

II-197 - ADSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL REATIVO AZUL 5G PELO BIOSSORVENTE MACRÓFITA AQUÁTICA *SALVINIA* SP

Bruna dos Santos Cunha Goedert⁽¹⁾

Tecnóloga em Gestão Ambiental pela UTFPR. Engenheira Ambiental pela UTFPR. Mestre em Tecnologias Ambientais pela UTFPR.

Cleber João Estevão Domingues⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela UNIAMERICA. Engenheiro de Segurança do Trabalho pela UTFPR. Mestrando em Tecnologias Ambientais pela UTFPR.

Cleidimar João Cassol⁽³⁾

Tecnólogo em Gestão Ambiental pela UTFPR. Mestrando em Tecnologias Ambientais pela UTFPR.

Claudia Luiza Manfredi Gasparovic⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental pela UTFPR. Mestre em Tecnologias Ambientais pela UTFPR.

Juliana Bortoli Rodrigues Mees⁽⁵⁾

Tecnóloga Ambiental em Resíduos Industriais pelo CEFET/PR (2002). Mestre em Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela UNIOESTE/PR. Doutora em Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UNIOESTE/PR.

Endereço⁽¹⁾: Rua Sucuri, 476 – Pioneiros Catarinenses - Cascavel – PR - CEP: 85805-437 - Brasil - Tel: (45) 99993-0435 - e-mail: brunacunha_@hotmail.com.

RESUMO

No Brasil existem mais de 6 mil lavanderias de jeans que consomem de 50 mil a 300 mil litros de água por mês cada. Deste volume, apenas 20% é incorporado ao produto e o restante retorna aos corpos hídricos na forma de efluentes, contaminados com diversos tipos de produtos químicos altamente poluentes, como os corantes têxteis. Diversos métodos têm sido propostos para o tratamento de efluentes coloridos, como os precipitação, coagulação/floculação, adsorção, oxidação, tecnologia de membranas, entre outros. Dentre as alternativas existentes destaca-se a adsorção, que vêm sendo amplamente utilizada pelas indústrias na remoção de corantes têxteis. Assim, propõem-se neste trabalho a biossorção do corante têxtil Reativo Azul 5G empregando a biomassa da macrófita aquática *Salvinia* sp., a fim de subsidiar a proposição de alternativas de tratamento com um baixo custo comparado aos sistemas físico-químicos tradicionais. Para isso, avaliou-se o pH do Ponto de Carga Zero (pH_{PCZ}), a cinética e as isotermas de adsorção do processo, utilizando as condições experimentais obtidas neste estudo ou de estudos de biossorção já realizados. Os ensaios preliminares indicaram, por meio dos valores de pH_{PCZ} , que a remoção do corante pela biomassa in natura da *Salvinia* sp é favorecida em pH abaixo de 6,15, mais especificamente em pH 2. O tempo de equilíbrio do processo de biossorção foi de 120 min, com uma eficiência máxima de remoção de 61,89%. Com a aplicação dos modelos cinéticos verificou-se que o processo de biossorção é de natureza química, já que o modelo de pseudo-segunda ordem foi o que apresentou o melhor ajuste. A determinação das isotermas de adsorção indicou que a melhor eficiência de remoção foi obtida à temperatura de 35°C, sendo de 93,24% para concentração inicial de 20 mg L⁻¹ e de 64,97% para concentração inicial de 240 mg L⁻¹. O modelo de Freundlich mostrou-se o mais adequado ($R^2=0,948$) para representar a isoterma de adsorção do processo estudado. Os valores de k e n ajustados corroboram as conclusões obtidas com a análise da eficiência de adsorção, acerca da temperatura mais adequada para o processo, uma vez que os valores mais elevados (1,535 mg g⁻¹ e 1,82) foram observados para a temperatura de 35°C, concluindo que a maior capacidade e intensidade de adsorção ocorrem nessa condição.

PALAVRAS-CHAVE: Biossorção, Adsorvente alternativo, Efluente têxtil.

