USO DA CASCA DE ARROZ COMO ADSORVENTE NA REMOÇÃO DO CORANTE TÊXTIL VERMELHO REMAZOL 5R*

THE APPLICATION OF RICE HUSK AS ADSORVENT IN REMOVING THE TEXTILE DYE RED REMAZOL 5R

Ediani P. Costa **
Sirlane A. A. Santana ***
Hildo A. S. Silva ***
Cícero W. B. Bezerra ***
Mário S. Schultz ****

Resumo: A casca de arroz foi aplicada como biosorvente alternativo para remoção do corante têxtil Vermelho Remazol 5R de soluções aquosas. Visando obter as melhores condições de remoção deste corante, verificou-se a influência do pH, tempo de contato, concentração e temperatura. O estudo cinético foi realizado em duas concentrações e após o processo de adsorção a concentração de corante na solução foi determinada por espectrofotometria. Os resultados foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem e segunda ordem. O modelo de segunda ordem resultou no melhor ajuste com os dados experimentais para 100 mg/L (R2 = 0,999) e 250 mg/L (R2 = 0,999) com constantes de velocidade de adsorção, k2, de 0,021 e 0,010, g mg-1 min-1, respectivamente. Os modelos de Langmuir e Freundlich foram empregados para analisar os dados experimentais em sua forma linearizada. O primeiro modelo apresentou melhor adequação para a adsorção do corante Vermelho Remazol 5R com adsorção máxima de 10.2 mg/g em pH 2,0. Nas condições estudadas, a remoção do corante de soluções aquosas utilizando casca de arroz como adsorvente apresentou bons resultados, podendo este ser empregado como alternativa para o tratamento de efluentes têxteis.
Palavras-chave: Casca de Arroz. Corante têxtil. Adsorção.

Abstract: Rice husk was applied as an alternative biosorvent for aqueous Red Remazol 5R dye solutions. In order to obtain the best condition the natural sorbent was processed batchwise while varying several system parameters such as pH, stirring time, concentration and temperature. The kinetic study was conducted in two concentrations and after the adsorption process the concentration of dye solution was determined by spectrophotometry. The interactions were assayed with respect to both pseudo-first-order and second-order reaction kinetics. A second-order kinetic model resulted in the best fit with experimental data for 100 mg/L (R2 = 0.999) and 250 mg/L (R2 = 0.999), providing rate constants of sorption, k2, of 0.021 and 0.010 g mg-1 min-1, respectively. The Langmuir and Freundlich isotherm models were employed for adsorption analysis of the experimental data in their linearized forms. The first model resulted in the better fit for Red Remazol 5R dye, which presented maximum adsorption of 10.2 mg/g at pH 2.0.
Keywords: Rice Husk. Textile Dye. Adsorption.

1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental, definida como sendo a ação de contaminar as águas, solos e ar, é um dos problemas mais sérios enfrentados pela sociedade. Dentre estes podemos destacar a poluição da água, que segundo Daifullah et al. (2003), é um dos mais importantes problemas ambientais do mundo. A indústria têxtil é uma das responsáveis pelo aumento dessa poluição, pois as atividades empregadas nos processos envolvendo tingimento acabam gerando problemas devido à eliminação de rejeitos tóxicos, provenientes dos subprodutos gerados na indústria. Os efluentes dessas indústrias, se não tratados convenientemente antes de serem lançados em águas naturais, são capazes de atingir reservatórios e estações de água, sendo essa a preocupação ecológica mais emergente (IMMICH et al., 2009). Segundo Figueiredo et al. (2000), uma vez lançados em estuários, alguns corantes e seus produtos de degradação podem ser tóxicos e afetar as atividades de fotossíntese devido à redução da penetração da luz.

* Trabalho premiado durante o XXI Encontro do SEMIC realizado na UFMA entre os dias 17 e 19 de dezembro de 2009.
** Graduanda em Química/CCET/ UFMA. Bolsista PIBIC/UFMA.
*** Departamento de Química/CCET/UFMA. E-mail: sirlane@ufma.br
**** Instituto de Química. Núcleo de Pesquisas Ecológicas de Macaé - UFRJ

Em função dessa problemática, os métodos para a remoção de cor de efluentes industriais têm recebido uma atenção muito grande nos últimos anos. As principais técnicas disponíveis na literatura (GUARANTINI; ZANONI, 1999; SOUZA et al., 2007, SOUZA et al, 2006) para a descoloração das águas residuais envolvem principalmente processos de precipitação, degradação química e eletroquímica, biodegradação e adsorção. Dentre estes, Santos et al. (2008) reforçam que a técnica de adsorção vem se destacando gradativamente, por se tratar de um método eficiente, econômico, e de fácil manuseio, além de, em alguns casos, ser possível a recuperação do material adsorvido e a reutilização do adsorvente.

