



ESTUDO DA REMOÇÃO DO SISTEMA BINÁRIO DE CORANTES REATIVO AZUL 5G E REMAZOL VERMELHO PELO PROCESSO DE ADSORÇÃO EMPREGANDO O CARVÃO ATIVADO DE COCO DE BABAÇU

H. M. C. Fagnani¹; R. L. S. Canevesi²; E. A. Silva²

1-Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: monyke_f@hotmail.com

2-Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua da Faculdade, 645, 85903-000 - Toledo - PR, Brasil.

RESUMO: A indústria têxtil tem grande participação na contaminação das águas. O método de adsorção é muito eficiente e alia o baixo custo de adsorventes alternativos. Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi investigar a adsorção do sistema binário de corante Remazol Vermelho (RV) e Reativo Azul 5G (RA) usando carvão ativado de coco de babaçu como adsorbente. Os experimentos de cinética e isoterma foram realizados em batelada na temperatura de 30°C e nos pHs de 2, 3 e 4. O modelo de pseudo-segunda ordem se ajustou melhor aos dados de cinética, e o melhor pH foi 2. Para a isoterma o modelo que melhor se ajustou ao dados experimentais foi Langmuir potência e a capacidade adsorptiva foi de 104,8 e 88,62 mg.g⁻¹ de RA e RV respectivamente. Desta forma, o carvão ativado de coco de babaçu se mostrou eficaz na adsorção do sistema binário de corantes.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção; Sistema binário; Corante; Carvão ativado de coco de babaçu

ABSTRACT: The textile industry has great participation in water contamination. Adsorption method is very effective and combines the low cost alternative adsorbents. Thus, the aim of this paper was to investigate the adsorption of binary system of dye Remazol Red (RV) and Reactive Blue 5G (RA) using activated carbon of babassu coconut as adsorbent. The kinetics and isotherm experiments were conducted in batch, temperature of 30°C and at pHs of 2, 3 and 4. The model of pseudo-second order is best fit to the kinetic data, and the best pH was 2. For isotherm, the model that best fit the experimental data was potency Langmuir and adsorption capacity was 104.8 and 88.62 mg.g⁻¹ of RA and RV respectively. Therefore, the activated carbon of babassu coconut is effective in the adsorption of binary dye.

KEYWORDS: Adsorption; Binary system; Dye; Activated carbon of babassu coconut

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é um fator de grande importância na economia brasileira. Caracteriza-se por requerer grandes quantidades de água, corantes e produtos químicos utilizados ao longo de uma complexa cadeia produtiva (Lambrecht, 2007). Os efluentes provenientes da indústria de corante ou de processos envolvendo tingimento têxtil devem ser submetidos a um tratamento antes do descarte

nos corpos hídricos, devido a sua toxicidade aos ecossistemas aquáticos (Schimmel, 2008).

Do ponto de vista ambiental, a remoção da cor dos efluentes é um dos grandes problemas enfrentados pelo setor têxtil (Zanoni e Carneiro, 2001). Com suas intensas colorações, os corantes restringem a passagem de radiação solar, diminuindo a atividade fotossintética natural, provocando alterações na biota aquática e



causando toxicidade aguda e crônica destes ecossistemas (Houk, 1992).

O corante Reativo Azul 5G é um dos principais corantes utilizados pelas lavanderias industriais, e também na produção de novas tonalidades azuis para aplicação em tecidos do tipo “jeans”. É chamado de reativo devido a sua capacidade de formar ligações covalentes com a fibra. O corante Remazol Vermelho é classificado como corante ácido, já que corresponde ao grupo de corantes aniônicos, isto é, portador de grupos sulfônicos. Quanto à classificação segundo o grupo cromóforo é pertencente ao azo corante. É também classificado como corante reativo, de acordo com o modelo de fixação na fibra têxtil (Guaratini e Zanoni, 2000).

Em geral, os processos de tratamento dos efluentes nas indústrias têxteis estão fundamentados na operação de sistemas de tratamento biológico, via sistemas de lodo ativado, seguidos de tratamentos físico-químicos de precipitação-coagulação (Schimmel, 2008). Outros processos visando a eliminação desses contaminantes, como a adsorção, encontram maior aplicação industrial, pois associam baixo custo e elevadas taxas de remoção (Smit, *et al.*, 1993). Adsorção é um fenômeno que é caracterizado pela adesão de uma espécie química (adsorbato) na superfície ou poros de um sólido (adsorvente) (Chiou, 2002). O mecanismo de adsorção de corantes no adsorvente em processos de remoção de cor envolve três etapas: o corante migra através da solução para a superfície externa das partículas do adsorvente, o corante move-se dentro dos poros das partículas e, então ele é adsorvido nos sítios no interior da superfície das partículas do adsorvente (Sanghi e Bhattacharya, 2002).

