



ADSORÇÃO E DESSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO UTILIZANDO O PALITO DE ERVA-MATE

P. T. Juchen¹, F. P. Gobi¹, J. F. Honorio¹, M. T. Veit¹, G. C. Gonçalves² e M. R. F. Klen¹

¹ Centro de Engenharias e Ciências Exatas - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Rua da Faculdade, 645, Jd. Sta. Maria – CEP: 85903-000 – Toledo- PR – Brasil
Telefone: (45) 3379-7090 – Email: marcia_veit@yahoo.com.br

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Tecnologia em Processos Químicos
Rua Cristo Rei, 19, Vila Becker – CEP: 85902-490 - Toledo -PR - Brasil
Telefone: (45) 3379-6800 -Email: cunha@utfpr.edu.br

RESUMO: A utilização de palito de erva-mate como adsorvente para a remoção do corante azul de metileno em soluções aquosas foi investigada em sistema batelada. No estudo da influencia do pH, a maior quantidade de corante adsorvida ocorreu em pH acima de 4,7. O processo de adsorção atingiu o equilíbrio em 6 horas, obtendo um quantidade total adsorvida de 13,5 mg g⁻¹. Na dessorção, o agente eluente HCl 0,05 mol L⁻¹ apresentou a melhor eficiência. A cinética de dessorção atingiu o equilíbrio em 2 horas e cinco ciclos sucessivos de adsorção/dessorção do corante azul de metileno foram avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: Palito de erva-mate; Azul de metileno; Adsorção/Dessorção.

ABSTRACT: The use of toothpick of yerba mate such as adsorbent for the removal of methylene blue dye from aqueous solutions was investigated in batch process. In the study of pH influence, the greater amount of dye adsorbed occurred at pH above 4.7. The adsorption process attained equilibrium within 6 hours, getting a total amount adsorbed of 13.5 mg g⁻¹. In desorption, the eluent HCl 0.05 mol L⁻¹ showed the best performance. The kinetics of desorption equilibrium was reached in 2 hours and cycles of Adsorption/Desorption of methylene blue dye were investigated.

KEYWORDS: Toothpick of yerba mate; Methylene blue; Adsorption/Desorption.

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é um setor poluidor que diariamente contribui com o lançamento de águas contendo corantes em corpos receptores. Essas águas coloridas descartadas sem adequado tratamento no ambiente acabam prejudicando o processo fotossintético bem como alterando a qualidade da água (BULUT et al., 2006).

Um corante utilizado para tingimento de alguns tecidos como algodão, lã e seda, é o azul de metileno (C₁₆H₁₈ClN₃S), característico por ter uma forte coloração azul, peso molecular de 373,90 g mol⁻¹, diâmetro molecular de 0,80 nm (HAMEED et al., 2009),

e ser um corante catiônico (VARGAS et al., 2011).

Em consequência dos problemas que o descarte de efluentes contaminados com corantes pode trazer ao ambiente, o tratamento de águas residuais tem ganhado considerável atenção, e inovações tecnológicas buscam soluções utilizando métodos como biodegradação, química oxidação, floculação-coagulação e adsorção. Como alguns corantes apresentam resistência a oxidação (KAPDAN et al., 2002), a adsorção pode se apresentar mais vantajosa. Essa técnica é empregada normalmente utilizando o carvão ativado como adsorvente, pois apresenta um potencial de adsorção elevado, entretanto é um material de



alto custo (DOGAN et al., 2009). Logo, a busca de adsorventes eficientes e também de baixo custo tem crescido nos últimos anos. A capacidade de adsorção de biossorventes, como a casca de trigo (BULUT et al., 2006), a casca de alho (HAMEED et al., 2009), o talo de algodão (DENG et al., 2011), a casca de avelã (DOGAN et al., 2009) foram investigados na remoção do corante azul de metileno. Porém, o palito de erva-mate como material biossorvente ainda não foi avaliado na remoção de quaisquer corantes.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), a região Sul do Brasil é a maior responsável pela produção de erva-mate, atingindo a marca de 99,8% da produção nacional. No Brasil a produção anual foi de 227.462 toneladas, sendo que o Paraná foi o maior produtor, com 166.682 toneladas, seguido dos estados de Santa Catarina, 36.274 toneladas, e o Rio Grande do Sul com 24.231 toneladas. Os palitos de erva-mate são resíduos gerados no processo de secagem e cancheamento das folhas (GUIOTOKU et al., 2008), logo a utilização do palito de erva-mate além de contribuir para o tratamento de efluentes no processo de adsorção apresenta outra vantagem, o reaproveitamento da biomassa excedente do processo industrial.

