

CINÉTICA DE ADSORÇÃO DO CORANTE AMARELO TARTRAZINA POR UMA ESPONJA MEGAPOROSA DE QUITOSANA

V. M. Esquedo¹; J. B. Silva¹; T. M. Quintana¹; G. L. Dotto²; L. A. A. Pinto¹

1 - Escola de Química e Alimentos – Universidade Federal do Rio Grande
Rua Eng. Alfredo Huch, 475 – CEP: 96201-900 – Rio Grande – RS – Brasil.

Telefone: (053) 3233-8648 – Email: dqmpinto@furg.br

2 - Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de Santa Maria
Avenida Roraima, 1000 – CEP: 97105-900 – Santa Maria – RS – Brasil

Email: guilherme_dotto@yahoo.com.br

RESUMO: Neste estudo, a cinética de adsorção do corante amarelo tartrazina por uma esponja de quitosana foi estudada. A esponja foi obtida e caracterizada. As curvas cinéticas foram obtidas em diferentes taxas de agitação e concentrações iniciais de corante. Os modelos de Pseudo primeira-ordem, Pseudo segunda-ordem, Elovich e Avrami foram ajustados aos dados experimentais. Os resultados mostraram que a esponja de quitosana apresentou uma estrutura megaporosa, com diâmetro de poros na ordem de 50–200 μm . A adsorção foi favorecida pelo aumento da taxa de agitação e da concentração inicial de corante. O modelo de Avrami representou satisfatoriamente os dados experimentais na faixa estudada. A máxima capacidade de adsorção estimada pelo modelo de Avrami foi de 596,9 mg g^{-1} .

PALAVRAS-CHAVE: Avrami; capacidade de adsorção; megaporos.

ABSTRACT: In this work, the adsorption kinetics of tartrazine on a chitosan sponge was studied. The sponge was obtained and characterized. The effects of stirring rate and initial dye concentration on the kinetic curves were evaluated. The models of Pseudo first-order, Pseudo second-order, Elovich and Avrami were fitted with the experimental data. The results showed that the chitosan sponge has a megaporous structure with pore diameters in the range of 50–200 μm . The adsorption was favored at high stirring rates and initial dye concentrations. It was found that the Avrami model was suitable to represent the experimental data. The maximum adsorption capacity obtained from this model was 596,9 mg g^{-1} .

KEYWORDS: Avrami; adsorption capacity; megaporous.

1. INTRODUÇÃO

As indústrias de alimentos utilizam corantes alimentícios em seus produtos com o intuito de deixá-los mais atrativos comercialmente (FDA, 2014). Como resultado, grande quantidade destes corantes é descartada juntamente as águas residuais, gerando efluentes coloridos (Crini e Badot, 2008). A coloração de efluentes industriais é esteticamente inaceitável e também causa limitações na capacidade de reoxigenação da água, reduzindo a atividade fotossintética do sistema aquático e causando toxidades agudas e crônicas

(Gupta e Suhas, 2009). Além disso, alguns corantes sintéticos podem causar riscos à saúde humana, sendo tóxicos, cancerígenos e mutagênicos (Koprivanac e Kusic, 2008). Assim, a busca por métodos de remoção destes compostos coloridos dos efluentes é de suma importância tanto do ponto de vista ambiental como para a saúde humana.

Nesse contexto a adsorção ganha destaque devido a suas vantagens como baixo custo, fácil operação e eficiência na remoção de corantes de efluentes (Demirbas, 2009). A quitosana, que é um biopolímero biodegradável, hidrofílico e não



tóxico, o qual é obtido a partir da desacetilação alcalina da quitina, vem ganhando destaque na literatura como um adsorvente alternativo para a remoção de corantes de meios aquosos (Wan Ngah *et al.*, 2011; Crini e Badot, 2008). Normalmente a quitosana é utilizada na forma de pó, o que gera aspectos negativos para utilização como adsorvente, já que nesta forma ela possui baixa área superficial, baixa porosidade e dificuldade de separação das fases após a adsorção (Crini e Badot, 2008). Assim, torna-se interessante o desenvolvimento de materiais porosos a base de quitosana (Mirmohseni *et al.*, 2012).