Atualmente o material que apresenta maior capacidade de adsorção, sendo amplamente utilizado para o tratamento de efluentes, é o carvão ativado (Oliveira, *et al.*, 2002). Devido ao seu amplo uso é grande a variedade de carvões que vem sendo fabricados, de diferentes origens (animal, vegetal e mineral) e com características distintas (Silva, 2005).

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo: i) avaliar o efeito do pH, no processo de adsorção da mistura dos corante comercial RA e RV utilizando como adsorvente o carvão ativado de coco de babaçu em pó; ii) obter a cinética de remoção dos corantes; iii) ajustar os modelos de pseudo-primeiro e pseudo-segunda ordem aos dados experimentais de cinética; iv) obter o pH que

o equilíbrio se deu em menor tempo; v) obter dados de equilíbrio para o sistema no melhor pH; vi) ajustar os modelos de Langmuir, Langmuir com inibição e Langmuir potência aos dados experimentais de equilíbrio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O adsorvente que foi utilizado é o carvão ativado de coco de babaçu cedido pela Tobasa Bioindústria de Babaçu S.A. Já os adsorvatos são os corantes Reativo Azul 5G (RA) produzido pela Texpal Química e o Remazol Vermelho (RV) produzido e fornecido pela DyStar. As soluções de trabalho foram preparadas com água destilada e diferentes concentrações. E todos os testes foram realizados em duplicata.

2.1 Curva de Calibração

Para a curva de calibração foram preparadas soluções conhecidas dos corantes (sem haver a mistura entre eles) de 7,5 a 30 mg.L⁻¹ e efetuada a leitura espectrofotômetro DR5000 de UV/VIS no seus devidos comprimentos de onda, de 535,5 nm para o RV e 610 nm para o RA (Koprivanac, *et al.*, 2005). Em seguida foram preparadas soluções com a mistura dos dois corantes na concentração de 3,75 a 15 mg.L⁻¹ de cada um e efetuada a leitura no espectrofotômetro UV/VIS nos dois comprimentos de ondas já mencionados.

2.2 Obtenção dos Dados Cinéticos

Foram utilizadas mistura das soluções dos dois corantes, no qual a concentração inicial da solução mãe era de 150 mg.L⁻¹. O pH dessas foram ajustados em 2, 3 e 4, com o auxílio de ácido clorídrico 0,1 mol.l⁻¹ e hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹. Os testes foram realizados em batelada, em erlrmeyer, no qual foram adicionados 100 ml de solução de trabalho com 0,1063g de carvão ativado. Os experimentos foram realizados sob temperatura controlada de 30°C, agitação de 100 rpm em shaker com tempo variando de 1 minuto a 60 horas. A concentração das amostras foram quantificadas por meio de corante remanescente na solução, por espectrofotometria UV/VIS nos comprimentos de onda de 535,5 nm e 610 nm.

2.3 Obtenção dos Dados de Equilíbrio

Para o estudo do equilíbrio foram preparadas duas soluções mães, a primeira com o corante RA



na concentração de 1500 mg.L⁻¹ e a segunda com o corante RV na concentração de 1400 mg.L⁻¹. Foram feitas diferentes misturas dessas soluções (quando necessário adicionado água destilada) de forma que as concentrações iniciais das soluções de trabalho variaram de 50 a 200 mg.L⁻¹. O pH de trabalho foi utilizado o que forneceu melhor resultado de adsorção. Os testes foram realizados em batelada, em erlrmeyer, no qual foram adicionados 50 ml de solução de trabalho com 0,32g de carvão ativado. Os experimentos foram realizados sob temperatura controlada de 30°C, agitação de 100 rpm em shaker com tempo de 36 horas. A concentração das amostras foram quantificadas por meio de corante remanescente na solução, por espectrofotometria UV/VIS nos comprimentos de onda de 535,5 nm e 610 nm.