INTRODUÇÃO

A água é um dos principais insumos do setor têxtil e por isso é utilizada em grandes quantidades. No Brasil existem mais de 6 mil lavanderias de jeans, que consomem de 50 mil a 300 mil litros de água por mês cada. Deste volume, apenas 20% é incorporado ao produto e o restante retorna aos corpos hídricos na forma de efluente (RESENDE, 2012).

Nas lavanderias industriais uma das principais funções da água é servir como veículo para os produtos químicos usados no processo, sendo que este fato contribui diretamente para a contaminação dos recursos hídricos na medida em que são geradas grandes quantidades de efluente contendo corantes altamente poluentes (MEEHAN *et al.*, 2000).

Deste modo, observa-se a importância de buscar soluções que minimizem os impactos negativos oriundos deste segmento industrial, que além do uso de recursos escassos como a água, também gera resíduos químicos que muitas vezes são lançados na natureza sem o devido tratamento (BEZERRA; FREITAS, 2013). Diversos métodos têm sido propostos para o tratamento de efluentes coloridos, como precipitação, coagulação/floculação, adsorção, oxidação (por cloro, com ozônio ou peróxido de hidrogênio), tecnologia de membranas, entre outros. Dentre as alternativas existentes destaca-se a adsorção, que vêm sendo amplamente utilizada pelas indústrias na remoção de corantes têxteis (KUNZ *et al.*, 2002).

Na adsorção convencional o adsorvente mais utilizado é o carvão ativado, uma vez que esse material apresenta bons resultados na remoção de diferentes tipos de materiais coloridos. No entanto, a dificuldade na regeneração e a necessidade de disposição ou incineração acarretam a oneração do processo. Por isso, adsorventes alternativos de baixo custo tem despertado interesse e são avaliados em diversos estudos (CRINI, 2008; HAI *et al.*, 2007).

Assim, propõem-se neste trabalho a bioadsorção do corante têxtil Reativo Azul 5G empregando a biomassa da macrófita aquática *Salvinia* sp., a fim de subsidiar a proposição de alternativas de tratamento com um baixo custo comparado aos sistemas físico-químicos tradicionais.

METODOLOGIA

Foram utilizadas biomassas in natura da macrófita aquática *Salvinia* sp., as quais foram coletadas manualmente em uma lagoa de uma propriedade rural no oeste do Paraná. Para a remoção das impurezas, inicialmente as plantas foram lavadas em água corrente e em seguida ficaram aclimatadas por 20 dias em recipiente com água sem cloro. Após a aclimação, as macrófitas foram lavadas com água destilada e posteriormente foram submetidas a secagem em estufa a 60°C por um período de 24 horas. A biomassa seca foi triturada, peneirada, em malha de 9 à 16 Mesh, a fim de se obter partículas na faixa de 1 a 2 mm, e armazenada para posterior utilização.

O valor de pH utilizado nos ensaios de bioadsorção foi determinado por meio do Ponto de Carga Zero (pH_{PCZ}) dos bioadsorventes. Os demais parâmetros utilizados nos ensaios experimentais, como temperatura, velocidade, tempo de contato, granulometria e a massa de bioadsorvente foram selecionados com base em estudos existentes.

Os ensaios foram realizados com soluções sintéticas reconstituídas a partir de amostras de corantes reativos azul 5G da marca Texpal. O comprimento de onda no qual o corante absorve o máximo de radiação foi obtido mediante uma varredura ao longo da faixa espectral do visível (400 a 700 nm), utilizando o Espectrofotômetro de absorção molecular UV/VIS de varredura com feixe duplo, marca PerkinElmer, modelo Lambda 45. A curva de calibração foi determinada a partir das leituras das absorvâncias de soluções com concentrações conhecidas, utilizando-se espectrofotômetro da marca Hach modelo DR 2800. Com os valores de absorvância obtidos, foi plotado o gráfico de concentração x absorvância e a partir da equação da reta foi possível quantificar a concentração final das soluções após a adsorção.