De acordo com Figueiredo et al. (2000), para um processo de adsorção eficiente deve-se levar em conta a escolha do adsorvente, que deve apresentar alta seletividade, alta capacidade e longa vida. Este deve também estar disponível em grandes quantidades e a um baixo custo. Os adsorventes de baixo custo têm sido investigados em escala laboratorial para o tratamento de efluentes coloridos com diferentes graus de eficiência. Vários estudos vêm avaliando a capacidade de adsorção de materiais como a quitosana (CHAVES et al., 2008; CRINI, 2006), bagaço de cana (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010), casca de coco babaçu (VIEIRA et al., 2009), casca de coco da baia (SANTOS et al., 2008) e outros resíduos celulósicos (CRINI, 2005).

A palha de arroz foi escolhida por constituir um grande passivo ambiental (PENHA, 2008). Daifullah et al. (2003) estimam que anualmente são produzidos 500 milhões de toneladas de arroz nos países em desenvolvimento, gerando uma grande quantidade de resíduo oriundo de suas cascas, após o beneficiamento do mesmo. Assim, com o objetivo de contribuir para o aproveitamento desse material e, ao mesmo tempo, torná-lo útil para a remoção de poluentes em ambientes aquáticos, neste trabalho investiga-se a eficiência da casca de arroz na remoção do corante têxtil Vermelho Remazol 5R em solução aquosa.

2 EXPERIMENTAL

2.1 materiais e métodos

O corante têxtil Vermelho Remazol 5 R (Figura 1) foi fornecido pela Indústria Toalha de São Carlos, localizada na cidade de São Paulo, e foi utilizado sem purificação prévia (VIEIRA et al., 2009) na forma de solução aquosa.

A casca de arroz, adquirida em Itapecurú-Maranhão, foi triturada em moinho de bolas, modelo Puverizete 14, da Fritsch e, em seguida, peneirada para obtenção da granolumetria, correspondente a faixa de 0,088 - 0,177 mm. Estas frações foram lavadas com água desionizada por diversas vezes, até condutividade constante. Em seguida, foi seco em estufa a 50°C por 5 h.

Nos experimentos adsortivos, para assegurar a agitação constante, foi empregada uma bandeja de agitação marca MLV. Para a determinação espectrofotométrica dos corantes foi utilizado um espectrofotômetro Shimadzu, modelo UV-Vis 2550, cubeta de quartzo de 1,0 cm de caminho óptico. A verificação e controle do pH foram realizadas em um pHmetro PHTEK, modelo pH-100 e para as pesagens uma balança Bioprecisa, modelo FA 2104N, com precisão de 10-4 unidades.

2.2 Ponto zero de carga

O pH no ponto zero de carga da casca de arroz foi estimado por medidas diretas do pH de soluções padrão (pH entre 1 -12, HCl/KCl e NaOH/KCl, força iônica constante e igual a 1), antes e após o contato com os sólidos (VIEIRA et al, 2009). As análises foram conduzidas da seguinte forma: 100,0 mg do adsorvente foram equilibrados com 20,0 mL das respectivas soluções de pH, por um período de 24 h. Ao final deste tempo, as amostras foram filtradas e registrados os pH´s. O pHzpc foi estimado por método gráfico: pHi x ΔpH, onde pHi representa o pH inicial das soluções, antes do contato com os materiais e o ΔpH é a variação deste parâmetro após o tempo de contato com os sólidos (ΔpH = pHi – pHf).

2.3 Influência do pH

O pH é um importante fator controlador do processo de adsorção (IMMICH et al., 2009). Visando encontrar o pH mais adequado para remoção do corante Vermelho Remazol 5R, foi investigada a eficiência na adsorção variando o pH da solução entre 1 e 11, mediante ajustes com soluções tampão. Para este estudo, 100,0 mg do adsorvente foram pesados e colocados em suspensão por 24h em 20,0 mL de uma solução de 100,0 mg/L do corante, no pH desejado. Após este período, a mistura foi centrifugada, e as concentrações das soluções sobrenadantes foram determinadas por espectrofotometria na região do visível.