Assim, o objetivo deste trabalho é investigar a aplicação da biomassa do palito de erva-mate *in natura* na adsorção do corante comercial azul de metileno. Para tanto serão avaliados: i) o pH no processo de adsorção; ii) o tempo de contato; iii) o equilíbrio na melhor condição de pH; iv) selecionado o melhor agente eluente para a dessorção; v) a cinética de dessorção para a melhor concentração do agente eluente selecionado; vi) e ciclos de adsorção/dessorção do corante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparo do Adsorvente

O palito de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) foi submetido a lavagem com água corrente, enxaguado com água destilada para remoção de impurezas e seco a

temperatura ambiente (25-30°C). O material seco foi peneirado para obtenção de um diâmetro de partícula inferior a 3,35 mm.

2.2 Soluções de Azul de Metileno

A solução de corante foi preparada a partir do corante azul de metileno produzido pela Vetec Química Fina usando água destilada. O pH da solução de corante foi ajustado a partir da adição de ácido clorídrico e de solução de hidróxido de sódio.

2.3 Ponto de Carga Zero

Para estabelecer o ponto de carga zero (PCZ), ou seja, o pH em que a superfície do adsorvente possui uma carga neutra, seguiu-se a metodologia de Regalbuto e Robles (2004) e Guillarduci (2006), descrita pelo “experimento dos 11 pontos”.

2.4 Espectro de Absorção Molecular

Para obtenção do espectro de absorção molecular foi preparada uma solução do corante de 10 mg L⁻¹. Amostras de 50 mL da solução do corante foram ajustadas ao pH de 1 a 11. A análise dos picos de absorbância máxima foi obtida pela varredura dentro da faixa espectral de 400 nm a 750 nm por espectrofotometria (Shimadzu UV-1601), obtendo-se o comprimento de onda utilizado nos experimentos posteriores para as leituras de cada pH.

2.5 Efeito do pH

O efeito do pH foi avaliado colocando em contato 50 mL de solução de corante (150 mg L⁻¹) com 0,5 g de adsorvente palito de erva-mate. O pH da solução foi ajustados para os valores em torno de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. O ensaio foi realizado na temperatura de 30 °C e em rotação de 160 rpm. Os experimentos foram realizados em triplicata. A quantidade de corante adsorvida por massa de palito no equilíbrio (q_{eq}) foi calculada utilizando a Equação (01).

$$q_{eq} = \frac{(C_0 - C_{eq}) V}{m_s} \quad (01)$$



Em que, C_0 e C_{eq} são as concentrações inicial e de equilíbrio (mg L^{-1}), respectivamente, V o volume de solução (L) e m_s a massa seca do palito de erva-mate (g).

2.6 Cinética de Adsorção

O ensaio cinético foi realizado nas seguintes condições experimentais: 50 mL da solução de corante, C_0 de 150 mg L^{-1} com pH de 5,31 (sem correção), 0,5 g de palito de erva-mate, temperatura controlada de 30°C e agitação de 160 rpm em shaker por 24 horas. Os experimentos foram realizados em duplicata. O comprimento de onda utilizado foi 664 nm conforme definido nos experimentos anteriores. A quantidade de corante adsorvida em cada instante de tempo (q_t) foi calculada utilizando a Equação (02).

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m_s} \quad (02)$$

Sendo, C_t a concentração de corante em determinado tempo (mg L^{-1}).

2.7 Saturação do Adsorvente

A saturação do adsorvente consistiu em colocar em contato 100 g de palito de erva-mate com 10 L de uma solução de corante na concentração de 300 mg L^{-1} , utilizando-se um agitador mecânico (Marconi modelo MA-039) sob rotação de 100 rpm durante 24 horas em temperatura ambiente ($25\text{-}30^\circ \text{C}$). A biomassa saturada foi separada e seca em estufa à 40°C por 48 horas. A quantidade de corante adsorvida por grama de adsorvente foi calculada utilizando a Equação (01).

2.8 Escolha do Agente Eluente

Para o ensaio de dessorção do corante a partir do adsorvente palito de erva-mate dois diferentes agentes eluentes (HCl e NaCl) foram avaliados. Cada agente eluente foi estudado em três diferentes concentrações, sendo para HCl, $0,005 \text{ mol L}^{-1}$, $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, e para NaCl, $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e 1 mol L^{-1} .