2.4 Determinação da Concentração

Quando se trabalha com soluções de mistura de dois corantes a absorvância num determinado comprimento de onda é dado pela relação da concentração do primeiro corante na solução com a sua absorvidade, somado com a relação da concentração do segundo corante na solução com sua absorvidade específica, acrescido as constantes das curvas de calibração de cada um dos corantes. As equações (01) e (02) demonstra isto.

$$A^{535} = a^{535} \cdot x_1 + b^{535} \cdot x_2 + c_1^{535} + c_2^{535} \quad (01)$$

$$A^{610} = a^{610} \cdot x_1 + b^{610} \cdot x_2 + c_1^{610} + c_2^{610} \quad (02)$$

Onde a variável A^{535} é a absorbância no comprimento de onda de 535 nm, a variável A^{610} é a absorbância no comprimento de onda de 610. a^{535} e a^{610} são constantes e é a absorvidade do corante RA nos comprimentos de onda de 535 e 610 nm respectivamente. As constantes b^{535} e b^{610} é a absorvidade do corante RV no comprimento de onda de 535 e 610 nm respectivamente. As variáveis x_1 e x_2 é a concentração dos corantes RA e RV na solução e c_1 e c_2 são as constantes de curva de calibração para os dois corantes.

Pode-se dizer que $c_1 + c_2 = C$. Chamando $A^{535} - C^{535} = D^{535}$ e $A^{610} - C^{610} = D^{610}$, tem-se:

$$a^{535} \cdot x_1 + b^{535} \cdot x_2 = D^{535} \quad (03)$$

$$a^{610} \cdot x_1 + b^{610} \cdot x_2 = D^{610} \quad (04)$$

Fazendo uso da Equação (04), sabe-se que:

$$x_1 = \frac{D^{610} - b^{610} \cdot x_2}{a^{610}} \quad (05)$$

Substituindo (05) em (03):

$$x_2 \left(b^{535} - \frac{a^{535}}{a^{610}} \cdot b^{610} \right) = D^{535} - \frac{a^{535}}{a^{610}} \cdot D^{610} \quad (06)$$

Sendo $E = a^{535}/a^{610}$

$$x_2 = \frac{D^{535} - E \cdot D^{610}}{b^{535} - E \cdot b^{610}} \quad (07)$$

As Equações (05) e (07) foram utilizadas para o cálculo da concentração dos corantes RA e RV respectivamente.

A quantidade de corante retido no carvão pode ser calculado a partir do balanço de massa da quantidade de corante remanescente na solução. Foi utilizada a equação 08 para esse cálculo.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \cdot V}{W} \quad (08)$$

C_0 e C_t é a constante da concentração inicial e a variável da concentração no tempo t (mg.L⁻¹), a constante V o volume de solução que foi utilizada (L), a variável q_t a quantidade de corante adsorvido no tempo t (mg.g⁻¹) e a constante W a massa de adsorvente (g). Quando se plota q_t versus tempo se resulta na cinética

2.5 Modelos de Cinética de Adsorção

De modo a investigar o mecanismo e velocidade de adsorção e o efeito do pH no processo, modelos cinéticos foram usadas para testar os dados experimentais. Dois modelos cinéticos foram testados: a equação de pseudo-primeira ordem e a equação de pseudo-segunda ordem.

Para a o modelo cinético de pseudo-primeira ordem, Lagergren (1898) propôs uma equação da velocidade de adsorção para sistemas líquido-sólidos, baseando-se na capacidade de adsorção do sólido. Este modelo é aplicável para estágios iniciais da adsorção. Já a equação do modelo cinético de pseudo-segunda ordem parte do princípio de que o comportamento de adsorção é



controlado por uma reação de segunda ordem. Este modelo assume que a quimissorção pode ser a etapa de controle da velocidade dos processos de adsorção (Ho e Mckay, 1998).

2.6 Modelos de Equilíbrio

Para descrever o equilíbrio, utiliza-se das isotermas de adsorção, neste trabalho empregou-se a isoterma de Langmuir. Este é o modelo mais simples das isotermas de adsorção e supõe: as moléculas são adsorvidas e aderem à superfície do adsorvente em sítios definidos e localizados; cada sítio pode acomodar uma, e somente uma, molécula adsorvida; a energia da molécula adsorvida é a mesma em todos os sítios da superfície e não depende da presença ou ausência de outras moléculas adsorvidas nos sítios vizinho (Ciola, 1981). A isoterma de Langmuir para multicomponentes é matematicamente representada pelas equações (09) e (10).