Para o estudo de um processo de adsorção, ensaios cinéticos são de fundamental importância, pois, fornecem informações sobre a velocidade das reações, controla a eficiência do processo e demonstra quais os fatores que influenciam a taxa de reação (Dotto e Pinto 2011). Geralmente a cinética de adsorção é descrita por modelos de reação ou modelos baseados no fenômeno de transferência de massa (Piccin *et al.*, 2011).

Neste trabalho a cinética de adsorção do corante amarelo tartrazina (AT) por uma esponja megaporosa de quitosana foi estudada. A esponja megaporosa foi produzida e caracterizada. Foram verificadas as influências da concentração inicial de corante (50, 200 e 400 mg L⁻¹) e da taxa de agitação (50 e 150 rpm) na cinética de adsorção. Foram ajustados os modelos cinéticos de Pseudo primeira-ordem (PPO), Pseudo segunda-ordem (PSO), Elovich e Avrami para representar os dados experimentais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Adsorbato

Foi utilizado como adsorbato o azo-corante amarelo tartrazina (índice de cor 19140, massa molar de 534,4 g mol⁻¹, tamanho molecular de 18 Å e comprimento de onda de máxima absorção 425 nm). O corante foi fornecido pela indústria Plury Química Ltda. (Brasil) e possuía grau de pureza de 85%. A sua estrutura química está apresentada na Figura 1.

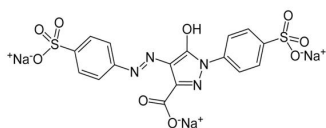


Figura 1. Estrutura química do corante amarelo tartrazina.

2.2. Obtenção e caracterização da esponja de quitosana

Primeiramente, a quitina foi obtida de resíduos de camarão (*Penaeus brasiliensis*) pelas etapas de desmineralização, desproteínização e desodorização. Após, a sua conversão em quitosana foi realizada através de uma reação de desacetilação seguida de purificação, e secagem em leito de jorro (Weska *et al.*, 2007; Doto *et al.*, 2011). Ao final deste processo obteve-se a quitosana em pó.

A quitosana em pó foi caracterizada quanto a sua massa molar pelo método viscosimétrico, como se segue: amostras de quitosana foram dissolvidas em solução de ácido acético 0,1 mol L⁻¹, cloreto de sódio 0,2 mol L⁻¹ e água. A viscosidade das amostras foi medida em um viscosímetro capilar (Schott Geratte, GMBH-D65719, Alemanha), em cinco concentrações diferentes (0,001 e 0,012 g mL⁻¹). A massa molar viscosimétrica média foi calculada com base no valor de viscosidade intrínseca utilizando a equação de Mark-Houwink-Sakurada (Gupta e Jabrial, 2006). O grau de desacetilação foi obtido por análise de infravermelho a partir das absorvâncias dos grupos OH e C=O, como descrito detalhadamente por Cervera *et al.* (2004).

A esponja de quitosana foi elaborada solubilizando-se a quitosana em pó (2% p/v) em ácido acético (1% v/v). A solução obtida foi agitada por 24 h à temperatura ambiente e em seguida, homogeneizada em agitador mecânico (Dremel, 1100-01, Brasil) por 5 min a 10000 rpm. Posteriormente a solução foi levada a um ultra-freezer (Indrel, IULT 90-D, Brasil) por 48 horas a 193 K (-80°C) e então liofilizada (Liobras, L108, Brasil) por 48 h à 219 K (-54°C). As características texturais da esponja obtida após liofilização foram observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Jeol, JSM-6060, Japão) e, utilizou-se análise de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) para identificar os grupamentos funcionais presentes da esponja.

2.3. Ensaios cinéticos

Primeiramente foram preparadas soluções de corante com diferentes concentrações iniciais (50, 200 e 400 mg L⁻¹). Essas soluções foram preparadas através da diluição de diferentes massas de corante amarelo tartrazina em água destilada. O pH da solução foi corrigido (pH=6,0) através da adição de tampão fosfato dissódico/ácido cítrico



0,1 mol L⁻¹. Então, 250 mg de esponja de quitosana foram adicionadas em 1 L de solução de corante.

