

## ADSORÇÃO DO CORANTE REATIVO AZUL BF-5G EM CASCA DE SOJA: PARAMETROS DE PROCESSO E ISOTERMAS

J. F. Honorio<sup>1,2</sup>; G. C. Gonçalves<sup>2</sup>; M. T. Veit<sup>1</sup>; M. R. Fagundes-Klen<sup>1</sup>

1-Unioeste – Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Centro de Engenharias e Ciências Exatas - Engenharia Química – Campus Toledo - CEP: 85903-000 – Toledo –PR - Brasil  
Telefone: (55-45) 3379-7000 - E-mail: jacqueline-fh@hotmail.com  
2-UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Tecnologia em Processos Químicos, Campus Toledo - CEP:85902-490 -Toledo –PR - Brasil  
Telefone: (55-45) 3379-6800 -E-mail: gilcunhagon@yahoo.com.br

**RESUMO:** Neste trabalho foi avaliada a capacidade de adsorção da casca de soja *in natura* na remoção do corante reativo azul BF-5G. A caracterização da biomassa foi realizada por FTIR, o qual determinou os grupos funcionais da casca de soja. A influência da centrifugação na quantificação do corante remanescente foi satisfatória na remoção de finos da casca em 3 min a 3000 rpm. A velocidade de agitação na remoção do corante pela casca de soja demonstrou ser eficiente a 100 rpm. O estudo obteve  $q_{eq} = 57,473 \text{ mg g}^{-1}$  em 24 horas, com  $D_p = 0,725 \text{ mm}$ , dosagem  $6 \text{ g L}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 2$ , e temperatura  $30^\circ\text{C}$ , agitação 100 rpm, com centrifugação de 3 minutos a 3000 rpm. As isotermas realizadas nas temperaturas de 20, 30, 40 e  $50^\circ\text{C}$  apresentaram pouca variação na faixa de concentração investigada, sendo adequadamente ajustados pelo modelo de isoterma de Langmuir com  $q_{max}$  de  $72,427 \text{ mg g}^{-1}$  a de  $30^\circ\text{C}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Casca de soja; corante reativo; adsorção; isoterma.

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the adsorption capacity of fresh soybean hulls in the removal of blue reactive dye BF-5G. The characterization of the biomass was performed by FTIR, which define the functional groups of the soybean hulls. The influence of the spin quantify the remaining dye was satisfactory in removing the thin shell 3 min at 3000 rpm. The agitation on the removal of dye soybean hulls shown to be effective at 100 rpm. The study was obtained  $q_{eq} = 57,473 \text{ mg g}^{-1}$  in 24 hours, with  $D_p = 0.725 \text{ mm}$ , dosage  $6 \text{ g L}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 2$ , and temperature  $30^\circ\text{C}$ , agitation 100 rpm, with centrifugation of 3 min at 3000 rpm. The adsorption isotherms performed at temperatures of 20, 30, 40 and  $50^\circ\text{C}$  showed little variation in the concentration range investigated, and properly adjusted by the Langmuir isotherm model with  $q_{max}$  of  $72.427 \text{ mg g}^{-1}$  at  $30^\circ\text{C}$ .

**KEYWORDS:** Soybean hulls; reactive dye; adsorption; isotherm.

### 1. INTRODUÇÃO

Estudos de novas tecnologias para a recuperação de áreas ambientalmente degradadas e remoção de poluentes são necessários, para a redução do impacto ambiental causado pelos efluentes industriais.

A indústria têxtil é uma das indústrias mais intensivas quimicamente sobre a terra e é considerada uma importante poluidora de água

potável (Verma *et al.*, 2012). De acordo com Pearce *et al.* (2003), são utilizados industrialmente cerca de 10.000 diferentes corantes e pigmentos, sendo a demanda maior por corantes ácidos e reativos (Guaratini e Zanoni, 2000). Estes corantes reativos contribuem com cerca de 20-30% do mercado de corante total (Al-Degs *et al.*, 2008; Tanyildizi, 2011) e mostram a mais pobre taxa de fixação, gerando um efluente têxtil de cor forte



(Verma *et al.*, 2012) além de natureza não-biodegradável (Núñez *et al.*, 2007).