$$q_{1\ eq} = \frac{q_{\max} \cdot b_1 \cdot C_{1\ eq}}{1 + b_1 \cdot C_{1\ eq} + b_2 \cdot C_{2\ eq}} \quad (09)$$

$$q_{2\ eq} = \frac{q_{\max} \cdot b_2 \cdot C_{2\ eq}}{1 + b_1 \cdot C_{1\ eq} + b_2 \cdot C_{2\ eq}} \quad (10)$$

A variável q_{\max} é a constante que representa a cobertura de adsorvato em uma monocamada, ou seja, a máxima adsorção possível (Ruthven, 1984). q_{eq} é a quantidade de corante adsorvida por massa de adsorvente quando o sistema está no equilíbrio. C é a concentração do corante na solução e b é uma constante determinada pelos dados experimentais.

Além do modelo de Langmuir, os modelos de Langmuir com inibição, representado pelas equações (11) e (12) e Langmuir potência dado pelas equações (13) e (14) podem descrever o equilíbrio.

$$q_{1\ eq} = \frac{q_{\max} \cdot b_1 \cdot C_{1\ eq} \cdot \left(1 + \frac{K}{b_1} \cdot C_{2\ eq}\right)}{1 + b_1 \cdot C_{1\ eq} + b_2 \cdot C_{2\ eq} + 2 \cdot K \cdot C_{1\ eq} \cdot C_{2\ eq}} \quad (11)$$

$$q_{2\ eq} = \frac{q_{\max} \cdot b_2 \cdot C_{2\ eq} \cdot \left(1 + \frac{K}{b_2} \cdot C_{1\ eq}\right)}{1 + b_1 \cdot C_{1\ eq} + b_2 \cdot C_{2\ eq} + 2 \cdot K \cdot C_{1\ eq} \cdot C_{2\ eq}} \quad (12)$$

$$q_{1\ eq} = \frac{q_{\max} \cdot b_1 \cdot C_{1\ eq}}{1 + b_1 \cdot C_{1\ eq}^{k1} + b_2 \cdot C_{2\ eq}^{k2}} \quad (13)$$

$$q_{2\ eq} = \frac{q_{\max} \cdot b_2 \cdot C_{2\ eq}}{1 + b_1 \cdot C_{1\ eq}^{k1} + b_2 \cdot C_{2\ eq}^{k2}} \quad (14)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Curva de Calibração

A partir da relação da concentração conhecida dos corantes e da absorvância foram determinados os parâmetros utilizados, o coeficiente angular e o linear das retas. Esses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 01 – Resultados obtidos pelas curvas de calibração dos corantes.

Corante	R ²	Comp. de onda (nm)	Coef. Angular (ppm. abs ⁻¹)	Coef. Linear (ppm)
RA	0,9898	535,5	0,0074	0,004
RA	0,9989	610	0,0242	-0,006
RV	0,9887	535,5	0,0274	-0,0152
RV	0,9992	610	0,000267	0,004

3.2 Cinética de Adsorção

Os modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem foram ajustados aos dados experimentais. Os parâmetros obtidos no ajuste do modelo de pseudo-primeira ordem são apresentados na Tabela 02, e para o modelo de pseudo-segunda ordem são apresentados na Tabela 03.

Tabela 02 – Resultados obtidos na utilização do modelo cinético de pseudo-primeira ordem

pH	Concentração inicial (mg.L ⁻¹)		<i>k</i> (mg.L ⁻¹ .min ⁻¹)		<i>q_{eq}</i> (mg.g ⁻¹)		R ²	
	RA	RV	RA	RV	RA	RV	RA	RV
2	25	125	35,43	1636,9	8,25	34,29	0,68	0,30
2	75	75	1,11	1,06	31,37	29,29	0,73	0,63
2	125	25	0,34	0,34	42,99	14,48	0,84	0,91
3	25	125	1,46	0,84	5,23	28,70	0,41	0,63
3	75	75	0,70	0,64	24,88	28,01	0,70	0,69
3	125	25	1,61	2,05	36,77	10,12	0,79	0,75
4	25	125	31,59	0,44	5,46	28,99	0,25	0,73
4	75	75	1,07	0,97	18,53	18,78	0,76	0,70
4	125	25	1,81	0,35	30,32	9,15	0,60	0,66

