



IV-159 - REMOÇÃO DO CORANTE REATIVO AZUL 5G PELA MACRÓFITASALVINIA SP

Márcia Teresinha Veit⁽¹⁾

Doutora pela Universidade Estadual de Maringá

Jéssica Karyne Devequi Castro

Engenheira Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Márcia Regina Fagundes Klen

Doutora pela Universidade Estadual de Maringá

Edson Antonio da Silva

Doutor pela Universidade Estadual de Campinas

Paula Alessandra Palsikowski

Acadêmica de Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).

Endereço⁽¹⁾: Rua da Faculdade, 645, Jardim La Salle, CEP:85903-000, Toledo – PR, Brasil -Tel: (45) 3379-7091 - e-mail: marcia_veit@yahoo.com.br

RESUMO

Um dos grandes problemas da sociedade moderna é indubitavelmente a contaminação de águas naturais. Neste contexto, o setor têxtil tem uma considerável contribuição, pois gera grandes volumes de efluentes, os quais, quando não devidamente tratados podem acarretar sérios problemas ao ecossistema. Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de processos com resultados eficientes combinados com um baixo custo de operação. O processo de bioadsorção empregado neste trabalho tem por objetivo investigar a aplicação da macrófita *Salvinia* sp. morta como um bioadsorvente para a remoção do corante comercial reativo azul 5G empregado nos processos de tingimento de tecidos tipo jeans. O efeito do pH e da temperatura foram investigados no processo de bioadsorção e mostraram ser variáveis que afetam fortemente a capacidade de remoção do corante da solução. Os dados de adsorção de equilíbrio foram ajustados empregando os modelos cinéticos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem. Ambos os modelos representaram satisfatoriamente os dados cinéticos experimentais. Os resultados demonstraram que o equilíbrio do sistema foi atingido em aproximadamente 28 horas de contato, com remoção de corante azul 5G de 81% para o pH de 1,01 e temperatura de 30°C e de 94% para a temperatura de 60°C. A partir do binômio pH e T (1,01 e 60°C) os modelos de isotermas de adsorção de Langmuir, Tóth e Sips foram usados para descrever os dados experimentais de equilíbrio do processo de bioadsorção. Este estudo verificou que a biomassa da macrófita *Salvinia* sp. morta apresenta potencial de aplicação na remoção de corante reativo azul 5G.

PALAVRAS-CHAVE: Bioadsorção, Corante reativo, Macrófita aquática, Cinética de bioadsorção, Isotermas.

INTRODUÇÃO

O setor têxtil e de confecções do Paraná é responsável por 15,47% do total da indústria estadual (Ledakowicz et al., 2002), e nesse âmbito de crescimento, cresce também os efluentes líquidos. Dentre os efluentes líquidos estão principalmente os resíduos das lavanderias que contêm alto teor de corantes e compostos orgânicos que causam sérios problemas de poluição à vida aquática em lagos, rios e mares, sendo que esses mesmos corantes são difíceis de remover dos efluentes por serem estáveis a luz, ao calor e não degradados nos processos convencionais de tratamento.

Com a necessidade de preservação ao meio ambiente, principalmente as águas, surge à busca por novos tratamentos a baixo custo. Nessa busca por novos métodos, os processos de adsorção usando macrófitas têm recebido atenção especial devido à versatilidade, baixo custo e alta eficiência quando utilizado em condições favoráveis. As macrófitas são facilmente encontradas em lagos ou lagoas de regiões mais quentes.

Essas plantas são ricas em grupos carboxila, um radical que apresenta a capacidade de reagir e fixar metais pesados (Schneider e Rubio, 1999). A *Salvinia* sp. remove eficientemente vários corantes presentes no meio aquoso. O mecanismo de adsorção, nesses casos, é muito parecido com o do carvão ativado, pois o soluto é adsorvido por efeitos físicos (forças eletrostáticas, de Van der Waals e/ou hidrofóbicas) ou reações químicas



específicas. Entretanto, uma vantagem das plantas é o maior tamanho dos poros, o que permite bons resultados mesmo quando a planta não está finamente dividida (Schneider e Rubio, 1999).

Diversos são os métodos de remoção de cor nos efluentes têxteis, tais como processos físico-químicos e biológicos. Dentre os processos físico-químicos, encontram-se a oxidação química (empregando como agente oxidante o cloro, a água oxigenada ou o ozônio), coagulação, floculação, precipitação, ultra, micro e nanofiltração por membranas, além de troca iônica e adsorção (em carvão ativado, rejeitos industriais e bioadsorventes) (Brás et al., 2002).