No estudo da cinética de adsorção foram utilizadas 5 g de bioadsorvente em contato com 0,5 L de solução de corante com concentração de 100 mg L⁻¹ e pH 2. As amostras foram submetidas a agitação orbital na incubadora Shaker à temperatura de 30°C e velocidade de agitação de 200 rpm. Para a determinação da concentração de corante remanescente, alíquotas de 10 mL de amostra foram coletadas em intervalos de tempo pré-determinados, de 5 a 120 min, centrifugadas por 3 min a 2600 rpm e as leituras de absorvância realizadas em espectrofotômetro. A curva cinética foi construída para a determinação do tempo de equilíbrio. A partir dos valores obtidos para a concentração no equilíbrio, calculou-se a quantidade de corante adsorvido utilizando a Equação 1. Para o ajuste dos dados da cinética de bioadsorção, serão utilizados os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, utilizando o método de ajuste linear pelo software Microsoft Excel.

$$Q_e = \frac{C_0 - C_{eq}}{m} V$$

Equação (1)

Sendo: Q_e a quantidade de corante adsorvido por unidade de massa de adsorvente (mg g^{-1}), m a massa do adsorvente (g), C_0 corresponde à concentração inicial do corante na solução (mg L^{-1}), C_{eq} à concentração de corante na solução em equilíbrio (mg L^{-1}) e V ao o volume de solução utilizado (L).

A determinação das isotermas de adsorção foi realizada em batelada com testes em duplicata e condições de pH 2, nas temperaturas de 25, 35 e 45°C. Para a condução dos ensaios, foram adicionados 0,5 g de biomassa em 50 mL de solução de corante com diferentes concentrações iniciais, que variaram de 20 a 240 mg L^{-1} . As amostras foram mantidas sob agitação constante, 100 rpm e 30°C, por um período de 6 horas. Posteriormente, as soluções foram centrifugadas (3 min a 2600 rpm) e as leituras de absorbância feitas em espectrofotômetro. Os dados de equilíbrio obtidos foram ajustados aos modelos matemáticos das isotermas de Langmuir e Freundlich, empregando o método de ajuste linear pelo software Microsoft Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a determinação da quantidade de corante adsorvido inicialmente fez-se necessário a obtenção do comprimento de onda de máxima absorção do corante Reativos Azul 5G. A partir da análise do espectro de absorção molecular ao longo da faixa de 400 a 700 nm, pode-se verificar que o pico máximo foi em 589 nm. Uma vez determinado o comprimento de onda, foi possível obter a curva de calibração para o corante e fazer as leituras das absorbâncias de todos os ensaios realizados.

A determinação do pH_{PCZ} nos testes preliminares de bioadsorção é fundamental para a caracterização do bioadsorvente em estudo, já que o pH da solução e o PCZ do adsorvente são fatores importantes no processo, especialmente na capacidade de adsorção. O PCZ é o valor de pH que corresponde ao equilíbrio entre as cargas superficiais positivas e negativas do adsorvente, ou seja, é o valor no qual a carga da superfície do adsorvente é nula (MIMURA *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2005). Conforme a Figura 1, a biomassa in natura da *Salvinia sp.*, apresentou um pH_{PCZ} de 6,15. Isso indica que, devido ao caráter aniônico dos corantes reativos, a adsorção pelo bioadsorvente *Salvinia sp.* in natura será favorecida em condições de pH inferiores a 6,15.