2.4 Adsorção

O estudo de cinética foi conduzido em sistema de batelada. Foram pesados 100,0 mg do adsorvente em uma série de frascos de polietileno e os mesmos foram colocados em contato com 20,0 mL de solução do corante Vermelho Remazol 5R em duas concentrações diferen-

tes: 100 e 250 mg/L, em pH 2,0, previamente estabelecido pelo estudo do pH, como sendo aquele com maior adsorção do corante. Os frascos foram deixados em agitação constante variando o tempo de contato entre 5 e 180 min. Em seguida, a mistura foi centrifugada e suas concentrações residuais foram determinadas por espectrofotometria de uv-visível.

As curvas de adsorção, também conhecidas como isotermas, foram obtidas colocando-se em contato 100,0 mg do adsorvente com 20,0 mL da solução do corante vermelho, com concentrações variando entre 50 a 700 mg/L, em pH 2,0. Todos os ensaios foram deixados em agitação constante, no tempo de equilíbrio de 60 min., previamente estabelecido pelo estudo cinético. Logo após a mistura foi centrifugada e registrados os espectros eletrônicos das soluções sobrenadantes. As quantidades adsorvidas foram calculadas através da equação 1:

$$q_e = [(C_i - C_{eq}).V] / m \qquad \text{Eq. 1}$$

Onde, qe é a quantidade adsorvida por massa de adsorvente (mg/g); Ci, concentração inicial do adsorvato (mg/L); Ceq, concentração do adsorvato no equilíbrio (mg/L); V, volume da solução empregado na adsorção (L); m é a massa do adsorvente (g).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito do pH e ponto zero de carga

Segundo Elliott e Huang (1981), a eficiência dos processos de adsorção é fortemente dependente do pH, o qual afeta a carga superficial do adsorvente, bem como o grau de ionização e as espécies do adsorvato. Portanto o sistema aqui proposto foi investigado numa ampla faixa de pH.

A Figura 2 ilustra a eficiência do processo de adsorção da casca de arroz frente ao corante Vermelho Remazol 5R em função do pH. Conforme pode ser observado, a eficiência do processo é maior em pH 2,0. Este resultado é justificado pelo valor do pHzpc do sólido, cujo gráfico é mostrado na Figura 3, cujo valor de pHzpc é igual a 5,3. Neste pH, as quantidades líquidas de cargas positivas e negativas na superfície do material se igualam e, portanto, abaixo desse pH entende-se que a superfície do sólido esteja protonada, e que deve favorecer a adsorção do corante, pois se trata de um composto aniônico (Fig. 1). Com o aumento do pH, há uma diminuição do número de sítios protonados no sólido, com conseqüente diminuição na eficiência da adsorção.

Uma vez que os corantes apresentam vários grupos funcionais, destacando-se os grupos sulfonados carregados negativamente, é possível que a interação do corante com a superfície do adsorvente aconteça via grupos protonados do sólido com os grupamentos aniônicos do corante.

Essa forte dependência de pH na adsorção de corantes foi reportada por Arami et al. (2006) para corantes diretos e ácidos, em casca de soja, onde a adsorção máxima também ocorreu em pH 2.0. Resultados similares foram reportados por Santos et al. (2008) e Vieira et al. (2009) para adsorção de corantes aniônicos por mesocarpo de coco verde e mesocarpo de coco babaçu, respectivamente. Do mesmo modo, pH 2,0 foi onde se observou melhores resultados para adsorção de corantes ácido amarelo 36 (MALIK, 2003) e vermelho congo em carvão ativado (NAMASIVAYAM; KAVITHA, 2002), preparado a partir de resíduos lignocelulósicos.

3.2 Cinética de adsorção

Na figura 4 apresentam-se os resultados da capacidade de adsorção da casca de arroz em função do tempo de contato para o corante Vermelho Remazol 5R em duas concentrações diferentes: 100 e 250 mg/L. Podemos observar que em ambas as concentrações, o tempo de equilíbrio para a adsorção é de aproximadamente 60 min., o que indica que a concentração do adsorvato não influenciou no tempo de equilíbrio.

