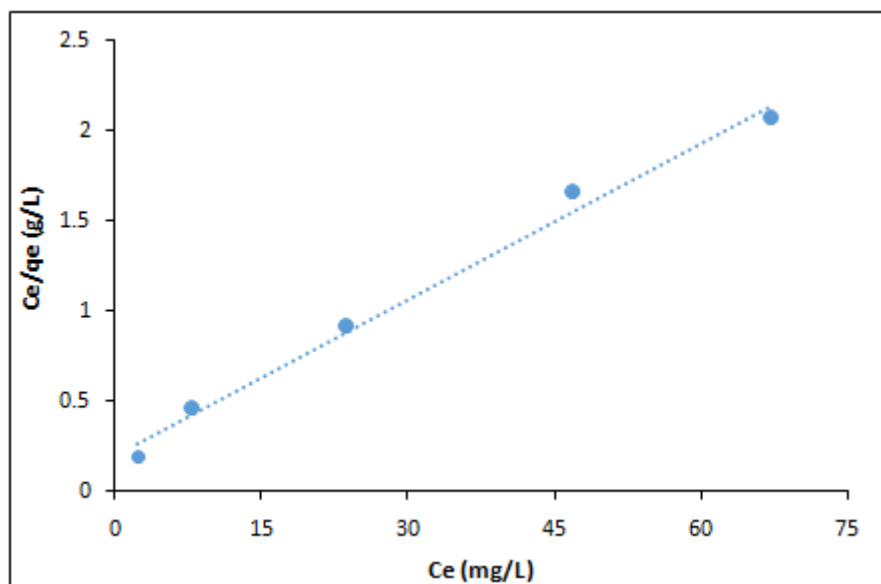


Figura 4: Modelo de Isoterma de Langmuir para o processo de adsorção do corante Reactive Red 239 em o bagaço da espiga de milho.

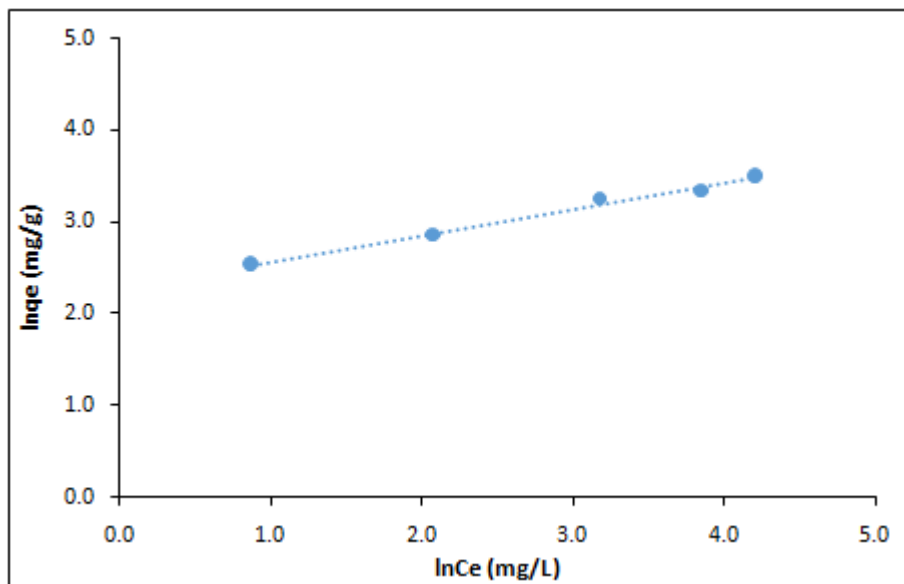


Figura 5: Modelo de Isoterma de Freundlich para o processo de adsorção do corante Reactive Red 239 em bagaço da espiga de milho.