Os experimentos foram realizados em um agitador termostatizado (Innova 44, New Brunswick Scientific, EUA) a 25°C, sob agitação (50 e 150 rpm). Alíquotas foram retiradas em intervalos de tempo pré-determinados (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 min) (Dotto e Pinto, 2011). A concentração do corante foi determinada por espectrofotometria (Quimis, Q108, Brasil). Todos os experimentos foram realizados em triplicata e testes de branco foram realizados. A capacidade de adsorção no tempo “t” (q_t) (mg g⁻¹) foi determinada pela Equação 1:

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} V \quad (1)$$

onde, C₀ é a concentração inicial de corante na fase líquida (mg L⁻¹), C_t a concentração de corante no tempo “t” (mg L⁻¹), m é a massa de adsorvente (g) e V o volume total da solução (L).

2.4. Modelos cinéticos

Para verificar o comportamento da adsorção ao longo do tempo, e também definir um modelo apropriado para representar o processo, foram utilizados os modelos cinéticos de Pseudo primeira-ordem (PPO), Pseudo segunda-ordem (PSO), Elovich e Avrami, conforme as Equações 2, 3, 4 e 5 (Lopes *et al.*, 2003; Qiu *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2009):

$$q_t = q_1(1 - \exp(-k_1 t)) \quad (2)$$

$$q_t = \frac{t}{(1/k_2 q_2^2) + (t/q_2)} \quad (3)$$

$$q_t = \frac{1}{a} \ln(1 + abt) \quad (4)$$

$$q_t = q_{AV}(1 - \exp(-k_{AV} t)^n) \quad (5)$$

onde, q₁ é o valor teórico da capacidade de adsorção do modelo de PPO (mg g⁻¹), k₁ é a constante cinética de pseudo primeira-ordem (min⁻¹), k₂ é a constante cinética de pseudo segunda-ordem (g mg⁻¹min⁻¹), q₂ é o valor teórico da capacidade de adsorção do modelo de PSO, ‘a’ é a

velocidade inicial devido (dq/dt)=a, quando q_t=0 (mg g⁻¹ min⁻¹), ‘b’ é a constante de dessorção do modelo de Elovich (g mg⁻¹), k_{AV} é a constante cinética de Avrami (min⁻¹), q_{AV} é a capacidade teórica de adsorção de Avrami (mg g⁻¹) e n é o expoente fracionário.

Os parâmetros cinéticos foram estimados por regressão não linear com auxílio do software Statística 7.0 (Statsoft, EUA). A qualidade dos ajustes foi avaliada mediante ao coeficiente de determinação (R²), coeficiente de determinação ajustado (R²_{adj}) e erro médio relativo (EMR).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da esponja

A massa molar e o grau de desacetilação do pó de quitosana utilizado para a elaboração da esponja foram de 149±3 kDa e 85±1% respectivamente. Segundo a literatura, com estas características pode-se dizer que a quitosana em pó é adequada para a obtenção de materiais a base de quitosana (Dotto *et al.*, 2013).

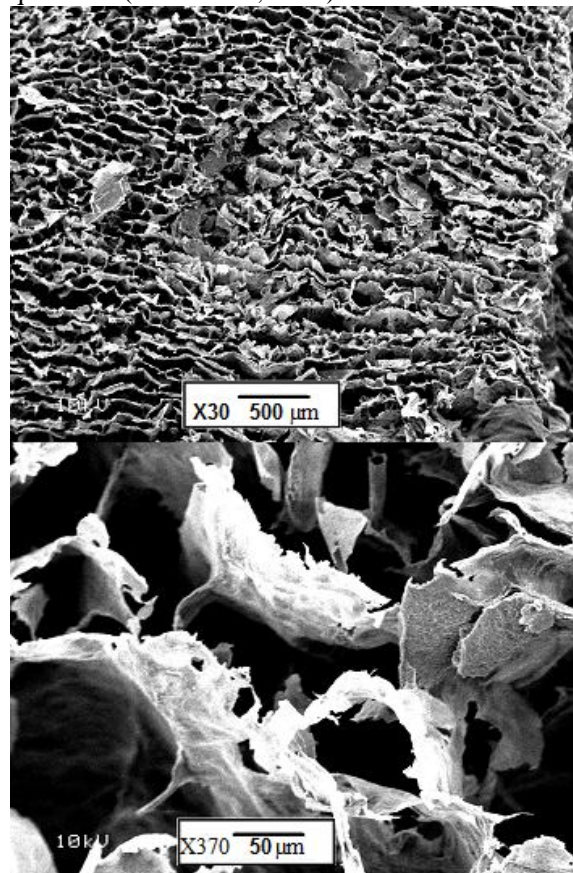


Figura 2. Imagens de MEV da esponja de quitosana.