O processo da bioadsorção é uma tecnologia que pode ser afetada pela concentração da biomassa, pré-tratamento físico ou químico da biomassa, e por fatores como, temperatura, pH, presença de cátions, ânions ou compostos orgânicos na solução, que afetam a composição química da parede celular e de sítios ligantes do material bioadsorvente (Volesky, 1990).

Na realização de experimentos de bioadsorção, os ensaios cinéticos são de fundamental importância, pois permitem avaliar o tempo de contato necessário para que o equilíbrio entre o material bioadsorvente e a solução de corante seja atingido. O mecanismo controlador do processo de bioadsorção pode ser investigado ajustando os modelos cinéticos de primeira e segunda ordem aos dados experimentais.

Para representar os dados de equilíbrio entre as fases fluida e sólida do sistema, a uma determinada temperatura, faz-se uso das isotermas de adsorção que correspondem a uma relação termodinâmica de equilíbrio. A adsorção pode ser avaliada quantitativamente através das isotermas de adsorção disponíveis na literatura.

Neste contexto, o desenvolvimento do trabalho contemplou os seguintes objetivos específicos: (i) verificar o efeito do pH da solução e da temperatura no processo de remoção de cor pelo bioadsorvente; (ii) obter a cinética de remoção do corante e dos dados de equilíbrio de bioadsorção em sistema batelada; (iii) ajustar os dados experimentais obtidos para a macrófita utilizando o modelo cinético pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem; (iv) representar os dados de equilíbrio utilizando as isotermas de adsorção do modelo de Langmuir, Tóth e Sips.

MATERIAIS E MÉTODOS

A biomassa utilizada neste trabalho foi a macrófita aquática *Salvinia* sp. coletada em tanques de peixes do Centro de Pesquisas Avançadas em Aquicultura – CPAA na cidade de Toledo – PR. A macrófita foi inicialmente lavada em água corrente para a remoção das impurezas, em seguida submetida a sucessivos enxágües com água destilada e seca em estufa a 60°C, por um período de 24 horas. A folha da macrófita inteira foi utilizada como material bioadsorvente em ensaios batelada.

As soluções de corante utilizadas neste trabalho foram preparadas a partir da solução estoque de 1000 mg L⁻¹ obtida pela dissolução do corante comercial reativo azul 5G, produzido pela Texpal Química, em água destilada.

Para o estudo da influência do pH no processo de bioadsorção do corante comercial reativo azul 5G sobre o bioadsorvente, soluções aquosas de mesma concentração inicial de corante (25 mg L⁻¹) foram preparadas e ajustadas a valores de pH 1, 2 e 3 pela adição de ácido clorídrico (HCl). Em cada erlenmeyer, 50 mL da solução de corante foi posta em contato com uma massa conhecida de bioadsorvente (0,15g), sob temperatura controlada de 30°C e agitação em shaker (Marconi MA-184) a 100 rpm por um período de 28h. Foram preparadas soluções idênticas (solução corante + bioadsorvente), uma para cada alíquota a ser retirada. Em intervalos regulares de tempo foram retiradas alíquotas para análise, e a concentração da solução de corante remanescente foi determinada através da técnica espectrofotométrica (UV/vis SHIMADZU) a 610nm. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

Os experimentos para avaliar a influência da temperatura na cinética de bioadsorção do corante foram realizados de forma idêntica ao procedimento descrito anteriormente, na condição de pH que obteve maior remoção, seguiu-se os ensaios cinéticos para as temperaturas de 25, 30, 43 e 60°C. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.



O mecanismo controlador do processo de biossorção neste estudo foi investigado ajustando os modelos cinéticos de pseudo-primeira e segunda ordem aos dados experimentais obtidos para o corante reativo azul 5G. O modelo cinético de pseudo-primeira ordem em sua forma não-linear é dado por:

$$q_t = q_{eq}(1 - \exp(-k_1 \cdot t)) \quad \text{equação (1)}$$

em que q_{eq} e q_t são a quantidade de corante adsorvido por unidade de massa de biossorvente ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) em equilíbrio e em tempo t , respectivamente, e k_1 é a constante da taxa para a adsorção de pseudo-primeira ordem (min^{-1}).