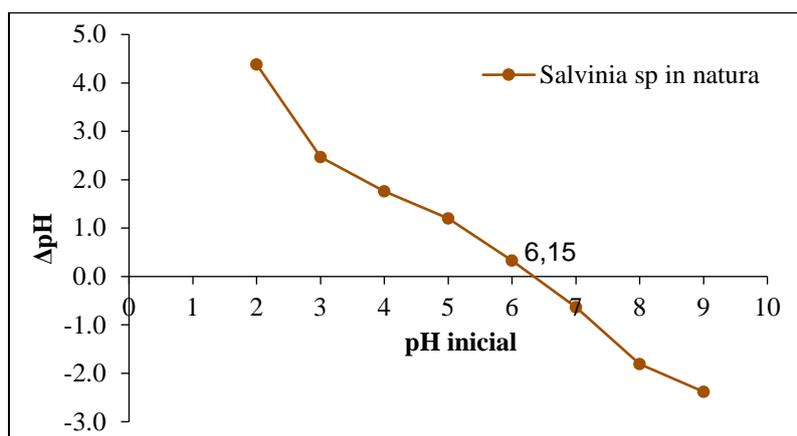


Figura 1: Valor do pH_{PCZ} para o bioadsorvente *Salvinia sp.*

Segundo Santhy e Selvapathy (2006), o pH da solução de adsorção influencia diretamente na remoção de corante, sendo que à medida que o pH é reduzido as cargas positivas da superfície do bioadsorvente aumentam. Isso atrai as cargas negativas dos grupos funcionais presentes na estrutura molecular dos corantes reativos. Deste modo, optou-se por conduzir os ensaios de bioadsorção em pH 2.

De posse dos dados calculados para Q_e , por meio da Equação (1), obteve-se a curva da cinética de bioadsorção do corante reativo Azul 5G pelo bioadsorvente *Salvinia sp.*, apresentada na Figura 2.

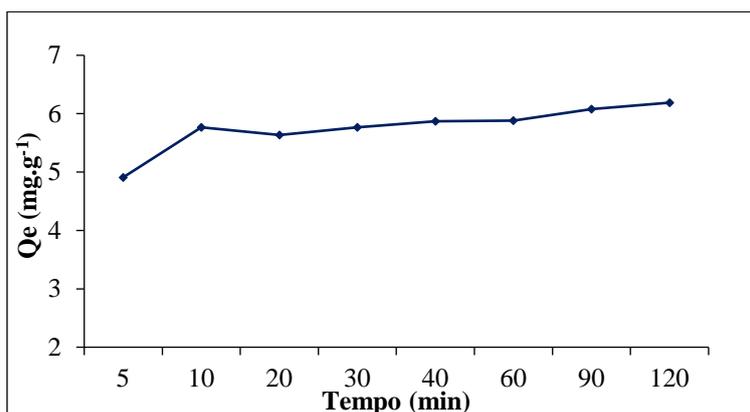


Figura 2: Cinética de Bioadsorção do Corante Reativo Azul 5G pelo bioadsorvente *Salvinia* sp

Os resultados da Figura 2 indicam que a adsorção do corante Reativo Azul 5G pelo bioadsorvente *Salvinia* sp. teve um aumento rápido nos primeiros cinco minutos, com uma quantidade adsorvida de aproximadamente 5 mg g⁻¹. Após esse instante, a taxa de bioadsorção manteve-se relativamente estável, apresentando um leve acréscimo a cada período de amostragem, atingindo o valor máximo de 6,188 mg g⁻¹ em 120 minutos, sendo esse o tempo de equilíbrio estabelecido para a cinética de adsorção da *Salvinia* sp.

Ahmed e Dhedan (2012) estudaram a cinética de adsorção do corante Azul de Metileno, utilizando solução sintética de corante (50 mg L⁻¹ e pH 7) e carvão ativado produzido a partir de resíduos da agricultura como adsorvente (0,5 g L⁻¹). Os resultados encontrados foram semelhantes aos deste estudo, uma vez que foram observadas maiores taxas remoção de corante com o aumento do tempo de contato, com máxima adsorção (80 mg g⁻¹) em 4,5 h, correspondendo ao tempo de equilíbrio do processo. Também foi verificado um rápido aumento da quantidade adsorvida de corante na primeira hora do processo, sendo que essa adsorção rápida na fase inicial ocorre devido a maior força motriz que faz a transferência rápida de íons de corante para a superfície do adsorvente e ao fato que a maioria dos sítios ativos do adsorvente encontram-se inicialmente disponíveis.

Na Tabela 1 estão apresentadas as eficiências de remoção do corante reativo Azul 5G pelo bioadsorvente a cada instante de amostragem.

Tabela 1: Eficiências de remoção do corante pelo bioadsorvente *Salvinia* sp.

Tempo (min)	Eficiência de remoção (%)
5	49,10
10	57,68
20	56,35
30	57,68
40	58,71
60	58,81
90	60,76
120	61,89

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, verifica-se a viabilidade da utilização do bioadsorvente testado na remoção do corante. A maior remoção alcançada foi de 61,89%, e ocorreu em 120 minutos. Ressalta-se que o bioadsorvente empregado promoveu uma remoção de cerca de 50% do corante já nos primeiros cinco minutos.