O processo de adsorção vem se destacando como um excelente método para a remoção de corantes no tratamento de efluentes. As vantagens deste processo envolvem baixo custo, fácil utilização, mais rentável e eficiente do ponto de vista ambiental em comparação com os tratamentos convencionais (Tanyildizi, 2011). Esse sistema de adsorção, se projetado corretamente, é capaz de produzir um efluente tratado de alta qualidade (Crini, 2006).

O processo de adsorção pode se tornar mais atraente economicamente quando se utiliza adsorventes biológicos (Crini, 2006; Gao *et al.*, 2011). De acordo com Brito *et al.* (2010), um adsorvente de baixo custo exige pouco processamento, deve ser abundante na natureza ou ser um subproduto ou resíduo material de outra indústria.

Para tornar eficiente o projeto de operação dos processos de adsorção são requeridos dados cinéticos e equilíbrio para obtenção de modelos que descrevam o comportamento. Nos estudos de adsorção, uma isoterma pode descrever os dados experimentais com precisão dentro de um conjunto de condições (Gimbert *et al.*, 2008). Os dois modelos da literatura mais frequentemente utilizados para descrever isotermas de adsorção em sistemas sólido/líquido são o de Langmuir (Langmuir, 1918) e de Freundlich (Mahmoodi *et al.*, 2011).

A remoção do corante reativo azul 5G utilizando adsorvente alternativo casca de soja vem sendo investigado. Estudos realizados por Honório *et al.* (2013) verificaram a casca de soja possui influência na adsorção com granulometria da casca de soja, dosagem de biossorvente, pH da solução e cinética na remoção do corante com biossorvente de origem agroindustrial. O estudo obteve 84% de remoção ( $q_{eq} = 57,473 \text{ mg g}^{-1}$ ) em 24 horas, utilizando casca de soja em granulometria entre 20-28 mesh, dosagem  $6 \text{ g L}^{-1}$ , pH=2 e temperatura  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , agitação 100 rpm, com centrifugação de 3 minutos. A cinética de adsorção foi representada adequadamente pelo modelo de pseudo-segunda ordem ( $R^2 = 0,968$ ). Dessa forma, estudar a casca de soja como um biossorvente alternativo vem sendo bem atrativa por se tratar de um adsorvente de baixo custo e fácil obtenção.

Este trabalho teve por objetivo investigar em sistema batelada parâmetros de processo, como velocidade de agitação e temperatura, no emprego

da casca de soja *in natura* como adsorvente do corante comercial reativo azul BF-5G. O estudo determinou também o equilíbrio da adsorção e o ajuste de modelos isotérmicos disponíveis na literatura.

## 2 MATERIAIS E METODOS

### 2.1 Preparo do Adsorvente

A casca de soja utilizada nos experimentos de adsorção foi na forma *in natura* e sem prévias lavagens. O adsorvente de origem agroindustrial foi fornecido por uma empresa de alimentos localizada na região Oeste do Paraná. A biomassa foi submetida à moagem manual em moinho (Alfredo Villanova, MIM 060) e peneirada para obtenção da granulometria média de 0,725 mm (20-28 mesh).

### 2.2 Preparação do Corante

Para a realização dos experimentos, foram preparadas soluções de corante reativo azul BF-5G produzido pela Texpal Química utilizando água destilada. Sua estrutura molecular é formada pelos grupos reativos vinilsulfona e clorotriazina. A estrutura molecular do corante se encontra patenteada até 2018 (CAS: 147826-71-9) e este também é chamado de azul reativo 203. O pH foi ajustado com adição de ácido clorídrico.

### 2.3 Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia no infravermelho visa determinar as frequências de vibrações dos grupos funcionais presentes na casca de soja *in natura* na faixa de  $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$ . A amostra do adsorvente *in natura* foi analisada com tamanho de partícula média de 0.215 mm. A análise foi realizada em FTIR, marca BOMEM, modelo MB-100. Os espectros foram obtidos com um número de 64 varreduras utilizando pastilhas KBr.