O modelo cinético de pseudo-segunda ordem em sua forma não-linear é dado por:

$$q_t = \frac{k_2 q_{eq}^2 t}{1 + k_2 q_{eq} t} \quad \text{equação (2)}$$

em que k_2 é a constante da taxa para a adsorção cinética de pseudo-segunda ordem ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Para as isotermas de adsorção, amostras contendo diferentes concentrações iniciais de corante ($5\text{--}110 \text{ mg L}^{-1}$) foram transferidas volumetricamente (50 mL) para os erlenmeyers de 125 mL, contendo massas constantes de biossorvente (0,15g b.s.). Os frascos foram submetidos a agitação controlada de 100 rpm e temperatura constante de 60°C e pH de 1,0 definido nos ensaios anteriores. Após o tempo de equilíbrio (aproximadamente 28 horas), alíquotas da solução de corante de cada frasco foram retiradas e quantificadas mediante a leitura da absorbância no espectrofotômetro UV/vis SHIMADZU. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

A quantidade de corante reativo azul 5G biossorvido por grama de biossorvente foi calculada pela equação (3):

$$q_{eq} = \frac{V(C_i - C_{eq})}{m_s} \quad \text{equação (3)}$$

em que q_{eq} é a quantidade de soluto adsorvido na fase sólida ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); C_i e C_{eq} são as concentrações iniciais e de equilíbrio em solução ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), V é o volume de solução (L), e m_s é a massa seca do biossorvente adicionado (g).

Para representar os dados de equilíbrio entre as fases fluida e sólida do sistema, a uma determinada temperatura, faz-se uso das isotermas de adsorção que correspondem a uma relação termodinâmica de equilíbrio. É por meio das isotermas que o processo de adsorção pode ser avaliado quantitativamente. As isotermas podem ser representadas por equações que relacionam diretamente a quantidade adsorvida em função da concentração do adsorvato na fase fluida. Entre as isotermas derivadas teórica ou empiricamente, mais utilizadas para representar os dados de equilíbrio de adsorção, o modelo de Langmuir e de Freundlich são os mais utilizados.

A forma geral do modelo de Langmuir (adsorção homogênea) é dado pela Equação (4):

$$q_{eq} = \frac{q_{m\acute{a}x} b C_{eq}}{1 + b C_{eq}} \quad \text{equação (4)}$$

em que, q_{eq} é a quantidade de corante adsorvido por unidade de peso de biomassa em equilíbrio, (mg g^{-1}); C_{eq} é a concentração de corante em solução não adsorvido em equilíbrio, (mg L^{-1}); $q_{m\acute{a}x}$ é a quantidade máxima adsorvida de corante por unidade de peso de biomassa para formar uma monocamada completa na superfície ($q = q_{m\acute{a}x}$), (mg g^{-1}); b é a constante relacionada com a energia de adsorção, (L mg^{-1}).

Os dois parâmetros (b e $q_{m\acute{a}x}$) refletem convenientemente a natureza do material adsorvente e podem ser usados para comparar o desempenho da biossorção.

Tóth também modificou a equação de Langmuir com o intuito de melhorar o ajuste do modelo aos dados experimentais (Vijayaraghavan et al., 2005), obteve uma equação que fornece resultados melhores quando aplicada em adsorção multicamadas. A isoterma de Tóth descreve sistemas de adsorção heterogêneos e assume a distribuição de energia quase-gaussiana, sendo representada pela equação:



$$q_{eq} = \frac{Q_{m\acute{a}x} b C_{eq}}{[1 + (b C_{eq})^{\frac{1}{n}}]^n} \quad \text{equação (5)}$$

em que, b é a constante do modelo de Tóth e n é o expoente do modelo de Tóth.