A Figura 2 apresenta as imagens de MEV (microscopia eletrônica de varredura) da esponja de quitosana.

Pode-se observar na Figura 2 que a esponja de quitosana possui uma estrutura porosa. O tamanho de poros da esponja de quitosana se apresentou na ordem de 50–200 μm . Poros com tamanho maior que 7,5 μm , segundo a classificação da IUPAC, são denominados megaporos (IUPAC, 2012). Sendo assim, pode-se afirmar que a esponja de quitosana obtida é um material megaporoso. Na adsorção, a utilização de estruturas megaporosas é importante, pois, permite o acesso das moléculas de adsorbato nos sítios internos do material adsorvente (Crini e Badot, 2008).

A Figura 3 apresenta o espectro FT-IR da esponja megaporosa de quitosana

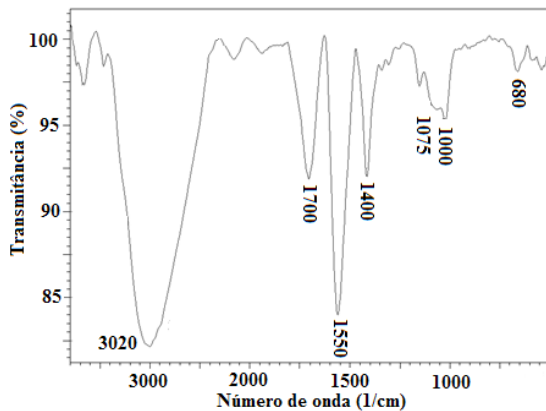


Figura 3. Espectro infravermelho (FT-IR) da esponja de quitosana.

O espectro infravermelho da esponja de quitosana (Figura 3) apresenta as seguintes bandas: 3020, 1700, 1550, 1400, 1075, 1000 e 680 cm^{-1} . Em 3020 cm^{-1} , a banda larga representa os estiramentos das ligações O-H e N-H. A vibração de C=O (banda amida I) foi observada em 1700 cm^{-1} . Nos picos 1550 cm^{-1} e 1400 cm^{-1} pode-se observar o estiramento da ligação C-N de amida e a deformação angular das ligações C-O-H e H-C-H respectivamente. A banda em 1075 cm^{-1} é relativa à ligação C-N de amina. O estiramento da ligação C-O pode ser identificado em 1000 cm^{-1} . A deformação angular da ligação N-H pode ser verificada em 680 cm^{-1} . Analisando as bandas apresentadas na Figura 3, pode-se afirmar que a esponja megaporosa apresenta os grupamentos típicos da quitosana (NH_2 e OH), sendo estes

potenciais sítios de adsorção de corantes (Crini e Badot, 2008; Dotto *et al.*, 2013).

3.2. Cinética de adsorção

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam a influência da taxa de agitação nas curvas cinéticas de adsorção do corante amarelo tartrazina em diferentes concentrações.

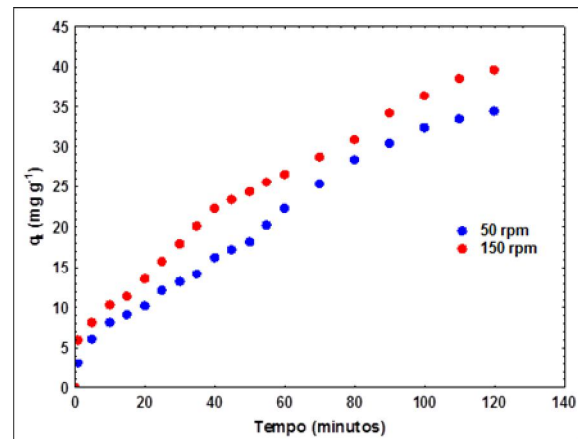


Figura 4. Efeito da taxa de agitação na cinética de adsorção do corante AT ($C_0=50 \text{ mg L}^{-1}$).