Os dados experimentais da cinética de adsorção foram analisados usando-se os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e segunda ordem, dadas pelas equações 2 e 3, respectivamente (HO; MCKAY, 1999).

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - (k_1/2{,}303)t \qquad \text{Eq. 2}$$

$$t/q_t = 1/(k_2 q_e^2) + (1/q_e)t \qquad \text{Eq. 3}$$

Onde qe é a quantidade adsorvida no tempo de equílibrio; qt é a quantidade adsorvida no tempo t; k1 é a constante de velocidade de primeira ordem e k2 a constante de velocidade de segunda ordem.

A validação dos modelos foi verificada pelo gráfico linear de log ($q_e - q_t$) versus t para a equação de pseudo-primeira ordem, e t/qt versus t para segunda ordem (SOUSA et al., 2007). Uma melhor linearidade foi obtida para o modelo de segunda ordem, como mostra a Figura 5. Esta tendência também tem sido reportada por Ho (2006), para adsorção de corantes por vários adsorventes não convencionais. O valor do coeficiente de correlação, R = 0,999, além

da concordância entre a quantidade máxima adsorvida estimada e experimental, confirmam a perfeita correlação entre o modelo de segunda ordem e os resultados experimentais. Todos os parâmetros cinéticos calculados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros cinéticos para o corante Vermelho Remazol 5R, frente ao adsorvente casca de arroz, obtidos com a equação de pseudo-primeira ordem e segunda ordem

Concentração	Pseudo-primeira ordem			Segunda ordem		
	$q_{e,exp}$ / $q_{e,cal}$ (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	$q_{e,exp}$ / $q_{e,cal}$ (mg/g)	k_2 (g/mg min^{-1})	R^2
100 mg/L	8,0 / 10,8	-0,067	0,921	8,0 / 8,2	0,021	0.999
250 mg/L	21,5 / 1,4 x 10^6	-0,111	0,769	21,5 / 21,8	0,010	0,999

3.3 Isoterma de Adsorção

Os modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich foram avaliados para os experimentos em solução aquosa, sob condições de equilíbrio, em pH 2,0. Segundo Peruch (2001), a isoterma de Langmuir é válida para a adsorção em monocamada numa superfície que contém um número fixo e definido de sítios, ou seja, é válida para processos de adsorção química.

Este modelo pode ser representado pela seguinte equação:

$$q_e = K_L C_e q_m/(1+K_L C_e) \qquad \text{Eq. 4}$$

Onde qe é a quantidade de soluto adsorvido na fase sólida (mg/g); Ce é a concentração de equilíbrio do soluto na fase fluida (mg/L); qm é a quantidade máxima de soluto adsorvido para uma monocamada completa (mg/g) e KL é a constante de equilíbrio de adsorção (L/mg) ou constante de Langmuir.

A forma linear da isoterma de Langmuir, Eq. 5, é empregada para determinar os valores de KL e qm, os coeficientes linear e angular, respectivamente, obtidos do gráfico de Ce/qe versus Ce:

$$C_e/q_e = 1/(K_L q_m) + C_e/q_m \qquad \text{Eq. 5}$$

Segundo Fritz e Schlünder (1981), a isoterma de Freundlich considera a adsorção em multicamadas e é útil para descrever a adsorção em superfícies heterogêneas, não considerando as interações entre as moléculas, e é geralmente aplicada aos processos de adsorção física. É definida pela seguinte expressão:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \qquad \text{Eq. 6}$$

Onde Kf e n são constantes relacionadas à capacidade de adsorção e intensidade de adsorção, respectivamente, e são características para cada sistema, e os demais termos foram anteriormente definidos. Essa expressão pode ser obtida na forma linear, aplicando a forma logarítmica na equação 6:

$$ln\ q_e = ln\ K_f + (1/n)\ ln\ C_e \qquad \text{Eq. 7}$$

A curva obtida para a adsorção do corante Vermelho de Remazol 5R frente a casca de arroz é mostrada na figura 6. Pelo formato inicial do gráfico, observa-se que há afinidade entre o corante e o adsorvente casca de arroz. Do ponto de vista estrutural, a palha de arroz contém um largo número de grupos funcionais protonáveis (PENHA, 2008), e como o mecanismo de adsorção sugerido envolve interação entre a superfície protonada do sólido e os grupos sulfônicos do corante, quanto maior o número de grupos ativos protonáveis, melhor a interação entre adsorvente/adsorvato, em condições adequadas de pH.