O ensaio foi realizado em triplicata nas mesmas condições da etapa de adsorção (item 2.6) utilizando 50 mL de agente eluente.

As amostras foram centrifugadas por três minutos sob rotação de 3000 rpm (Parsec CT-0603). O comprimento de onda empregado foi aquele obtido pelo espectro de absorção molecular para o pH da solução. A concentração do corante em solução foi quantificada utilizando-se a equação dada pela curva de calibração no respectivo pH.

A eficiência da dessorção ED (%) foi calculada a partir da razão entre a concentração de corante na solução de eluente ao final do experimento de dessorção e a concentração de corante inicialmente adsorvida no palito de erva-mate, como mostra a Equação (03).

$$ED(\%) = \frac{C_{\text{final}}}{C_{\text{inicial}}}. 100 \quad (03)$$

A concentração inicial adsorvida no palito de erva-mate foi determinada no experimento do item 2.7.

2.9 Cinética de Dessorção

A cinética de dessorção do corante foi realizada para o melhor resultado do agente eluente e sua concentração. As condições experimentais utilizadas foram: 0,5 g de palito de erva-mate saturado com corante, 50 mL da solução do agente eluente selecionado, temperatura controlada de 30°C , agitação de 160 rpm. Este ensaio foi realizado em duplicata, sendo as amostras retiradas em intervalos de tempos pré-estabelecidos ao longo de 24 horas e centrifugadas durante três minutos sob rotação de 3000 rpm. O comprimento de onda utilizado foi de 665 nm em virtude do corante dessorvido em solução do agente eluente apresentar pH de aproximadamente 1,44. A eficiência da dessorção foi calculada usando a equação (03).



2.10 Ciclos de Adsorção/Dessorção

Os ciclos de adsorção/dessorção do corante utilizando o palito de erva-mate foram realizados em triplicata com soluções de 50 mL de agente eluente na dessorção (HCl 0,05 mol L⁻¹) e 50 mL de solução de corante com concentração inicial de 300 mg L⁻¹ na adsorção. A massa de adsorvente utilizada nos ciclos foi de 0,5 g. A temperatura foi de 30 °C e agitação de 160 rpm. O tempo de contato para a adsorção foi de 6 horas e de 2 horas para a dessorção.

A eficiência da dessorção foi calculada utilizando a Equação (03) e a eficiência de adsorção EA(%) pela equação (04).

$$EA(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100 \quad (04)$$

Sendo C₀ a concentração inicial da solução de corante (mg L⁻¹) e C_e a concentração de equilíbrio (mg L⁻¹).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ponto de Carga Zero

O resultado obtido no experimento do Ponto de Carga Zero (PCZ) dos palitos de erva-mate está representado na Figura 1.

O ponto de carga zero revela a característica da superfície do material, pois quando pH < pH_{PCZ} a superfície apresenta uma carga líquida positiva, e quando pH > pH_{PCZ} tem uma carga líquida negativa, a qual favorece a adsorção de corantes catiônicos (SRIVASTAVA et al., 2008), sendo o caso do corante azul de metileno.

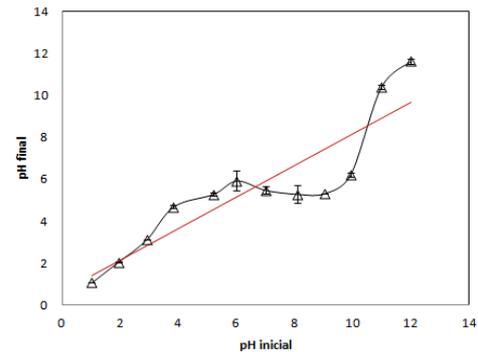


Figura 1. Dados experimentais do PCZ para o palito de erva-mate (180 rpm, 30°C, 24 horas).

A Figura 1 apresenta uma faixa constante de pH final pelos valores de pH inicial, no intervalo de pH 5 a 9. O cálculo do pH_{PCZ} consiste em realizar a média dos pontos que se apresentam constantes para pH final, sendo o valor obtido de 5,46, ou seja, os palitos de erva-mate possuem um comportamento tampão em solução aquosa em torno deste pH.

3.2 Espectro de Absorção Molecular

A Figura 2 representa o espectro de absorção molecular obtido para o corante azul de metileno em pH de 1 a 11 e na Tabela 1 são apresentados os comprimentos de onda correspondentes a máxima absorbância obtidos nos diferentes pH.