Tabela 03 – Resultados obtidos na utilização do modelo cinético de pseudo-segunda ordem

pH	Concentração inicial (mg.L ⁻¹)		<i>k</i> (mg.L ⁻¹ .min ⁻¹)		<i>q_{eq}</i> (mg.g ⁻¹)		R ²	
	RA	RV	RA	RV	RA	RV	RA	RV
2	25	125	7,230	0,106	8,47	44,79	0,75	0,87
2	75	75	0,044	0,042	33,98	32,12	0,83	0,75
2	125	25	0,011	0,029	46,39	15,91	0,90	0,95
3	25	125	0,339	0,024	5,62	33,17	0,42	0,75
3	75	75	0,038	0,031	26,87	30,32	0,81	0,79
3	125	25	0,054	0,306	39,53	10,61	0,85	0,78
4	25	125	0,112	0,023	8,33	30,96	0,49	0,83
4	75	75	0,069	0,062	20,19	20,47	0,85	0,80
4	125	25	0,082	0,076	32,40	9,44	0,74	0,73

O modelo de pseudo-segunda ordem, comparado como de pseudo-primeira, obteve um ajuste melhor aos pontos experimentais. Assim, a adsorção é controlada por uma reação de segunda ordem.

O parâmetro k é uma constante de velocidade de adsorção, ou seja, quanto maior o valor deste parâmetro mais rápida é a cinética de adsorção. No trabalho, observou-se que os maiores valores de k são em pH mais ácido, 2. Esse efeito é atribuído ao fato que o pH ácido provoca a protonação dos grupos funcionais superficiais do adsorvente, bem como interferindo no nível de ionização da solução, transformando o corante em íons carregados negativamente, fazendo com que ocorra interação eletrostática (Ncibi, *et al.*, 2007) e (Al-Degs, *et al.*, 2001).

3.3 Equilíbrio

Para o estudo do equilíbrio, os testes foram realizados na condição de pH que favoreceu a velocidade de adsorção, pH 2. Os modelos de isoterma de Langmuir (LAN), Langmuir com inibição (LCI) e Langmuir potência (LP) foram ajustados aos dados experimentais. Os resultados são apresentados na Tabela 4. O parâmetro K das isotermas tem unidades dependendo da equação. Para Langmuir com inibição é ($L^2 \cdot mg^{-2}$), já para Langmuir potencial é adimensional.

Tabela 4 – Resultados obtidos na utilização dos modelos de equilíbrio de LAN, LCI e LP

Mod.	Corante	b ($L \cdot mg^{-1}$)	q_{max} ($mg \cdot g^{-1}$)	K	R^2
LAN	RA	99,247	100,977	----	0,958
	RV	85,425			
LCI	RA	$0,2211 \times 10^9$	100,355	$0,7301 \times 10^6$	0,960
	RV	$0,1078 \times 10^9$			
LP	RA	104,70	86,966	0,8898	0,969
	RV	88,62		1,202	

A Figura 1 apresenta os modelos ajustados aos dados experimentais em pH 2, em a)

Langmuir, b) Langmuir com inibição e c) Langmuir potência.