Os ajustes lineares para os modelos de Langmuir e Freundlich são mostrados nas Figuras 7 e 8, respectivamente. Na Tabela 2 estão resumidos os principais parâmetros referentes a esses ajustes.

Comparando os valores dos coeficientes de correlação para ambos os modelos, verificam-se que os valores mais proximos da unidade são da isoterma de Langmuir, implicando que a tendência do processo de adsorção segue esse modelo. Mohamed (2004), na adsorção de corante ácido por carvão ativado preparado com casca de arroz, encontrou que o modelo de Langmuir foi o que melhor se ajustou. Entretanto, Malik (2003) e Bhattacharyya e Sharma (2003) relataram que tanto Langmuir e Freundlich podem ser usados para representar as tendências de

adsorção do corante ácido amarelo 36, quando adsorvido pelo carvão ativado preparado da casca de arroz e Brilliant Green frente a folhas de Neem, respectivamente.

4 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a palha de arroz é um efetivo adsorvente para remoção do corante têxtil Vermelho Remazol 5R de soluções aquosas. Um decréscimo no pH da solução afeta fortemente o processo de adsorção alcançando um valor máximo em pH 2,0. Isto é justificado pelo valor de pHpzc do sólido, que foi 5,3, indicando que a adsorção deve envolver preferencialmente a interação entre os sítios protonáveis do sólido e os grupos sulfônicos do corante. A adsorção foi ajustada a sistemas de Langmuir e os dados cinéticos seguiram o modelo de segunda ordem. A eficiência do adsorvente na remoção do corante de solução aquosa foi expressiva dentro da faixa de concentração de 50 a 700 mg/L, com dose de adsorvente de 5 g/L, a pH 2,0, no tempo de equilíbrio de 60 minutos.

Tabela 2 - Parâmetros obtidos segundo a equação da isoterma de Langmuir e Freundlich para o corante Vermelho Remazol 5R frente à casca de arroz

Langmuir			Freundlich		
q_m (mg/g)	K_L	R^2	n	K_f	R^2
10,2	0,022	0,995	3,60	1,79	0,966