A isoterma de Sips é uma combinação da isoterma de Langmuir e Freundlich. Em baixas concentrações de sorbato este modelo se reduz eficazmente ao modelo de Freundlich e, não obedece direito a Lei de Henry. Em altas concentrações de sorbato prevê uma capacidade de adsorção em monocamada característica da isoterma de Langmuir. Esta isoterma é representada por:

$$q_{eq} = \frac{q_{m\acute{a}x} b C_{eq}^n}{1 + b C_{eq}^n} \quad \text{equação (6)}$$

em que, $q_{m\acute{a}x}$ é a quantidade máxima adsorvida de corante por unidade de peso de biomassa, (mg g^{-1}); b é a constante do modelo de Sips, (L mg^{-1}), n é o expoente do modelo de Sips; C_{eq} é a concentração de corante em solução não adsorvido em equilíbrio, (mg L^{-1}); q_{eq} é a quantidade de corante adsorvido por unidade de peso de biomassa em equilíbrio, (mg g^{-1}).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudos cinéticos foram efetuados com o propósito de determinar o tempo de contato necessário para que o sistema alcançasse o equilíbrio na remoção de corante. O tempo de equilíbrio obtido entre biossorvente-corante nos experimentos foi em torno de 28 horas. Este resultado sugere que o processo de biossorção ocorre em duas etapas, a primeira um pouco mais rápida na superfície do material biossorvente (12 horas de contato) e a segunda, mais lenta, nos poros do biossorvente.

Na Figura 1 são apresentados os resultados da remoção do corante reativo azul 5G para os três diferentes valores de pH.

Pode-se observar que uma maior remoção do corante reativo foi obtida na condição de pH inicial de 1,01. Os valores de pH iniciais maiores do que 1,01, apresentaram uma significativa redução em relação a quantidade de corante removida considerando-se o mesmo tempo de contato, isto é, para um equilíbrio de 28 horas. A quantidade do corante azul 5G adsorvido foi de 81% e 34,6% para o pH de 1,01 e 2,09, respectivamente. Uma pequena biossorção ocorreu para o pH inicial de 3,0 (remoção menor de 2,4%).

Pesquisadores como Senthilkumaar et al. (2006) e Thangamani et al. (2007) relataram em seus estudos que a adsorção de corantes reativos diminui a medida que se tem um aumento do pH. Vijayaraghavan e Yun (2007) reportaram que condições extremamente ácidas favorecem a biossorção de corantes reativos.

O pH da amostra coletada no final do experimento para os pHs iniciais de 1,01 e 3,00 manteve-se no mesmo valor inicial, e para o pH inicial de 2,09 observou-se um acréscimo de 0,6 unidades. Ensaios de controle, erlenmeyer contendo apenas solução de corante foram realizados simultaneamente e nas mesmas condições experimentais aos ensaios de biossorção, os quais mostraram não haver alteração de cor, permanecendo a absorvância praticamente igual àquela medida na solução antes do desenvolvimento do experimento (ensaio controle).

Neste estudo da influencia do pH em relação a capacidade de adsorção do corante reativo, a maior remoção encontrada para o pH de 1,0 provavelmente deve-se ao fato da concentração dos íons hidrogênio presentes em solução afetarem de alguma forma as propriedades da superfície da biomassa macrófita, já que nenhuma mudança foi observada na solução de corante utilizada como controle.

Nos pH acima do valor de 1,01, o que pode estar ocorrendo é uma possível repulsão eletrostática (cargas negativas) entre os ânions do corante carregados negativamente (adsorbato) e a estrutura aniônica da parede celular do biossorvente. De acordo com Won et al. (2005), em condições ácidas tem-se a protonação dos grupos funcionais presentes na biomassa tornando sua carga positiva, e os corantes reativos presentes em solução na forma de íons do corante carregados negativamente, ocorrendo assim uma interação eletrostática dos íons do corante com as superfícies do biossorvente.



De acordo com Mall et al. (2006) o pH afeta o processo adsorativo por meio da dissociação de grupos funcionais presentes nos sítios ativos do adsorvente.

Para Ncibi et al. (2007), o pH afeta a superfície dos sítios ligantes de biomateriais e o processo de ionização da molécula de corante.

Rao e Viraraghavan (2002) relataram em seus estudos de remoção de fenol pela biomassa pré-tratada (H_2SO_4) do fungo *Aspergillus niger* a ausência de bioadsorção em pH de 10 para a faixa estudada (2-10). Segundo os autores esse pré-tratamento poderia gerar sítios carregados positivamente na superfície da biomassa em virtude de um excesso de íons hidrogênio. Em pH de 10, os íons hidroxila poderiam competir com moléculas de fenol pelos sítios de bioadsorção podendo converter uma superfície inicialmente positiva em uma negativa, repelindo assim as moléculas de fenol.