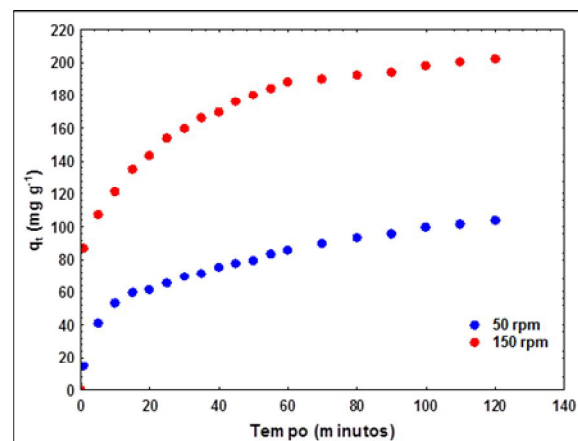


Figura 5. Efeito da taxa de agitação na cinética de adsorção do corante AT ($C_0=200 \text{ mg L}^{-1}$).

As curvas cinéticas apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6 mostram que a capacidade de adsorção foi favorecida pelo aumento da taxa de agitação e pelo aumento da concentração inicial de corante.

O aumento da capacidade de adsorção com a taxa de agitação pode ser explicado devido a uma maior dissipação de energia no sistema a 150 rpm. Este aumento na agitação também proporciona uma diminuição na resistência à transferência de massa externa, facilitando a migração das



moléculas de corante para a superfície da esponja, e, aumentando a capacidade de adsorção nos estágios iniciais. Dotto *et al.* (2012) obtiveram resultados similares no estudo da bioadsorção de corantes sintéticos por *Spirulina platensis*.

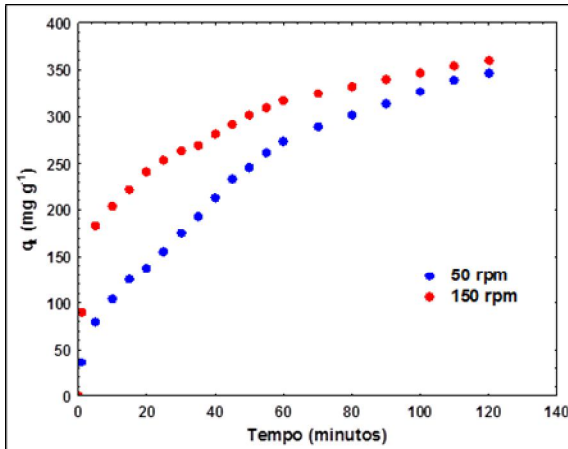


Figura 6. Efeito da taxa de agitação na cinética de adsorção do corante AT ($C_0=400 \text{ mg L}^{-1}$).

Foi verificado que o aumento da concentração inicial de corante de 50 mg L^{-1} até 400 mg L^{-1} causou um aumento na capacidade de adsorção. Isto pode ser atribuído ao alto gradiente de concentração entre a solução e a superfície da esponja que ocorre com elevadas concentrações de corante. Chiou e Li (2002), observaram o efeito da concentração de corante sobre a cinética de adsorção do corante Vermelho Reativo n° 189 por quitosana com ligação cruzada e verificaram que com o aumento da quantidade de corante de $4,3$ para $7,3 \text{ g L}^{-1}$ foi possível um aumento de $1,2$ vezes a capacidade de adsorção.

A fim de obter informações sobre a cinética de adsorção do corante amarelo tartrazina pela esponja megaporosa de quitosana os dados experimentais foram ajustados aos modelos cinéticos de Pseudo primeira-ordem, Pseudo segunda-ordem, Elovich e Avrami. Os Parâmetros de ajuste, coeficiente de determinação, coeficiente de determinação ajustado e erro médio relativo estão apresentados na Tabela 1.

Os altos valores do coeficiente de determinação, coeficiente de determinação ajustado ($R^2 > 0,98$ e $R^2_{\text{adj}} > 0,98$) e os baixos valores do erro médio relativo ($\text{EMR} < 7,0\%$) apresentados na Tabela 1 mostram que o modelo de Avrami foi o mais adequado para representar os dados

experimentais cinéticos da adsorção do corante amarelo tartrazina pela esponja de quitosana.

A partir dos dados apresentados na Tabela 1 pode-se confirmar que o aumento da concentração inicial de adsorbato provocou um aumento no parâmetro q_{av} , confirmando que a capacidade de adsorção do corante é favorecida em altas concentrações. O valor de q_{av} não mostrou tendência clara em relação à taxa de agitação. Em relação ao parâmetro n de Avrami verifica-se que a adsorção tendeu a uma reação de ordem fracionária. O valor do parâmetro k_{AV} aumentou com o aumento da concentração inicial e da taxa de agitação (Tabela 1). Isto indica que a adsorção ocorreu mais rapidamente em elevadas concentrações e taxas de agitação. Recentemente, o modelo cinético de Avrami foi satisfatório para descrever a adsorção de corantes utilizando casca de cupuaçu e cascas de pinheiro como adsorventes (Cardoso *et al.*, 2011a; Cardoso *et al.*, 2011b).