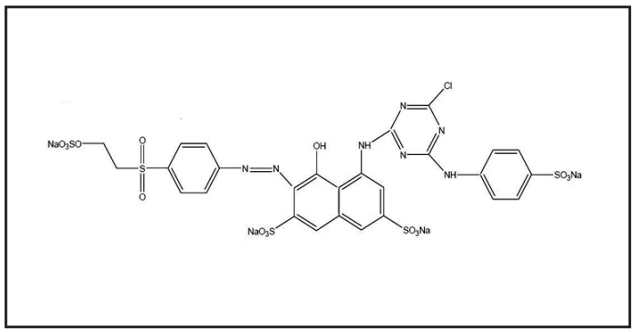


Figura 1 - Estrutura química do corante têxtil

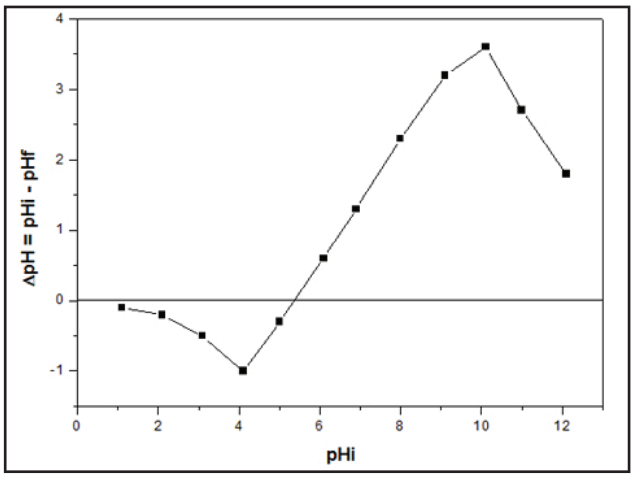


Figura 3 - Ponto zero de carga da casca de arroz

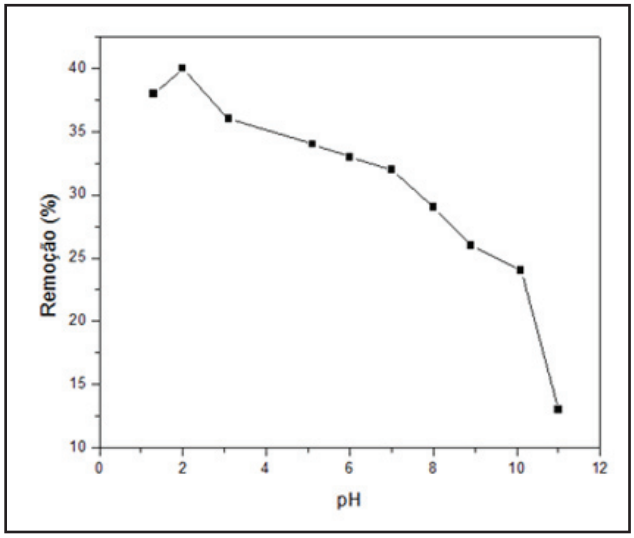


Figura 2 - Quantidade adsorvida do corante Vermelho Remazol 5R frente à casca de arroz em função do pH

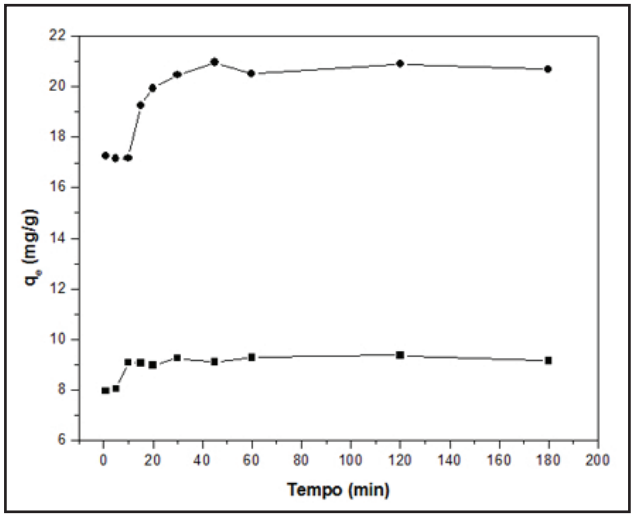


Figura 4 - Cinética de adsorção do corante Vermelho Remazol 5R sobre o sólido casca de arroz a (■) 100 mg/L e (•) 250 mg/L

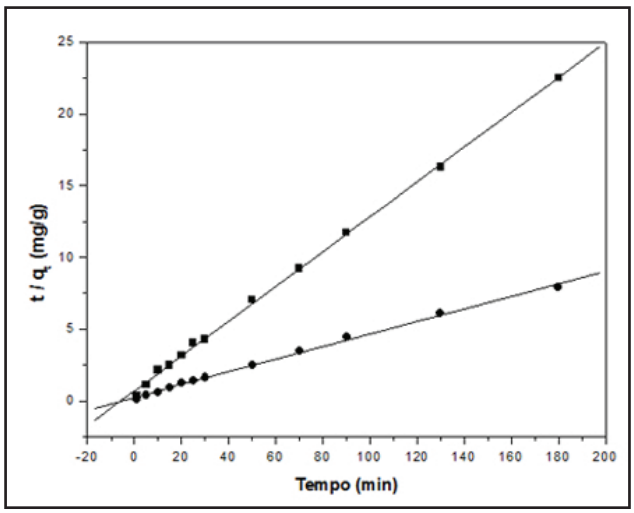


Figura 5 - Gráfico cinético de segunda ordem para adsorção do corante Vermelho Remazol 5R sobre o sólido casca de arroz a (■) 100 mg/L e (•) 250 mg/L