Para melhor compreensão da cinética de adsorção do corante reativo Azul 5G, os dados experimentais foram aplicados aos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3 (a,b) e na Tabela 2.

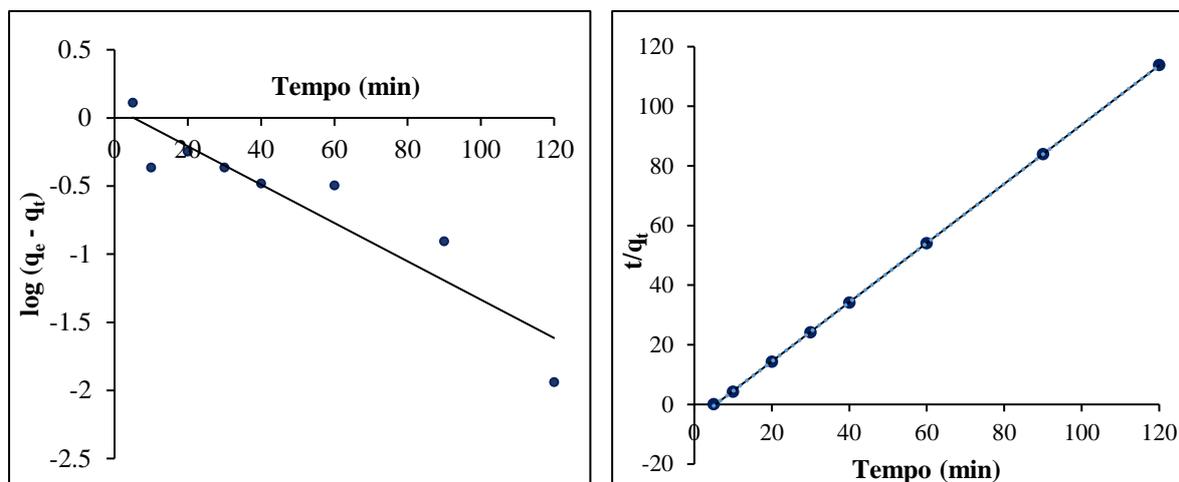


Figura 3: Cinética de Adsorção de Pseudo-Primeira Ordem (a) e Pseudo-Segunda Ordem (b) do Corante Reativo Azul 5G para o Biossorvente *Salvinia* sp.

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, obtidos pelo ajuste linear dos dados.

Tabela 3: Parâmetros Cinéticos de Adsorção do Corante Reativo Azul 5G pela *Salvinia* sp.

Biossorvente	Pseudo-primeira ordem			Pseudo-segunda ordem		
	K_1 (min^{-1})	Q_e (calc.) (mg g^{-1})	R^2	K_2 (min^{-1})	Q_e (calc.) (mg g^{-1})	R^2
<i>Salvinia</i> sp.	0,032	1,183	0,862	-0,182	1,007	1

Conforme os resultados da Tabela 3, pode-se verificar que o modelo de pseudo-segunda ordem foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da cinética de adsorção, pois apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 1, indicando que o processo de adsorção é de natureza química.

Na Figura 4, estão apresentadas as isotermas de adsorção para as temperaturas de 25, 35 e 45°C, onde C_e (mg L^{-1}) corresponde à concentração de equilíbrio do corante na solução e Q_e (mg g^{-1}) a capacidade de adsorção do adsorvente.