Os dados experimentais de adsorção do corante reativo azul 5G foram ajustados pelos modelos cinéticos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem como apresentado na Figura 1. Os modelos cinéticos avaliados demonstraram representar adequadamente os dados experimentais, sobressaindo-se levemente o modelo de pseudo-primeira ordem em relação ao coeficiente de determinação (R^2). Os valores das constantes da taxa de adsorção (k_{ad}) e dos coeficientes de correlação foram determinados para os valores de pH 1,01 e 2,09 e são apresentados na Tabela 1.

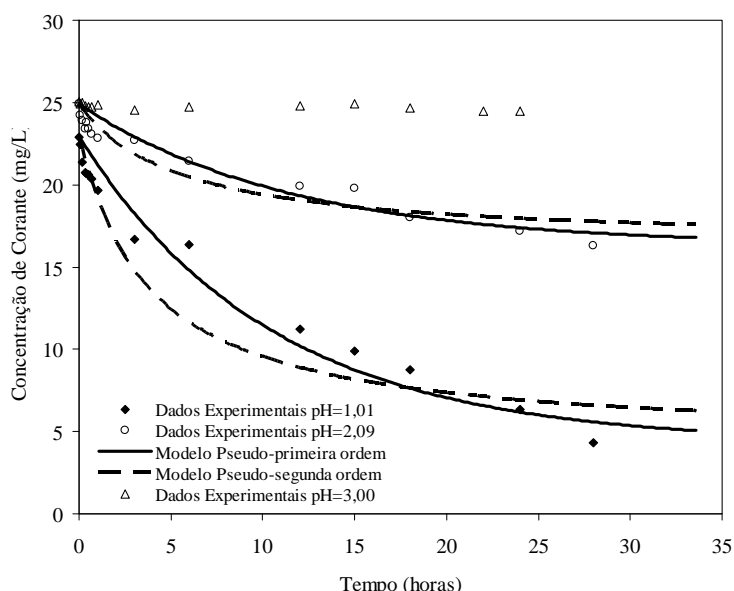


Figura 1. Cinética de remoção de corante reativo azul 5G pela biomassa da macrófita *Salvinia* sp. em diferentes valores de pH iniciais ($T = 30^\circ C$, 100 rpm)

Tabela 1: Parâmetros cinéticos obtidos a partir dos modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem para a bioadsorção do corante reativo azul 5G em diferentes valores de pH ($T = 30^\circ C$, 100 rpm)

pH	Pseudo-primeira ordem		Pseudo-segunda ordem		
	k_1 (min^{-1})	R^2	k_2 (min^{-1})	R^2	q_{eq} ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
1,01	0,1592E-02	0,9715	0,6600E-03	0,9481	6,4660
2,09	0,1447E-02	0,9817	0,1011E-02	0,9813	2,9760

As constantes cinéticas (k_1 e k_2) são um indicativo da taxa de remoção do adsorbato (corante). Na Tabela 1, observa-se que no pH de 1,01 e 2,09, a taxa cinética (k_1) do modelo pseudo-primeira ordem não mudou significativamente, contudo para o modelo de pseudo-segunda ordem verifica-se um aumento no valor da constante da taxa de remoção de corante consideravelmente maior para o pH da solução de 2,09 (0,1011E-02). Em termos de comparação para a mesma condição de pH, observa-se um melhor ajuste dos dados experimentais com maior coeficiente de determinação (R^2) pelo modelo cinético de pseudo-primeira ordem.

Na Figura 2 é apresentado a cinética de biossorção do corante reativo azul 5G pela macrófita *Salvinia* sp. em diferentes temperaturas. Observa-se a ocorrência de uma maior remoção de corante quando a temperatura aumentou de 25 para 60°C, provavelmente devido a maior mobilidade do corante em função da temperatura, o que favoreceu consideravelmente o processo de biossorção do corante em questão.

Segundo Al-Qodah (2000), o aumento da temperatura aumenta a taxa de difusão das moléculas de adsorbato através da superfície externa e nos poros internos do adsorbente, em virtude do decréscimo na viscosidade da solução e da modificação das relações de equilíbrio.

Desta forma, a quantidade removida do corante reativo azul 5G foi afetada pela faixa de temperatura estudada, obtendo-se uma remoção em torno de 74,5%, 81,1%, 85,8% e 94,8% para as temperaturas de 25, 30, 43 e 60°C, respectivamente.