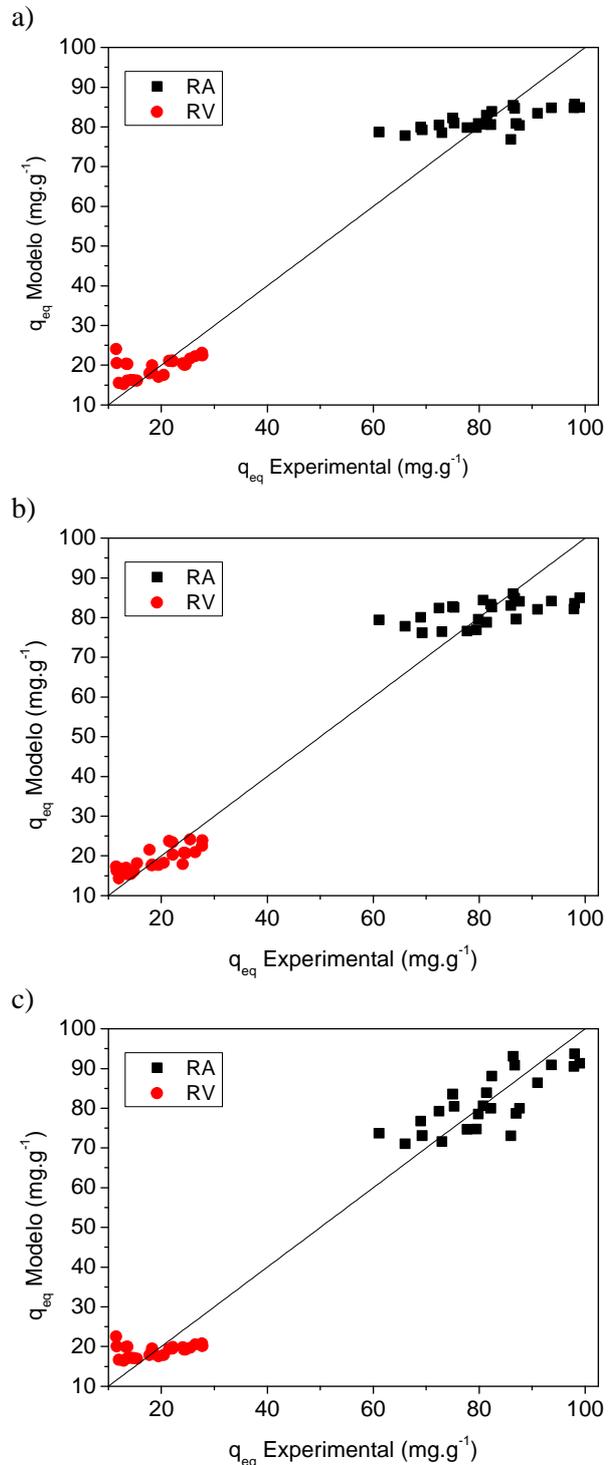


Figura 1. Ajustes dos modelos de isotermas de adsorção em pH 2: a) Langmuir; b) Langmuir com inibição; c) Langmuir potência

Os resultados apresentados na Tabela 4, do coeficiente de correlação, mostraram que, modelo



é o de Langmuir potência foi o que descreveu o comportamento do sistema, o coeficiente de correlação dos outros dois modelos são próximos. Os modelos de Langmuir e Langmuir potência os parâmetros tem a mesma ordem e grandeza, possibilitando a comparação. Assim, para o modelo de Langmuir, os corantes RA e RV têm a máxima capacidade adsorptiva (q_{max}) de 99,247 e 85,425 mg.g^{-1} respectivamente, enquanto que o modelo Langmuir potência é 104,70 e 88,62 mg.g^{-1} para o RA e RV. A diferença entre eles é de aproximadamente 5%, podendo este ser erro experimental.

Não há trabalhos que realizam adsorção destes mesmos corantes simultaneamente, assim, a comparação foi realizada com soluções monocomponente. Segundo Zanella *et al.* (2010) para o corante RA, no pH 2 e temperatura de 30°C a máxima capacidade adsorptiva do carvão ativado de coco de babaçu é de 50,32 mg.g^{-1} . Segundo Ribas *et al.* (2011) para o corante RV, no pH 2 e na temperatura de 30°C a máxima capacidade adsorptiva é de 73,9 mg.g^{-1} no carvão ativado comercial.

Os valores da capacidade máxima de adsorção obtidos neste trabalho foram superiores aos da literatura. No sistema com duas espécies de adsorbato e principalmente por tratar de espécies orgânicas, podem ocorrer formação de complexos na fase líquida, e conseqüentemente modificar a adsorção.

Assim, o carvão ativado de coco de babaçu se mostrou viável para a adsorção da mistura de corantes. Na modelagem dos dados de equilíbrio pode-se buscar outras alternativas para melhor representar o seu comportamento, como por exemplo o uso de redes neurais que foi empregado com sucesso por Canevesi, *et al.* (2009) para melhor representar os dados de equilíbrio de troca iônica.

4. CONCLUSÃO

Os resultados dos testes cinéticos mostraram que a adsorção dos corantes RA e RV foi maior nos níveis mais baixos de pH avaliados, e atingiu mais rapidamente o equilíbrio. A protonação da superfície do adsorvente, bem como a especiação do corante em espécies aniônicas é favorecida em baixos valores de pH. Os dados experimentais da cinética de sorção dos corantes são bem

representados pelo modelo de pseudo-segunda ordem.

Na condições de pH que favoreceram a adsorção foram realizados os testes de equilíbrio e foram testados os modelos de Langmuir, Langmuir com inibição e Langmuir potência. O modelo que melhor representou os dados binários de equilíbrio foi de Langmuir potência, a capacidade máxima de adsorção foi de 104,8 mg.g^{-1} de RA e 88,62 mg.g^{-1} de RV. Estes valores foram superiores a outros estudos de equilíbrio da remoção de corantes que empregaram diferentes tipos de adsorventes.