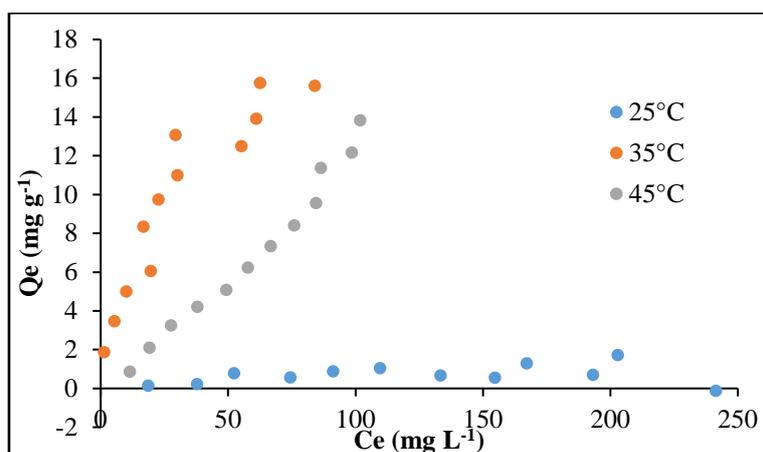


Figura 4: Isotermas de adsorção do Corante Reativo Azul 5G pelo biossorvente *Salvinia* sp.

É possível observar que a temperatura de 25°C não é adequada para o processo de biossorção estudado, uma vez que a remoção a essa condição apresentou resultados insatisfatórios. Dentre as condições testadas, a que ocasionou melhor capacidade de adsorção foi a temperatura de 35°C, em que o valor de Q_e atingiu cerca de 16 mg.g⁻¹, seguida pela condição de 45°C, que atingiu um valor próximo a 14 mg.g⁻¹ para o parâmetro.

As eficiências de remoção para as temperaturas de 35°C e 45°C variaram respectivamente de 93,24 e 42,52% para a concentração inicial de 20 mg.L⁻¹ a 64,97 e 57,59% para a concentração inicial de 240 mg.L⁻¹. Dada a melhor eficiência de remoção e facilidade operacional, a temperatura de 35°C é a mais indicada para o processo de biossorção, dentre as condições testadas.

Na Figura 5 está apresentado a isoterma de biossorção na temperatura de 35°C, de modo a observar melhor o comportamento da curva.

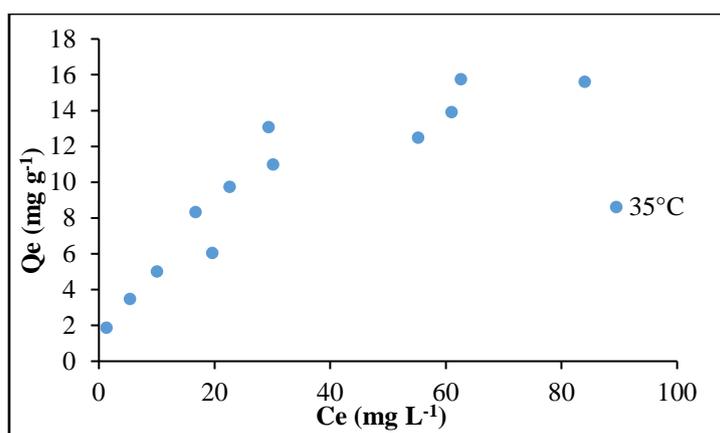


Figura 5: Isoterma de adsorção do corante reativo Azul 5G pelo biossorvente *Salvinia* sp na temperatura de 35°C.

De acordo com a classificação de Giles *et al.* (1960) para a isoterma, o biossorvente *Salvinia* sp. apresentou o comportamento da isoterma do tipo S para a temperatura de 35°C, a qual indica uma baixa adsorção inicial e um acréscimo conforme o aumento do número de moléculas adsorvidas.

De acordo com Ahmad e Rahman (2011), a escolha do modelo da isoterma que representa melhor o processo de adsorção é realizada por julgamento dos coeficientes de determinação (R^2). Na Tabela 4, estão apresentados os valores de R^2 para os ajustes de cada isoterma, utilizando os modelos de Langmuir e Freundlich.

Tabela 4 – Resultados dos ajustes para as isotermas de Langmuir e Freundlich.