### 2.4 Tempo de Centrifugação

O tempo de centrifugação das amostras foi avaliado nas seguintes condições: 500 mL de solução; concentração inicial de  $400 \text{ mg L}^{-1}$ ; pH 2 da solução; massa adsorvente de 3 g (base seca);



temperatura ambiente (25 - 30 °C); agitação de 350 rpm (Marconi MA-039) e tempo de contato de 42 horas. Amostras foram retiradas e centrifugadas a 3000 rpm (Parsec CT-0603) variando o tempo entre 1 a 10 minutos. Os experimentos foram realizados em quadruplicatas. A concentração do corante em solução foi quantificada por espectrofotometria (Shimadzu UV-1800) em comprimento de onda de 610 nm. A quantidade adsorvida ( $q_{eq}$ ) foi calculada conforme a Equação (01).

$$q_{eq} = \frac{(C_o - C) * V}{m} \quad (01)$$

Em que:

$C_o$  Concentração inicial de corante ( $mg L^{-1}$ )

$C$  Concentração remanescente de corante ( $mg L^{-1}$ )

$q_{eq}$  Quantidade adsorvida de corante no equilíbrio ( $mg g^{-1}$ )

$m$  Massa de adsorvente (g)

$V$  Volume da solução de corante em contato com o adsorvente (L)

## 2.5 Velocidade de Agitação

A cinética de adsorção do corante reativo azul BF-5G pela casca de soja *in natura* foi realizada com  $C_o = 400 mg L^{-1}$  na temperatura de 30°C e pH 2 da solução. Em cada erlenmeyer, 50 mL da solução de corante foi posta em contato com 0,3 g de adsorvente (base seca) em incubadora de agitação orbital (Tecnal TE-424) por 24 horas, variando a velocidade de agitação (0, 50, 100, 140 e 180 rpm). Em intervalos regulares de tempo, amostras foram retiradas e centrifugadas durante 3 minutos a 3000 rpm. Os experimentos foram realizados em duplicata. A concentração do corante remanescente foi quantificada por espectrofotometria conforme descrito no item 2.4. A quantidade de corante adsorvida no instante (t) foi calculada conforme Equação (02).

$$q(t) = \frac{(C_o - C(t)) * V}{m} \quad (02)$$

Em que:

$C(t)$  Concentração remanescente de corante no tempo (t) ( $mg L^{-1}$ )

$q(t)$  Quantidade adsorvida de corante no tempo (t) ( $mg g^{-1}$ )

## 2.6 Isotermas de Adsorção

As isotermas de adsorção do corante reativo azul BF-5G para a casca de soja *in natura* foram obtidas variando a concentração inicial das soluções (25-1000  $mg L^{-1}$ ) em pH 2 e as temperaturas (20, 30, 40 e 50 °C) a 100 rpm. As condições experimentais empregadas foram as mesmas apresentadas no item 2.5. Os experimentos foram realizados em duplicata. Os dados experimentais obtidos foram aplicados os modelos de Langmuir e Freundlich disponíveis na literatura conforme Equações (03) e (04). Os parâmetros dos modelos foram obtidos a partir do uso do software Estatística para Windows®, versão 7.0, método não-linear Simplex e função objetivo, soma do quadrado do erro (observado-predito)<sup>2</sup>.

### 2.6.1 Isotermas de Langmuir

Este modelo considera que os sítios de ligação são distribuídos homogeneamente na superfície do adsorvente e que não existe interação entre as moléculas do adsorvente. O modelo de Langmuir apresentado na Equação (03) pode ser estendido para descrever a adsorção em um sistema multicamada (Langmuir, 1918):

$$q_{eq} = \frac{q_{max} K_L C_{eq}}{1 + K_L C_{eq}} \quad (03)$$

Em que:

$C_{eq}$  Concentração de corante em equilíbrio ( $mg L^{-1}$ )

$q_{eq}$  Quantidade adsorvida de corante no equilíbrio ( $mg g^{-1}$ )

$q_{max}$  Quantidade adsorvida máxima de corante no adsorvente ( $mg g^{-1}$ )

$K_L$  Constante de afinidade de Langmuir ( $L mg^{-1}$ )

### 2.6.2 Isoterma de Freundlich

Este modelo empírico deve ser utilizado somente na faixa de concentração em que foram ajustados seus parâmetros (Mahmoodi *et al.*, 2011). O modelo de Freundlich é apresentado na Equação (04):

$$q_{eq} = K_F * C_{eq}^{1/n} \quad (04)$$

Em que:

$C_{eq}$  Concentração de corante em equilíbrio ( $mg L^{-1}$ )



$q_{eq}$  Quantidade adsorvida de corante no equilíbrio ( $mg\ g^{-1}$ )

$1/n$  Parâmetro  $n$  assume valores entre 0 e 1, sendo que para  $n$  igual a 1 a equação se converte para a Isoterma de Langmuir (adimensional)

$K_F$  Parâmetro empíricos de Freundlich

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análise por espectroscopia de infravermelho

O conhecimento dos grupos funcionais permite compreender como o adsorvente terá afinidade no processo de adsorção com o adsorvato. O espectro FTIR obtido para a casca de soja *in natura* é mostrado na Figura 1.