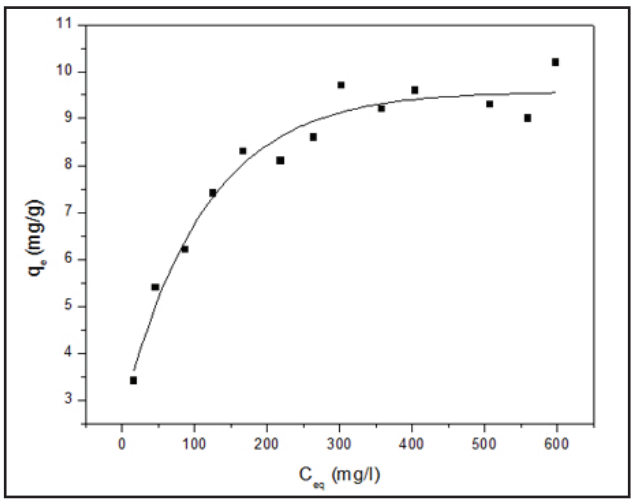


Figura 6 - Isoterma de adsorção para o corante Vermelho Remazol 5 R frente ao adsorvente casca de arroz

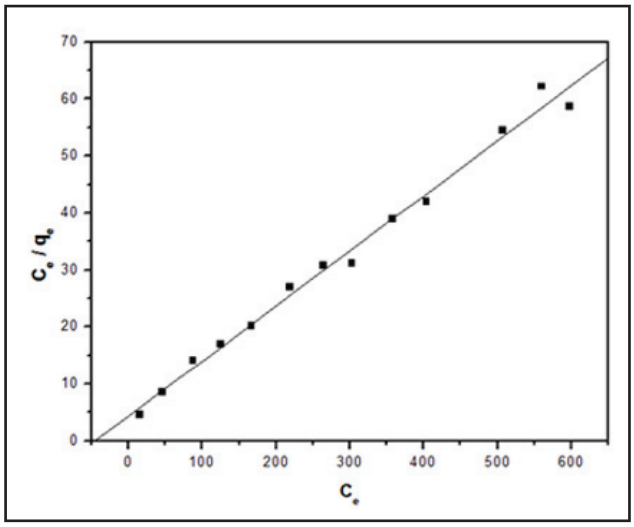


Figura 7 - Forma linearizada da Isoterma de adsorção do corante Vermelho Remazol 5 R frente ao adsorvente casca de arroz de acordo com o modelo de Langmuir

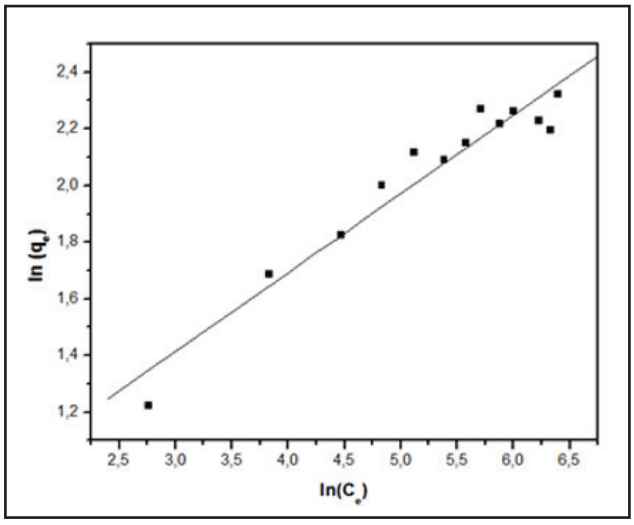


Figura 8 - Forma linearizada da Isoterma de adsorção do corante Vermelho Remazol 5 R frente ao adsorvente casca de arroz de acordo com o modelo de Freundlich

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, a Indústria Toalha de São Carlos pela doação da amostra do corante e ao Laboratório de Pesquisa de Química Inorgânica e Analítica.

REFERÊNCIAS

ARAMI, M.; LIMA E.E.N.; MAHMOODIA, N.; TABRIZI, N. Equilibrium and kinetics studies for the adsorption of direct and acid dyes from aqueous solution by soy meal hull. *Journal of Hazardous Materials B135*, p. 171-179, 2006.

BHATNAGAR, A.; SILLANPAA, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. *Chemical Engineering Journal* 157, p. 277–296, 2010.

BHATTACHARYYA, K.; SHARMA, A. Adsorption characteristics of the dyes, brilliant green, on neem leaf powder. *Dyes and Pigments* 57, p. 211-222, 2003.

CHAVES, J.A.P.; SOUSA, A.G.; BEZERRA, C.W.B.; SILVA, H.A.S.; SANTANA, S.A.A.; VIEIRA, A.P.; SCHULTZ, M. S. Isotermas de adsorção de diferentes corantes têxteis sobre a quitosana. *Química no Brasil* 2, p. 37-40, 2008.