O carvão de coco de babaçu se mostrou eficiente na remoção da mistura de corantes reativo azul 5G e remazol vermelho, principalmente em valores baixos de pH. Os resultados obtidos mostram que o carvão tem grande potencial para ser aplicado no tratamento de efluentes industriais que contenha estes tipos de corantes.

4. REFERÊNCIAS

- AL-DEGS, Y., KHRAISHEH, M. A. M., ALLEN, S., AHMAD, N. A., Sorption behavior of cationic and anionic dyes from aqueous solutions on different types of activated carbons. **Separation Sci. and Technol.**, v. 36(1), p. 1-12, 2001.
- CANEVESI, R. L. S., JUNIOR, E. A. Z., MARTINS, T. D., BARELLA, R. A., MOREIRA, M. F. P., SILVA, E. A., Modelagem do processo de troca iônica pela lei da ação das massas e redes neurais artificiais. **Estudos Tecnológicos**, v. 5(3), p. 389-403, 2009.
- CHIOU, C. T., **Partition and adsorption of organic contaminants in environmental systems.** John Wiley & Sons, New Jersey, 2002.
- CIOLA, R., **Fundamentos da Catálise.** Editora Moderna, São Paulo, 1981.
- GUARATINI, C. C. I., Zanoni, M. V. B., Corantes têxteis. **Quím. Nova**, v. 23(1), p. 71-78, 2000.
- HO, Y. S., MCKAY, G., Kinetic models for the adsorption of dye from aqueous solution by wood. **Trans. Chem. Eng.**, v. 76, p. 83-91, 1998.
- HOUK, V. S., The genotoxicity of industrial wastes and effluents: a review. **Water Res.** v. 277, p. 201-220, 1992.
- KOPRIVANAC, N., KUSIC, H., VUJEVI, D., Influence of iron on degradation of organic dyes in corona. **J. Hazard. Mater**, v. 117, p.113-119, 2005.



LAGERGREN, S., Zur theorie der sogenannten adsorption geloster stoffe. **Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. Handlingar**, v.24, p.1-39, 1898.

LAMBRECHT, R., **Adsorção do corante azul 5G em carvão ativado e em xisto retornado**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

NCIBI, M. C., MAHJOUR, B., SEFFEN, M., Kinetic and equilibrium studies of methylene blue biosorption by *Posidonia oceanica* (L.) fibres. **J. Hazard. Mater.**, v. 139, p. 280-285, 2007.

OLIVEIRA, L. C. A., RIOS, R. V., FABRIS, J. D., SAPAG, K., LAGO, R. M., Activated carbon/iron oxide magnetic composites for the adsorption of contaminants in water. **Carbon**, v. 42(12), p. 2177-2183, 2002.

RIBAS, M. C., CANEVESI, R. L. S., FAGNANI, H. M. C., SILVA, E. A., **Estudo de equilíbrio de adsorção do corante Remazol Vermelho usando como adsorvente carvão ativado comercial**. VIII ENDITEC – Encontro Nacional de Difusão Tecnológica, Medianeira, PR, 2011.

RUTHVEN, D. M., **Principles of adsorption and adsorption processes**, Wiley: New York, 1984.

SANGHI, R., BHATTACHARYA, B., Review on decolonization of aqueous dye solutions by low cost adsorbents. **Color. Technol.** v. 118, p. 256-269, 2002.

SCHIMMEL, D., **Adsorção dos corantes reativos azul 5G e azul turquesa QG em carvão ativado comercial**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Toledo, 2008.

Silva, G. L., **Avaliação da remoção de cor dos efluentes de indústrias têxteis em colunas empacotadas com argilas esmectitas da região do Araripe, PE**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, MS, 2005.

SMITH, B., KOONCE, T., HUDSON, S., Decolorizing dye wastewater using chitosan., **Am. Dyest. Rep.** v. 82(10), p. 18, 1993.

ZANELLA, K., SILVA, E. A., SANTOS, W. J., BARROS, M. A. S. D., ARROYO, P. A., **Estudo cinético e termodinâmico de adsorção do corante Reativo Azul 5G em carvão ativado de casca de coco de babaçu**. XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Foz do Iguaçu, PR, 2010.

ZANONI, M. V. B., CARNEIRO, P. A., O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**, v. 29, p 61-65, 2001.