**Figura 1.** Espectro no infravermelho da casca de soja *in natura*

A casca de soja é constituída basicamente de celulose (52%), água (8-10%) e o restante (38-40%) sendo composta de hemicelulose, lignina, proteína, sais e minerais (Karuppuchamy e Muthukumarappan, 2009).

O espectro FTIR obtido para a casca de soja *in natura* (Figura 1) apresentou um conjunto de bandas característico de substâncias ligninocelulósicas, como esperado: banda larga, de forte intensidade, centrada em  $3412\ cm^{-1}$ , atribuída às vibrações de estiramento simétrico de grupos OH; uma banda em  $2925\ cm^{-1}$ , característica de vibrações de estiramento C-H de grupos alquílicos saturados; um conjunto de bandas de forte intensidade entre  $1000$  e  $1200\ cm^{-1}$  que é atribuído principalmente às vibrações de estiramento da ligação C-O presente tanto em compostos lignínicos quanto em celulosas.

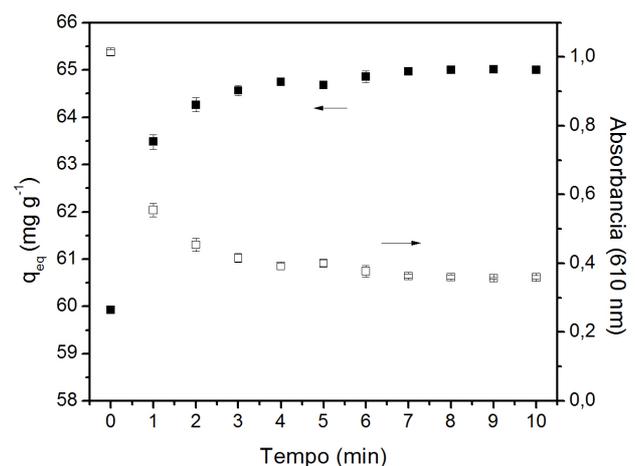
Outras bandas de menor intensidade são também observadas. Em aproximadamente  $1700\ cm^{-1}$ , obteve-se um ombro de média intensidade, que pode ser atribuído à vibração de estiramento de

grupos carboxílicos. Próximo a  $1500\ cm^{-1}$  outro ombro que, assim como a banda em  $1431\ cm^{-1}$ , é devido provavelmente às vibrações de estiramento de ligações duplas entre carbonos (Alemdar e Sain, 2008).

O conjunto de bandas mostrado no espectro na região do infravermelho indica a presença de grupos funcionais comuns à substâncias como celulose, hemicelulose e lignina, que são os constituintes majoritários da casca de soja. Estas observações são análogas às descritas por Rouessac e Rouessac (2007) e Skoog *et al.* (1998).

### 3.2 Influência da Centrifugação

A Figura 2 apresenta a influência da centrifugação das amostras antes da quantificação do corante remanescente na solução (sobrenadante).



**Figura 2.** Dados experimentais das amostras em diferentes tempos de centrifugação ( $C_0 = 400\ mg\ L^{-1}$ ,  $D_p = 0,725\ mm$ , dosagem =  $6\ g\ L^{-1}$ ,  $100\ rpm$ ,  $pH\ 2$ ,  $30^\circ C$ ,  $42\ horas$ )

Foi observado na Figura 2 que a centrifugação das amostras do sobrenadante afeta o valor na quantificação por espectroscopia da absorbância ( $q_{eq}$ ) devido às partículas finas da casca de soja na amostra interferir na passagem do feixe de luz pela amostra.