Temperatura	Modelo de Langmuir	Modelo de Freundlich
25°C	0,189	0,684
35°C	0,903	0,948
45°C	0,469	0,985

É possível observar que o modelo de Langmuir só foi capaz de ajustar de forma adequada os dados da isoterma para a temperatura de 35°C, sendo que o ajuste para as outras temperaturas mostrou-se muito pobre. Já a isoterma de Freundlich obteve mais sucesso no ajuste aos dados experimentais, principalmente para as temperaturas de 35°C e 45°C, para as quais o valor de R^2 indica um ajuste excelente. Embora para a temperatura de 25°C o ajuste não tenha sido tão satisfatório, com R^2 abaixo de 70%, isso deve-se provavelmente ao fato de que essa temperatura não mostrou-se adequada para o processo de biossorção estudado. Dessa forma, o modelo de Freundlich mostrou-se o mais adequado, dentre os testados, para representar a isoterma de adsorção do processo estudado. O melhor ajuste para a isoterma de Freundlich sugere que para os adsorventes estudados, a adsorção ocorre em multicamadas em superfícies heterogêneas (WAN NGAH; HANAFIAH, 2008).

Na Figura 6, estão apresentados os dados experimentais e as isotermas de Freundlich ajustadas.

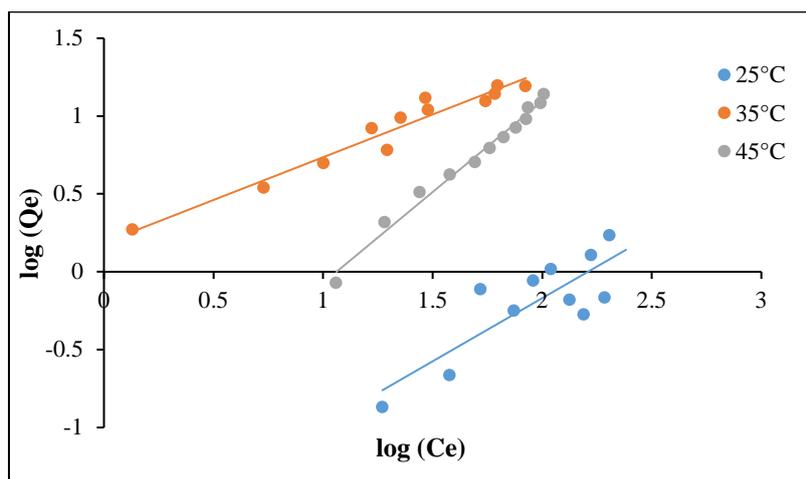


Figura 6: Ajustes de Freundlich para as isotermas de adsorção do corante reativo Azul 5G pelo bioissorvente *Salvinia* sp a 25°C, 35°C e 45°C.

Os valores das constantes de equilíbrio para a isoterma de Freundlich para as três temperaturas estudadas estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 –Parâmetros das isotermas de Freundlich para as temperaturas de 25°C, 35°C e 45°C.

Temperatura	k	n
25°C	0,016	1,232
35°C	1,535	1,820
45°C	0,057	0,856

Em que k corresponde à constante que representa a capacidade de adsorção (mg g^{-1}), e n a constante que representa a intensidade de adsorção. Dessa forma, observa-se que os valores de k ajustados corroboram as conclusões obtidas com a análise da eficiência de adsorção, acerca da temperatura mais adequada para o processo, uma vez que o valor mais elevado ($1,535 \text{ mg g}^{-1}$) foi observado para a temperatura de 35°C.

Em relação aos parâmetros da isoterma de Freundlich, observou-se que os valores do parâmetro “ n ” são maiores do que 1 para as temperaturas de 25°C e 35°C, indicando assim uma favorável interação entre os adsorventes e o corante para essas temperaturas. O valor mais alto foi obtido para a temperatura de 35°C, o que também indica que, dentre as temperaturas testadas, esta é a que resulta em uma melhor eficiência para o processo;

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de tecnologias menos onerosas para o tratamento de efluentes têxteis torna a utilização de bioissorventes uma alternativa com grande potencial. Foi possível verificar, neste trabalho, a viabilidade técnica da utilização do bioissorvente *Salvinia* sp. na remoção do corante Reativo Azul 5G de solução sintética, uma vez que o estudo da cinética de adsorção do corante azul, mostrou uma rápida adsorção nos estágios iniciais do processo, com uma remoção de aproximadamente 50%, e que a eficiência aumentou ao longo do tempo, alcançando o valor máximo no final do processo (120 min), de 61,89%. Esse comportamento sugere que, possivelmente ainda existiam sítios ativos disponíveis para adsorção na superfície do adsorvente. Observou-se ainda, que o modelo de pseudo-segunda ordem foi o que apresentou o melhor ajuste para os dados experimentais, sugerindo um processo de natureza química.