CONCLUSÕES

Este estudo revelou a capacidade da biomassa da espiga de milho em remover o corante Reactive Red 239 de solução aquosa. As condições ótimas de pH e dosagem de biosorvente foram determinadas em 2 e 2 g/L, respectivamente. O estudo cinético constatou que o modelo de pseudo-segunda ordem foi o que melhor representou os dados experimentais. O modelo cinético de difusão intrapartícula indicou que o processo de biossorção é complexo e provavelmente envolve a adsorção superficial e difusão intrapartícula. Os dados foram bem ajustados por ambos os modelos de isotermas, Langmuir e Freundlich, não sendo possível identificar se a adsorção do corante ocorre em uma camada homogênea ou heterogênea. A biomassa da espiga de milho pode ser uma alternativa para a adsorção de corantes e sugere-se que estudos de sua capacidade biossorvente de efluentes têxteis reais sejam efetuados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARDOSO, J. C.; BESSEGATO, G. G.; BOLDRIN ZANONI, M. V. Efficiency comparison of ozonation, photolysis, photocatalysis and photoelectrocatalysis methods in real textile wastewater decolorization. **Water Research**, v.98, p.39–46, 2016.
- CHUAH, T. G., JUMASIAH, A., AZNI, I., KATAYON, S. & THOMAS CHOONG, S. Y. Rice husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: An overview. **Desalination**, v.175, p.305–316, 2005.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.4, n.7 – Safra 2016/2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_boletim_graos_abr_2017.pdf> Acesso em 29 de Mai. 2017.
- CUNHA, B. S. **Utilização de biossorventes alternativos na remoção de corantes têxteis**. 2014. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.
- DAS, A.; MISHRA, S. Removal of textile dye reactive green-19 using bacterial consortium: Process optimization using response surface methodology and kinetics study. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, p.612–627, 2017.
- DELLAMATRICE, P. M. **Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Americana, SP**. 2005. 136 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

7. DENIZ, F.; KARAMAN, S. Removal of an azo-metal complex textile dye from colored aqueous solutions using an agro-residue. **Microchemical Journal**, v.99, p.296-302, 2011.
8. DENIZ, F.; KEPEKCI, R. A. Dye biosorption onto pistachio by-product: A green environmental engineering approach. **Journal of Molecular Liquids**, v.219, p.194-200, 2016.
9. FATHI, M. R.; ASFARAM, A.; FARHANGI, A. Removal of Direct Red 23 from aqueous solution using corn stalks: Isotherms, kinetics and thermodynamic studies. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v.135, p.364-372, 2015.
10. FREUNDLICH, H. Over the adsorption in the solution. **Journal of Physical Chemistry**. v.57, p.385-470, 1906.
11. HO, Y.S.; MCKAY, G. Kinetic models for the sorption of dye from aqueous solution by wood. **Process Safety and Environmental Protection**, v.76, n.2, p.183-191, 1998.
12. KIMURA, I. Y.; GONÇALVES JR, A. C.; STOLBERG, J.; LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T. Efeito de pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 3, p. 51-57, 1999.
13. LAGERGREN, S. Zur theorie der sogenannten adsorption gelster stoffe. **Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar**, v.24, p.1-39, 1898.
14. LANGMUIR I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society**. v.40, n.9, p.1361-1403, 1918.
15. LIANG, C. Z., SUN, S. P., LI, F. Y., ONG, Y. K. & CHUNG, T. S. Treatment of highly concentrated wastewater containing multiple synthetic dyes by a combined process of coagulation/flocculation and nanofiltration. **Journal of Membrane Science**, v.469, p.306-315, 2014.
16. MCKAY, G.; BLAIR, H. S.; GARDNER, J. K. Adsorption of dyes on chitin. 1. Equilibrium studies. **Journal of Applied Polymer Science**, v.27, n.8, p.3043-3057, 1982.
17. MÓDENES, A. N.; ESPINOZA, F. R.; ALFLEN, V. L.; COLOMBO, A.; BORBA, C. E. Utilização da macrófita *Egeria densa* na biossorção do corante reativo 5G. **Engevista**, v. 13, n. 3, p. 160-166, 2011.
18. NAUTIYAL, P., SUBRAMANIAN, K. A. & DASTIDAR, M. G. Adsorptive removal of dye using biochar derived from residual algae after in-situ transesterification: Alternate use of waste of biodiesel industry. **Journal of Environmental Management**, v.182, p.187-197, 2016.
19. PAŹDZIOR, K.; WREBIAK, J.; KLEPACZ-SMÓLKA, A.; GMUREK, M.; BILINSKA, L.; KOS, L. SÓJKA-LEDAKOWICZ, J.; LEDAKOWICZ, S. Influence of ozonation and biodegradation on toxicity of industrial textile wastewater. **Journal of Environmental Management**. v.195, p.166-173, 2016.
20. ROCHA, O. R., DO NASCIMENTO, G. E., CAMPOS, N. F., DA SILVA, V. L. & DUARTE, M. M. M. B. Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. **Química Nova**, v.35, p.1369-1374, 2012.
21. SAFA, Y.; BHATTI, H. N. Biosorption of Direct Red-31 and Direct Orange-26 dyes by rice husk: application of factorial design analysis. **Chemical Engineering Research and Design**, v.89, p.2566-2574, 2011.