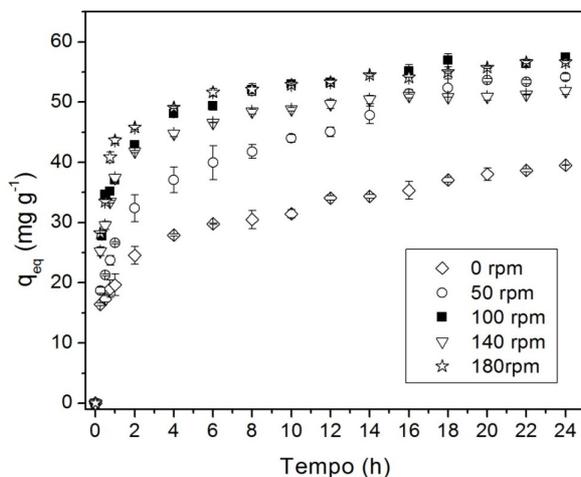
A centrifugação permitiu a retirada dos finos. O sobrenadante sem centrifugação apresentou uma absorbância do corante remanescente de 1,014 unidades, o qual corresponderia a um  $q_{eq}$  de  $59,924\ mg\ g^{-1}$ . Após 1 minuto de centrifugação o valor remanescente do corante reduziu a 0,555 unidades ( $63,482\ mg\ g^{-1}$ ).



Decorrido 2 minutos de centrifugação o remanescente atingiu 0,454 unidades ( $64,268 \text{ mg g}^{-1}$ ) e após 3 minutos apresentou uma concentração final entre 0,357 a 0,415 unidades ( $q_{eq}$  superiores a  $64,6 \text{ mg g}^{-1}$ ). A quantidade de corante adsorvida calculada a partir das absorvâncias demonstra a proporção do erro na interpretação dos resultados quando a amostra ainda possui particulados do adsorvente na amostra a ser quantificada. Sendo assim, o processo de centrifugação se apresenta viável para a remoção dos particulados da casca de soja em solução após 3 minutos de centrifugação a 3.000 rpm.

### 3.3 Análise Cinética da Velocidade de Agitação

A Figura 3 apresenta a cinética de adsorção do corante reativo azul BF-5G pela casca de soja *in natura* para diferentes velocidades de agitação em processo batelada.



**Figura 3.** Efeito cinético da velocidade de agitação na adsorção do corante pela casca de soja *in natura* ( $C_0 = 400 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $D_p = 0,725 \text{ mm}$ , dosagem =  $6 \text{ g L}^{-1}$ , pH 2,  $30^\circ\text{C}$ , 24 horas)

A Figura 3 demonstra que a velocidade de agitação influencia na quantidade adsorvida para o corante azul BF-5G ao longo do tempo. Foi observado que em rotações de valor igual ou acima de 100 rpm, a resistência a transferência de massa que ocorre na camada limite é eliminada não alterando na quantidade de corante adsorvida pela casca de soja.

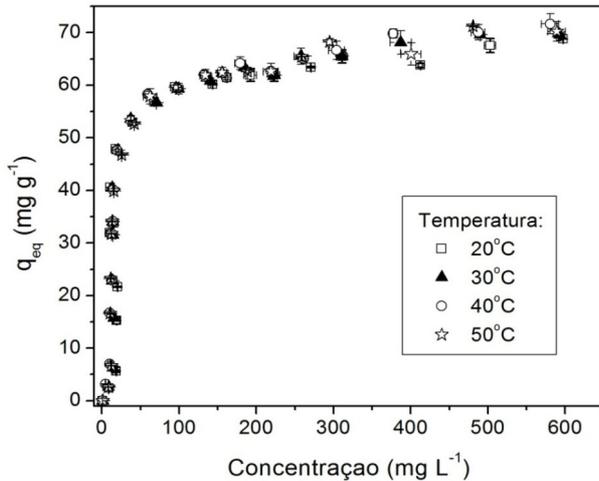
Entre o sistema não agitado e o com agitação de 50 rpm ocorreu uma variação relevante (25,2% a mais de remoção) na quantidade de

corante adsorvida em 24 horas, alcançando um  $q(t)$  de  $39,531 \text{ mg g}^{-1}$  e  $54,176 \text{ mg g}^{-1}$ , respectivamente. Contudo, mesmo com o aumento da quantidade de corante removida em sistema agitado a 50 rpm, este não atingiu o equilíbrio em 24 horas. Para rotações de valor igual ou acima a 100 rpm o equilíbrio do sistema foi atingido praticamente no mesmo tempo, equivalendo a um  $q_{eq}$  de  $57,473 \text{ mg g}^{-1}$  a 100 rpm. Não foram observadas diferenças relevantes na porcentagem de remoção e no  $q_{eq}$  para as cinéticas de adsorção nas rotações de 100, 140 e 180 rpm (inferiores 5,5% na remoção,  $q_{eq}$   $4 \text{ mg g}^{-1}$ ), sendo justificada a escolha do sistema agitado a 100 rpm no processo de adsorção de ambos os corantes, por requererem menos energia no sistema de operação e serem menos dispendiosos.