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho a cinética de adsorção do corante amarelo tartrazina por uma esponja megaporosa de quitosana foi estudada em diferentes taxas de agitação e concentrações iniciais de corante. A esponja apresentou uma estrutura megaporosa com diâmetro de poros na ordem de $50\text{--}200 \mu\text{m}$ sendo um potencial material adsorvente. Os resultados do estudo cinético mostraram que os aumentos da concentração inicial de corante e da taxa de agitação favoreceram o processo de adsorção. O modelo de Avrami foi o mais adequado para representar os dados experimentais. A máxima capacidade de adsorção estimada pelo modelo de Avrami foi de $596,9 \text{ mg g}^{-1}$.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste, coeficiente de determinação, coeficiente de determinação ajustado e erro médio relativo para a cinética de adsorção do corante amarelo tartrazina pela esponja megaporosa de quitosana.

Concentração inicial de corante (mg L ⁻¹)	50 rpm			150 rpm		
	50	200	400	50	200	400
Modelos						
PPO						
q ₁ (mg g ⁻¹)	47,70	93,01	358,46	43,21	184,17	321,47
k ₁ (min ⁻¹)	0,0108	0,0547	0,0239	0,0176	0,1068	0,0825
R ²	0,9786	0,9120	0,9810	0,9676	0,8243	0,8818
R ² _{adj}	0,9774	0,9071	0,9799	0,9658	0,8145	0,8752
EMR (%)	13,09	12,50	9,81	11,85	10,57	11,62
PSO						
q ₂ (mg g ⁻¹)	55,07	106,90	478,81	60,82	198,31	356,82
k ₂ (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	0,0022	0,0070	0,0004	0,0023	0,0010	0,0036
R ²	0,9699	0,9611	0,9859	0,9735	0,9068	0,9493
R ² _{adj}	0,9682	0,9589	0,9851	0,9720	0,9016	0,9464
EMR (%)	13,80	8,59	8,77	10,39	7,55	7,69
Elovich						
a (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	0,0359	0,0467	0,0072	0,0510	0,0308	0,0166
b (g mg ⁻¹)	0,58	19,58	13,28	1,01	149,61	178,96
R ²	0,9821	0,9922	0,9894	0,9875	0,9967	0,9946
R ² _{adj}	0,9811	0,9917	0,9888	0,9868	0,9965	0,9943
EMR (%)	8,67	3,18	7,64	5,46	1,37	2,32
Avrami						
n	0,7416	0,4133	0,6363	0,6147	0,2546	0,3511
q _{av} (mg g ⁻¹)	149,16	166,12	596,94	137,95	383,75	526,18
k _{av} (min ⁻¹)	0,0014	0,0070	0,0077	0,0014	0,0029	0,0125
R ²	0,9889	0,9936	0,9940	0,9907	0,9935	0,9963
R ² _{adj}	0,9882	0,9932	0,9936	0,9901	0,9931	0,9960
EMR (%)	6,16	3,89	4,99	6,43	2,18	1,77

6. REFERÊNCIAS

CARDOSO, N. F.; LIMA, E. C.; PINTO, I. S.; AMAVISCA, C. V.; ROYER, B.; PINTO, R. B.; ALENCAR, W. S.; PEREIRA, S. F. P. Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of

textile dyes from aqueous solution. *J. Environ. Manage.*, v. 92, p. 1237-1247, 2011a.

CARDOSO, N. F.; PINTO, R. B.; LIMA, E. C.; CALVETE, T.; AMAVISCA, C. V.; ROYER, B.; CUNHA, M. L.; FERNANDES, T. H. M.; PINTO, I. S. Removal of remazol black B textile dye from aqueous solution by adsorption. *Desalination*, v. 269, p. 92-103, 2011.