CHAVES, J.A.P.; VIEIRA, A.P.; SILVA, H.A.S.; SANTANA, S.A.A.; SOUSA, A.G.; BEZERRA, C.W.B. Remoção do corante têxtil turquesa G 133% remazol de soluções aquosas por quitosana: cinética, termodinâmica e isoterma. *Revista Inovação* 08, p. 49-52, 2008.

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

CRINI, G. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *Progress in Polymer Science* 30, p. 38-70, 2005.

DAIFULLAH, A.A.M.; GIRGIS, B.S.; GAD, H.M.H. Utilization of agro-residues (rice husk) in small waste water treatment plans. *Materials Letters* 57, p. 1723–1731,2003.

ELLIOTT, H.A.; HUANG, C.P. Adsorption characteristics of some Cu(II) complexes on alumino silicates. *Water Research* 15, p. 849–854, 1981.

FIGUEIREDO, S.A.; BOAVENTURA, R.A.; LOUREIRO, J.M. Color removal with natural adsorbents: modeling, simulation and experimental. *Separation and Purification Technology* 20, p. 129-141, 2000.

FRITZ, W.; SCHLÜNDER, E.U. Competitive adsorption of two dissolved organics onto activated carbon-I: Adsorption equilibria. *Chemical engineering science* 36, p. 731-741,1981.

GUARANTINI, C.C.I.; ZANONI, M.V.B. Corantes Têxteis. *Química Nova* 23, p. 71–78, 1999.

HO, Y.S. Review of second-order models for adsorption systems. *Journal of Hazardous Materials* B136, p. 681–689, 2006.

HO, Y.S.; MCKAY, G. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry* 34, p. 451-465, 1999.

IMMICH, A.P.S.; SOUZA, S.M.A.G.U.; SOUZA, A.A.U. Adsorption of Remazol Blue RR from textile effluents using Azadirachta indica leaf powder as an alternative adsorbent. *Adsorption Science & Technology* 27, p. 461-478, 2009.

MALIK, P.K. Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of acid Yellow 36. *Dyes and Pigments* 56, p. 239-249, 2003.

MOHAMED, M.M. Acid dye removal: comparison of surfactant modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk. *Journal of Colloid and Interface Science* 272, p. 28-34, 2004

NAMASIVAYAM, C.; KAVITHA, D. Removal of Congo Red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith, an agricultural solid waste. *Dyes and Pigments* 54, p. 47-58, 2002.

PENHA, R.S. *Casca de Arroz como adsorvente para íons de metais pesados*: caracterização e modificação química. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2008.

PERUCH, M.G.B. *Adsorção de corantes têxteis em solução aquosa sobre carvão ativado e alumina ativada*. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SANTOS, D.O.; SANTANA, S.A.A.; BEZERRA, C.W.B.; OLIVEIRA FILHO, J.R.; SILVA, H.A.S.; MOUCHREK FILHO. Remoção de corantes têxteis por mesocarpo de coco verde. *Mens Agitat* 3, p. 9-16, 2008.

SOUZA, A.A.U.; MELO, A.R.; SOUZA, S.M.A.G.U. Re-utilisation conditions of wastewaters from textiles industries, resources. *Conservation and Recycling* 49, p. 1-13, 2006.

SOUSA, F.W.; MOREIRA, S.A.; OLIVEIRA, A.G.; CALVALCANTE, R.M.; NASCIMENTO, R.F.; ROSA, M.F. Uso da casca de coco verde como adsorbente na remoção de metais tóxicos. *Química Nova* 30, p. 1153-1157, 2007.

SOUZA, S.M.A.G.U.; FORGIARINI, E.;SOUZA, A.A.U. Toxicity and degradation of textile dyes by the enzyme horseradish peroxidase (HRP). *Journal of Hazardous Material* 147, p. 1073–1078, 2007.

VIEIRA, A.P.; SANTANA, S.A.A.; BEZERRA, C.W.B.; SILVA, H.A.S.; CHAVES, J.A.P.; MELO, J.C.P.; SILVA FILHO, E.C.; AIROLDI, C. Kinetics and thermodynamics of textile dye adsorption from aqueous solutions using babassu coconut mesocarpo. *Journal of Hazardous Materials* 166, p. 1272–1278, 2009.