Segundo Kyzas *et al.* (2012), em seus estudos de adsorção de corantes em resíduo industrial de café sem pré-tratamento, a velocidade de agitação foi avaliada de 60 a 180 rpm,  $C_0 = 100 \text{ mg L}^{-1}$  com dosagem  $1 \text{ g L}^{-1}$ , por um período de 24 h na temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . Foi verificado que acima de 140 rpm, não há qualquer aumento na remoção e que para agitações mais baixas (60-80 rpm), ocorre aumento de adsorção, alcançando uma taxa limite em que não há nenhuma alteração significativa como para a casca de soja em rotações acima de 100 rpm.

### 3.4 Isotermas de Adsorção

A avaliação quantitativa do processo de adsorção foi realizada utilizando isotermas de adsorção conforme Figura 4, que expressam por sua vez a relação entre a quantidade de corante removido da fase líquida por unidade de massa do adsorvente em temperaturas distintas.



**Figura 4.** Dados experimentais das isotermas de adsorção do corante reativo azul 5G em temperaturas distintas ( $D_p = 0,725$  mm, dosagem =  $6 \text{ g L}^{-1}$ ,  $C_0 = 25\text{-}1000 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 2$ , 100 rpm, 24 horas)

As isotermas demonstraram que o processo de adsorção deste corante reativo pela casca de soja *in natura* apresentou pouca variação com a temperatura (menores que  $1 \text{ mg g}^{-1}$  até  $C_0 = 650 \text{ mg L}^{-1}$ ), caracterizados pela sobreposição dos valores dos dados experimentais nas concentrações remanescentes estudadas até  $300 \text{ mg L}^{-1}$ .

Os parâmetros de equilíbrio ajustados pelos modelos de isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich (Equações 03 e 04, respectivamente), para o corante reativo nas diferentes temperaturas avaliadas, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Modelos isotérmicos de Langmuir e Freundlich para ajuste dos dados experimentais de adsorção do corante reativo azul BF-5G com adsorvente casca de soja *in natura*.

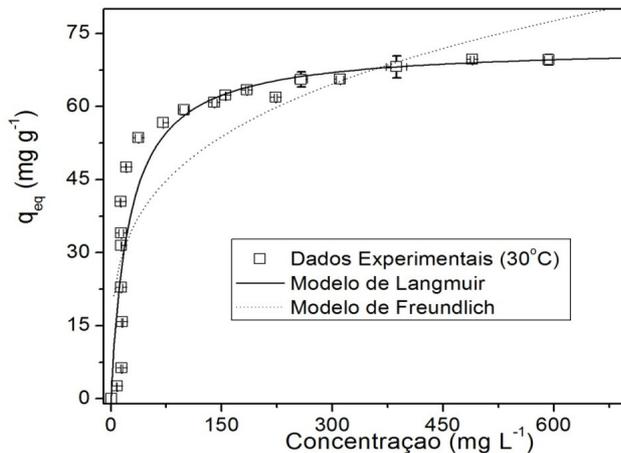
		Isoterma de Langmuir			Isoterma de Freundlich		
		$q_{\text{máx}}$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	$K_L$ ( $\text{L mg}^{-1}$ )	$R^2$	$K_F$ ( $\text{L g}^{-1}$ )	N	$R^2$
<b>20 °C</b>							
Valor	do	70,787±4,795	0,040±0,011	0,8913	14,335±3,451	3,788±0,654	0,8449
Parâmetro							
p-nível		$7,29 \cdot 10^{-12}$	$1,78 \cdot 10^{-3}$		$5,39 \cdot 10^{-4}$	$1,39 \cdot 10^{-5}$	
<b>30 °C</b>							
Valor	do	72,427±3,824	0,041±0,009	0,9312	14,220±3,120	3,691±0,566	0,8733
Parâmetro							
p-nível		$8,45 \cdot 10^{-14}$	$1,48 \cdot 10^{-4}$		$2,15 \cdot 10^{-4}$	$3,04 \cdot 10^{-6}$	
<b>40 °C</b>							
Valor	do	70,383±2,782	0,050±0,008	0,9609	15,330±7,171	3,825±1,360	0,8998
Parâmetro							
p-nível		$2,55 \cdot 10^{-16}$	$5,44 \cdot 10^{-6}$		$4,57 \cdot 10^{-2}$	$1,11 \cdot 10^{-2}$	
<b>50 °C</b>							
Valor	do	72,841±3,170	0,043±0,008	0,9522	14,407±2,942	3,695±0,529	0,8868
Parâmetro							
p-nível		$2,52 \cdot 10^{-15}$	$1,83 \cdot 10^{-5}$		$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-6}$	