- CERVERA, M. F.; HEINAMAKI, J.; RASANEM, M.; MAUNU, S. L.; KARJALAINEN, M.; ACOSTA, O. M. N.; COLARTE, A. I.; YLIRUUSI, J. Solid state characterization of chitosan derived from lobster chitin. *Carbohydr. Polym.*, v. 58, p. 401-408, 2004.
- CHIOU, M. S.; LI, H. Y. Equilibrium and kinetic modeling of adsorption of reactive dye on cross-linked chitosan beads. *J. Hazard Mater.*, v. B93, p. 233-248, 2002.
- CRINI, G.; BADOT, P. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. *Prog. Polym. Sci.*, v. 33, p. 399-447, 2008.
- DEMIRBAS, A. Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. *J. Hazard. Mater.*, v. 167, p. 1-9, 2009.
- DOTTO, G. L.; MOURA, J. M.; CADAVAL Jr., T. R. S.; PINTO, L. A. A. Application of chitosan films for the removal of food dyes from aqueous solutions by adsorption. *Chem. Eng. J.*, v. 214, p. 8-16, 2013.
- DOTTO, G. L.; PINTO, L. A. A. Analysis of mass transfer kinetics in the biosorption of synthetic dyes onto *Spirulina platensis* nanoparticles. *Biochem. Eng. J.*, v. 68, p. 85-90, 2012.
- DOTTO, G. L.; PINTO, L. A. A. Adsorption of food dyes acid blue 9 and food yellow 3 onto chitosan: Stirring rate effect in kinetics and mechanism. *J. Hazard. Mater.*, v. 187, p. 164-170, 2011.
- DOTTO, G. L.; SOUZA, V. C.; PINTO, L. A. A. Drying of chitosan in a spouted bed: The influences of temperature and equipment geometry in powder quality. *LWT-Food Sci. Technol.*, v. 44, p. 1786-1792, 2011.
- FDA, US Food and Drugs Administration. Color additives. <http://www.fda.gov/ForIndustry/Coloradditives/ColoradditivesinSpecificProductsInFood/default.htm>, 2014.
- GUPTA, K.; JABRIAL, F. Effects of degree of deacetylation and cross-linking on physical characteristics, swelling and release behavior of chitosan microspheres. *Carbohydr. Polym.*, v. 66, p. 43-54, 2006.
- GUPTA, V. K.; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal: A review. *J. Environ. Manage.*, v. 90, p. 2313-2342, 2009.
- IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry. *Gold Book*. New York: IUPAC Ed., 2012.
- KOPRIVANAC, N.; KUSIC, H. *Hazardous Organic Pollutants in Colored Wastewaters*. New York: New Science Publishers, 2008.
- LOPES, E. C. N.; ANJOS, F. S. C.; VIEIRA, E. F. S.; CESTARI, A. R. An alternative Avrami equation to evaluate kinetic parameters of the interaction of Hg (II) with thin chitosan membranes. *J. Colloid Interface Sci.*, v. 263, p. 542-547, 2003.
- MIRMOHSENI, A.; DORRAJI, M.; FIGOLI, A.; TASSELLI, F. Chitosan hollow fibers as effective biosorbent toward dye: Preparation and modeling. *Bioresour. Technol.*, v. 121, p. 212-220, 2012.
- PICCIN, J. S.; DOTTO, G. L.; VIEIRA, M. L. G.; PINTO, L. A. A. Kinetics and mechanism of the food dye FD&C red 40 adsorption onto chitosan. *J. Chem. Eng. Data*, v. 56, p. 3759-3765, 2011.
- QIU, H.; LV, L.; PAN, B. C.; ZHANG, Q. J.; ZHANG, W.; ZHANG, Q. Critical review in adsorption kinetic models. *J. Zhejiang Univ. Sci. A.*, v. 10, p. 716-724, 2009.
- WAN NGAH, W. S.; TEONG, L. C.; HANAFIAH, M. A. K. M. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydr. Polym.*, v. 83, p. 1446-1456, 2011.
- WESKA, R. F.; MOURA, J. M.; BATISTA, L. M.; RIZZI, J.; PINTO L. A. A. Optimization of deacetylation in the production of chitosan from shrimp wastes: Use of response surface methodology. *J. Food Eng.*, v. 80, p. 749-753, 2007.
- WU, F. C.; TSENG, R. L.; JUANG R. S. Comparative adsorption of metal and dye on flake- and bead-types of chitosans prepared from fishery wastes. *J. Hazard. Mater.*, v. B73, p. 63-75, 2000.