Por meio das isotermas de adsorção foi possível verificar que a melhor temperatura para o processo, dentre as condições testadas, foi a de 35°C, com uma remoção variando de 64,97 a 93,24% para concentrações iniciais de 240 e 20 mg L^{-1} , respectivamente. O ajuste dos dados das isotermas aos modelos matemáticos de Langmuir e Freundlich mostrou que o modelo de Freundlich obteve mais sucesso, com valores de R^2 de 0,95 e 0,98 para as

temperaturas de 35°C e 45°C, respectivamente. Ainda, os melhores valores para as constantes k e n , 1,535 mg g⁻¹ e 1,82 respectivamente, foram obtidos em 35°C, indicando que a melhor capacidade e intensidade de adsorção são encontradas nessa temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, M. A.; RAHMAN, N. K. Equilibrium, kinetics and thermodynamic of Remazol Brilliant Orange 3R dye adsorption on coffee husk-based activated carbono. *Chemical Engineering Journal*, v. 170, n. 1, p. 154-161, mai. 2011.
2. AHMED, M. J.; DHEDAN, S. K. Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons. *Fluid Phase Equilibria*, v. 317, p. 9-14, mar. 2012.
3. BEZERRA, A. S.; FREITAS, L. S. Avaliação das atividades de uma lavanderia industrial à luz da Produção Mais Limpa no polo de confecções de Santa Cruz do Capibaribe – PE. In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO - FEA-USP, 16., 2013, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: USP, 2013. Disponível em: <http://semead6.tempsite.ws/16semead/resultado/an_resumo.asp?cod_trabalho=97>. Acesso em: 20 ago. 2016.
4. CRINI, G. Kinetic and equilibrium studies on the removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption on a cyclodextrin polymer. *Dyes and Pigment*, v. 77, n. 2, p. 415-426, dec., 2008.
5. GILES, C. H.; MacEWAN, T.H.; NAKHWA, S.N.; SMITH, D. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. *Journal of the Chemical Society, London*, p. 3973-3993, 1960.
6. HAI, F. I.; YAMAMOTO, K.; FUKUSHI, K. Hybrid treatment system for dye wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 37, n. 4, p. 315-377, 2007.
7. KUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, v. 25, n.1, p. 78-82, 2002.
8. MEEHAN, C. *et al.* Decolorization of Remazol Black-B using a thermotolerant yeast, *Kluyveromyces marxianus* IMB3. *Environment International*, v. 26, p. 75-79, aug. 2000.
9. MIMURA, A.M.S; VIEIRA, T.V.A.; MARTELLI, P.B.; GORGULHO, H.F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu²⁺, Al³⁺, Ni²⁺ e Zn²⁺. *Química Nova*, v.33, n.6, p.1279-1284, 2010.
10. RESENDE, L. P. Reuso na indústria têxtil e lavanderias. *Hydro*, (São Paulo), v. 6, n. 66, p. 14-19, abr. 2012.
11. SANTHY, K.; SELVAPATHY, P. Removal of reactive dyes from wastewater by adsorption on coir pith activated carbon. *Bioresource Technology*, v. 97, n. 11, p. 1329-1336, jul. 2006
12. WAN NGAH, W. S.; HANAFIAH, M. A. K. M. Biosorption of copper ions from dilute aqueous solutions on base treated rubber (*Hevea brasiliensis*) leaves powder: kinetics, isotherm, and biosorption mechanisms. *Journal of Environmental Sciences*, v. 20, n. 10, p.1168–1176, 2008.
13. WANG, S.; ZHU, Z.H.; COOMES, A.; HAGHSERESHT, F.; LU, G.Q. The physical and surface chemical characteristics of activated carbons and the adsorption of methylene blue from wastewater. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 284, n. 2, p. 440-446, abr. 2005.