Pode-se observar na Tabela 1 que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram melhores para o modelo de Langmuir em relação ao modelo de Freundlich em todas as temperaturas. As quantidades máximas adsorvidas atingiram valores acima de  $70 \text{ mg g}^{-1}$ , com nível de significância menor de 0,05.

As quantidades máximas adsorvidas demonstram não ser necessários gastos com energia para adequar a temperatura a fim de atingir uma melhor eficiência do sistema, possibilitando adsorver nas diferentes temperaturas do efluente no processo de tingimento, ou em temperatura ambiente de forma satisfatória. A Figura 5



apresenta os modelos isotérmicos e dados experimentais para a temperatura de 30°C.



**Figura 5.** Dados experimentais e modelos de Langmuir e Freundlich para a isoterma de adsorção na temperatura de 30°C ( $D_p = 0,725$  mm, dosagem =  $6 \text{ g L}^{-1}$ ,  $C_0 = 25\text{-}1000 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 2$ , 100 rpm, 24 horas)

A Figura 5 que representa os ajustes dos dados de equilíbrio experimentais destaca a isoterma de Langmuir como o melhor modelo. Para concentrações iniciais acima de  $110 \text{ mg L}^{-1}$ , o corante apresentou um comportamento tipo favorável, podendo ser observadas na Figura 5 pelos pontos experimentais com  $q_{eq}$  de aproximadamente  $15,9 \text{ mg g}^{-1}$ . Nas concentrações abaixo dos valores acima citados, o corante não apresentou comportamento característico do tipo favorável o que provavelmente contribuiu na redução dos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtidos no ajuste dos dados experimentais pelas isothermas (Tabela 1).

Mittal *et al.* (2006) em seus estudos de adsorção de Tartrazina em cinzas de fundo e grãos de soja tratados com peróxido de hidrogênio, verificou de acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que Langmuir foi o modelo que melhor descreveu o processo de adsorção da Tartrazina para ambos os adsorventes da mesma forma que a casca de soja *in natura* para o corante reativo no presente estudo. A quantidade máxima adsorvida ( $q_{m\acute{a}x}$ ) obtida pelo modelo de Langmuir com o aumento da temperatura foram de 10,1, 11,249, 12,601  $\text{mg g}^{-1}$  para o adsorvente cinzas de fundo nas temperaturas 30, 40 e 50 °C, respectivamente. Para o adsorvente grão de soja tratada, o  $q_{m\acute{a}x}$  foi de 21,291, 22,937, 24,625  $\text{mg g}^{-1}$  nas temperaturas 30, 40 e 50 °C, respectivamente

(Mittal *et al.*, 2006). Desta forma, pode-se observar que a casca de soja no presente estudo obteve melhores resultados quanto a máxima quantidade adsorvida do corante reativo.

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram investigados parâmetros de processo bem como as isothermas de adsorção do corante reativo azul BF-5G utilizando casca de soja como adsorvente. A caracterização da casca de soja por espectroscopia no infravermelho refletiu bandas de forte intensidade para os grupos hidroxila, água e ligações C-H, bem como estiramento da ligação C-O, presença de grupos carboxílicos e estiramento de ligações duplas entre carbonos, sendo estes, grupos funcionais comuns em celulose, hemicelulose e lignina presentes na casca de soja. O teste de centrifugação da amostra demonstrou ser suficiente o tempo de 3 minutos para a retirada dos particulados. A velocidade de agitação no processo de adsorção eliminou a resistência a transferência de massa em rotações acima de 100 rpm. As isothermas de adsorção para as temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C apresentaram pouca variação na faixa de concentração investigada, sendo adequadamente ajustados pelo modelo de isoterma de Langmuir. A capacidade máxima de adsorção obtida para a isoterma de 30 °C foi de  $72,427 \text{ mg g}^{-1}$ . A casca de soja demonstrou ser um adsorvente alternativo atrativo por ser um subproduto agroindustrial de pouco custo e boa capacidade adsorvente do corante.