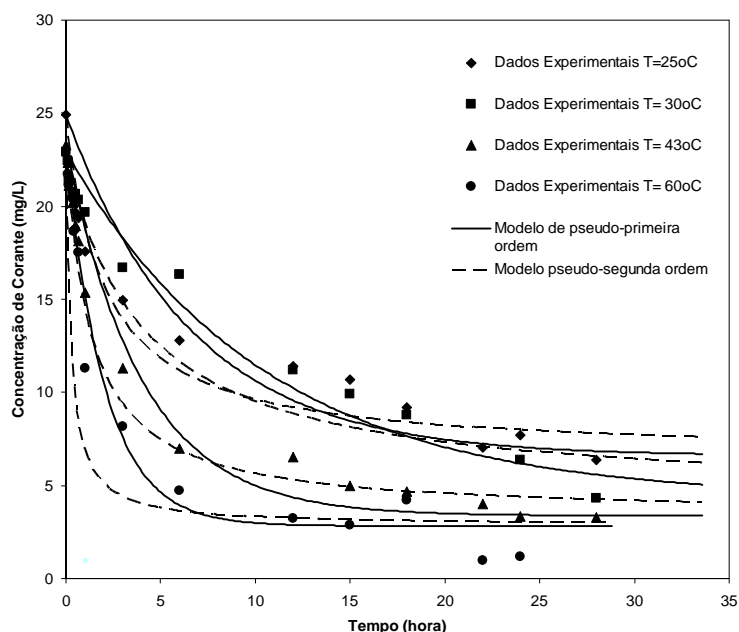


Figura 2. Cinética de remoção de corante reativo azul 5G pela biomassa da macrófita *Salvinia* sp. em diferentes valores de temperatura (pH=1,0, 100 rpm)

Com o aumento da temperatura de 30, 43 e 60°C, a porcentagem de remoção de corante e as constantes cinéticas de adsorção apresentaram um crescente aumento. Villar et al. (2007) verificaram que aumentando a concentração inicial de corante básico azul de metileno (pH 6 e temperatura de 20°C), ocorria um aumento da capacidade de remoção de equilíbrio e uma diminuição nos valores das constantes cinéticas para ambos os modelos cinéticos pseudo-primeira e segunda ordem testados. Segundo os autores, quando a concentração inicial de corante básico azul de metileno aumenta, as forças entre as fases líquida e sólida aumentam, diminuindo o tempo de difusão das moléculas de azul de metileno da solução para os sítios ligantes do biossorvente *Gelidium sesquipedale*. Comportamento semelhante também foi observado por Cengiz e Cavas (2008) na remoção do corante básico azul de metileno empregando a alga marinha verde *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* em pH 7 e temperatura de 18°C.

Annandurai et al. (2002) relataram que um aumento na temperatura aumentaria a difusividade de grandes moléculas de corante ou íons em um leito de carvão ativado imobilizado em alginato de sódio.

Em sua maioria, as curvas simuladas pelos modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem descreveram os dados cinéticos experimentais razoavelmente bem e com bons coeficientes de determinação (R^2). Os valores das constantes da taxa de adsorção (k_{ad}) e dos coeficientes de determinação obtidas para pH 1,01 e temperaturas de 25, 30, 43 e 60°C são apresentados na Tabela 2.



Tabela 2: Parâmetros cinéticos obtidos a partir dos modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem para a bioadsorção do corante reativo azul 5G em diferentes temperaturas (pH= 1,0, 100 rpm)

Temperatura (°C)	Pseudo-primeira ordem		Pseudo-segunda ordem		q_{eq} (mg.g ⁻¹)
	k_1 (min ⁻¹)	R^2	k_2 (min ⁻¹)	R^2	
25	0,2520E-02	0,8602	0,1307E-02	0,9587	6,3590
30	0,1592E-02	0,9715	0,6600E-03	0,9482	6,4660
43	0,4175E-02	0,9663	0,1851E-02	0,9846	6,9560
60	0,8021E-02	0,9784	0,9212E-02	0,6481	6,9980

As isotermas de adsorção descrevem a relação de equilíbrio entre a quantidade de corante bioadsorvida (adsorbato) sobre a biomassa da macrófita *Salvinia* sp. e a concentração de corante em equilíbrio na solução. É a partir das isotermas de adsorção que se torna possível prever o desempenho do processo de bioadsorção sob uma faixa de condições operacionais. Dentre vários modelos de isotermas de adsorção disponíveis na literatura, três foram os modelos (Langmuir, Tóth e Sips) selecionados para descrever os dados de equilíbrio experimentais de adsorção do corante reativo azul 5G obtidos em condições de pH igual a 1,0 e temperatura de 60°C (Figura 3). Destes ajustes foram determinados as constantes de adsorção e os respectivos coeficientes de determinação, como apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros de adsorção determinados a partir de modelos de isotermas de adsorção (pH = 1,0, Temperatura = 60°C e Conc. = 5-110 mg.L⁻¹)

Langmuir			
q _{max} (mg.g ⁻¹)	b (L.mg ⁻¹)	R ²	
24,4319	0,2966	0,9185	
Tóth			
q _{max} (mg.g ⁻¹)	b (L.mg ⁻¹)	n	R ²
20,4244	0,1291E-6	7,8332	0,8709
Sips			
q _{max} (mg.g ⁻¹)	b (L.mg ⁻¹)	n	R ²
19,4598	0.4281	2.1627	0,9077

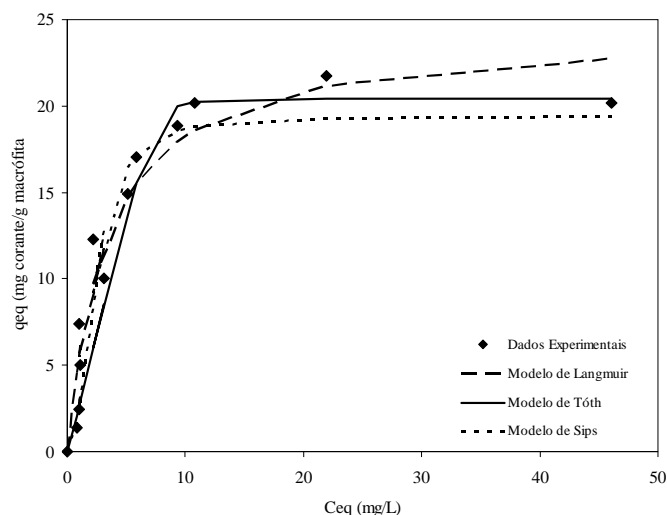


Figura 3. Isotermas de adsorção do corante comercial reativo azul 5G pela biomassa da macrófita morta *Salvinia* sp.

Na Figura 3 observa-se que a forma das curvas obtidas indica isotermas de adsorção do tipo favoráveis. Dentre os modelos de isotermas de adsorção avaliados, os modelos de Langmuir (2 parâmetros) e Sips (3 parâmetros) representaram mais adequadamente os dados experimentais do que o modelo de isoterma de Tóth (3 parâmetros), confirmado pelos valores dos coeficientes de determinação (R^2). Segundo Vilar et al. (2007),



os modelos de isoterma que fornecem a capacidade máxima de adsorção (q_{\max}), permitem comparar o desempenho com diferentes materiais adsorventes.

A adsorção do corante azul 5G de soluções aquosas pela macrófita *Salvinia* sp. descrita pelo modelo de Langmuir forneceu uma capacidade máxima de adsorção de 24,4319 mg do corante por grama do bioissorvente. Este valor foi consideravelmente maior comparado ao valor de 12,2283 mg do corante reativo azul 5G por grama de carvão ativado obtido por Lambrecht (2007) para a isoterma irreversível em coluna de leito fixo na temperatura de 40°C.

Villar et al. (2007) avaliaram a aplicação da alga marinha vermelha *Gelidium sesquipedale* na remoção do corante básico azul de metileno e obtiveram uma capacidade máxima de adsorção de 171 mg.g⁻¹ empregando o modelo de Langmuir em pH 6 e temperatura de 20°C.

Cengiz e Cavas (2008) estudaram a remoção do corante básico azul de metileno empregando a alga marinha verde *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* e obtiveram uma capacidade máxima de remoção de 5,23 mg.g⁻¹ em pH 7 e temperatura de 18°C.