## 5 REFERÊNCIAS

- AL-DEGS, Y. S.; EL-BARGHOUTH, M. I.; EL-SHEIKH, A. H.; WALKER, G. M. Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon. *Dyes and Pigments*, v. 77, p. 16–23, 2008.
- ALEMDAR, A.; SAIN, M. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues – Wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 1664–1671, 2008.
- BRITO, S. M. O.; ANDRADE, H. M. C.; SOARES, L. F.; AZEVEDO, R. P. Brazil nut shells as a new biosorbent to remove methylene blue and indigocarmine from aqueous solutions.



*Journal of Hazardous Materials*, v. 174, p. 84–92, 2010.

CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresource Technology*, v. 97, p. 1061–1085, 2006.

GAO, J.; WANG, J.; YANG, C.; WANG, S.; PENG, Y. Binary biosorption of Acid Red 14 and Reactive Red 15 onto acid treated okara: Simultaneous spectrophotometric determination of two dyes using partial least squares regression. *Chemical Engineering Journal*, v. 171, p. 967–975, 2011.

GIMBERT, F.; MORIN-CRINI, N.; RENAULT, F.; BADOT, P.; CRINI, G. Adsorption isotherm models for dye removal by cationized starch-based material in a single component system: Error analysis. *Journal of Hazardous Materials*, v. 157, p. 34–46, 2008.

GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. *Revista Química Nova*, v.23, n.1, p. 71–78, 2000.

HONORIO, J.F.; VEIT, M.T.; GONÇALVES, G.C.; FAGUNDES-KLEN, M.R. Biossorção utilizando casca de soja na remoção de corante têxtil. 9º Encontro Brasileiro de Adsorção e 1º Simpósio Ibero-Americano sobre Adsorção, 2012.

KARUPPUCHAMY, V.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Extrusion Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Soybean Hulls. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v.11–14, 2009.

KYZAS, G.; LAZARIDIS, N. K.; MITROPOULOS, A. Removal of dyes from aqueous solutions with untreated coffee residues as potential low-cost adsorbents: Equilibrium, reuse and thermodynamic approach. *Chemical Engineering Journal*, v.189–190, p.148–159, 2012.

LANGMUIR, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, v.40, p.1361–1403, 1918.

MAHMOODI, N. M.; HAYATI, B.; ARAMI, M.; LAN, C. Adsorption of textile dyes on *Pine Cone* from colored wastewater: Kinetic, equilibrium and

thermodynamic studies. *Desalination*, v.268, p.117–125, 2011.

MITTAL, A.; MITTAL, J.; KURUP, L. Adsorption isotherms, kinetics and column operations for the removal of hazardous dye, Tartrazine from aqueous solutions using waste materials—Bottom Ash and De-Oiled Soya, as adsorbents. *Journal of Hazardous Materials*, v. B136, p. 567–578, 2006.

NÚÑEZ, L.; GARCÍA-HORTAL, J. A.; TORRADES, F.. Study of kinetic parameters related to the decolorization and mineralization of reactive dyes from textile dyeing using Fenton and photo-Fenton processes. *Dyes and Pigments*, v.75, p.647–652, 2007.

PEARCE, C. I., LLOYD, J. R., GUTHRIE, J. T. The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *Dyes and Pigments*, v.58, p.179–196, 2003.

ROUESSAC, F.; ROUESSAC, A.. Chemical analysis – Modern Instrumentation Methods and Techniques. University of Le Mans, France. Ed. 2, Sons, 2007.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. Principles of Instrumental analysis. Harcourt brace & Company, ed.5, 1998.

TANYILDIZI, M. Ş. Modeling of adsorption isotherms and kinetics of reactive dye from aqueous solution by peanut hull. *Chemical Engineering Journal*, v.168, p.1234–1240, 2011.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, v.93, p.154–168, 2012.