CONCLUSÕES

Experimentos foram realizados para avaliar o potencial da macrófita *Salvinia* sp. como bioissorvente na remoção do corante comercial reativo azul 5G. O efeito do pH (1, 2 e 3) e da temperatura (25, 30, 43 e 60°C) sobre a quantidade de corante removida foi avaliada e demonstrou ser fortemente dependente destas condições operacionais. Os experimentos revelaram uma maior remoção de corante no pH de 1,01 e temperatura de 60°C, e o equilíbrio corante-macrófitas foram alcançados em torno de 28 horas. As cinéticas de bioissorção foram descritas satisfatoriamente pelos modelos de pseudo-primeira e segunda ordem. Os resultados de equilíbrio experimentais foram adequadamente descritos pelos modelos de isotermas de Langmuir, Tóth e Sips. A biomassa da macrófita *Salvinia* sp. apresentou resultados relevantes na remoção do corante reativo de soluções aquosas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-QODAH, Z. Adsorption of dyes using shale oil ash. *Water Research*, v.17, p. 4295-4303, 2000.
2. ANNANDURAI, G., JUANG, R-S., LEE, D-J. Factorial design analysis for adsorption of dye on activated carbon beads incorporated with calcium alginate. *Advances in Environmental Research*, v. 6, p. 191-198, 2002.
3. BRÁS, R., DIAS, J., REGO, G. et al. Degradação de azo corantes por processo biológicos. *Revista Química Têxtil*, v.68, p. 5-10, 2002.
4. CENGİZ, S., CAVAS, L. Removal of methylene blue by invasive marine seaweed: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. *Bioresource Technology*, v.99, p. 2357-2363, 2008.
5. LAMBRECHT, R. Adsorção do corante reativo azul 5G em carvão ativado e em xisto retornado, Maringá, 2007. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá, 2007.
6. LEDAKOWICZ, S., SOLECKA, M., ZYLLA, R. Biodegradation, decolourisation and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes. *Journal of Biotechnology*, v. 89, p. 175-184, 2001.
7. MALL, I. D., SRIVASTAVA, V. C., AGARWAL, N. K. Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash – kinetic study and equilibrium isotherm analyses. *Dyes and Pigments*, v. 69, p. 210-223, 2006.
8. NCIBI, M. C., MAHJOUB, B., SEFFEN, M. Kinetic and equilibrium studies of methylene blue biosorption by *Posidonia oceanica* (L.) fibres. *Journal of Hazardous Materials*, v. 139, p. 280-285, 2007.
9. RAO, J. R., VIRARAGHAVAN, T. Biosorption of phenol from an aqueous solution by *Aspergillus niger* biomass. *Bioresource Technology*, v. 85, p. 165-171, 2002.
10. RUBIO, J., SCHNEIDER, I.A.H. Sorption of heavy metal ions by the non living biomass of freshwater macrophytes. *Environmental Science and Technology*, v. 33, n. 13, p. 2213-2217, 1999.
11. SENTHIKUMAAR, S., KALAAMANI, P., PORKODI, K., VARADARAJAN, P. R., SUBBURAAM, C. V. Adsorption of dissolved reactive red dye from aqueous phase onto activated carbon prepared from agricultural waste. *Bioresource Technology*, v. 97, p. 1618-1625, 2006.



12. THANGAMANI, K. S., SATHISHKUMAR, M., SAMEENA, Y., VENNILAMANI, N., KADIRVELU, K., PATTABHI, S., YUN, S. E. Utilization of modified silk cotton hull waste as an adsorbent for the removal of textile dye (reactive blue MR) from aqueous solution. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 1265-1269, 2007.
13. VIJAYARAGHAVAN, K., PADMESH, T. V. N., PALANIVELU, K. Biosorption of cobalt (II) and nickel (II) by seaweeds: batch and column studies. *Separation and Purification Technology*, v. 44, p. 53-59, 2005.
14. VIJAYARAGHAVAN, K., YUN, Y.-S. Chemical modification and immobilization of *Corynebacterium glutamicum* for biosorption of reactive black 5 from aqueous solution. *Ind. Eng. Chem. Res.*, v. 46, p. 608-617, 2007.
15. VILAR, V.J.P., BOTELHO, C.M.S., BOAVENTURA, R.A.R. Methylene blue adsorption by algal biomass based materials: biosorbents characterization and process behaviour. *Journal of Hazardous Materials*, v. 147, p. 120-132, 2007.
16. VOLESKY, B. *Biosorption of Heavy Metals*, Boston, USA, CRC Press Inc., 1990.
17. WON, S. W., CHOI, S. B., YUN, Y.-S. Interaction between protonated waste biomass of *Corynebacterium glutamicum* and anionic dye reactive red 4. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, v. 262, p. 175-180, 2005.