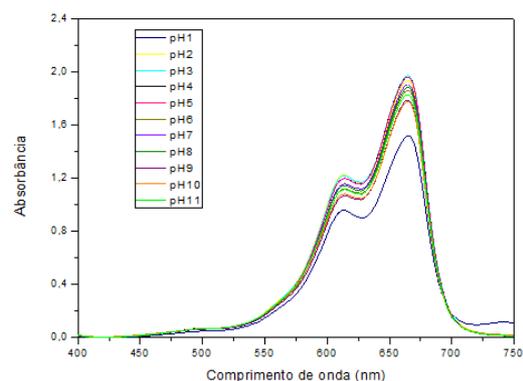


Figura 2. Espectro de absorção molecular do azul de metileno em pH de 1 a 11 (C₀ = 10 mg L⁻¹).

Na Figura 2 são apresentados os espectros visíveis para o corante azul de metileno, na qual se observou que no pH 1 (curva de cor azul forte), houve duas bandas



intensas, sendo a de menor intensidade em 613,2 nm e de maior intensidade em 665 nm.

Aumentando o pH da solução de corante se verificou que a intensidade das bandas aumentaram até o valor de pH 3 (curva de cor azul claro), em que se observou duas bandas mais intensas (Figura 2), correspondendo aos comprimentos de onda de 664 nm e 613,4 nm. Em pH maiores de 3 observa-se que as curvas apresentam um comportamento semelhante mas com diminuição de energia das bandas.

Para quantificar a concentração do corante por meio das leituras de absorvância, curvas de calibração do corante azul de metileno foram obtidas para os diferentes pH (1 a 11), no comprimento de onda pré-determinado para cada valor de pH. As curvas de calibração para o corante azul de metileno apresentaram coeficientes de determinação (R^2) maiores de 0,994.

Tabela 1. Comprimentos de onda correspondentes a máxima absorvância dos respectivos pH.

pH	λ (nm)	pH	λ (nm)
1	665	6	664
2	664	7	664
3	664	8	664,6
4	664	9	664,4
5	664	10	664,6
6	664	11	663,6

Para a continuidade do trabalho mediu-se o pH da solução e empregou-se o comprimento de onda da Tabela 1 relativo a esse pH para realizar as leituras das amostras. Quando a solução de corante apresentava o pH (sem ajuste do pH) na faixa de 5 a 6, a absorvância foi determinada em comprimento de onda de 664 nm, o que concorda com Vargas (2011) em seus estudos utilizando o corante azul de metileno.

3.3 Efeito do pH

O efeito do pH da solução foi avaliado na capacidade de remoção do corante azul de metileno pelo palito de erva-mate. Os resultados para os diferentes pH na remoção do corante são apresentados na Figura 3.

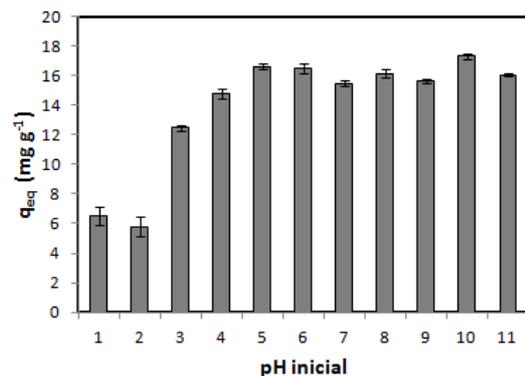


Figura 3. Quantidade de corante adsorvido em diferentes pH ($C_0= 150 \text{ mg L}^{-1}$, $T= 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $m= 0,5 \text{ g}$ adsorvente, 160 rpm).

Na Figura 3, pode-se observar que houve um acréscimo na quantidade de corante adsorvida do pH 1 até 5, correspondendo a um aumento da quantidade de corante adsorvida de $6,52 \text{ mg g}^{-1}$ para $16,6 \text{ mg g}^{-1}$. Isso confirma o pH_{PCZ} obtido, pois a percentagem de remoção do corante catiônico aumentou com o aumento do pH devido a superfície apresentar um aumento da carga líquida negativa.

Além disso, verifica-se que o ajuste do pH da solução não se faz necessário em virtude do pH na faixa de 4,7 a 10,9 apresentar uma quantidade de corante adsorvida relativamente próxima, isto é, variando entre $15,5 \text{ mg g}^{-1}$ e $17,3 \text{ mg g}^{-1}$. A quantidade adsorvida nessa faixa de pH não aumentou crescentemente como previsto pelo pH_{PCZ} , este fato provavelmente se deve a capacidade de adsorção dos palitos de erva-mate ter sido atingida. Um comportamento semelhante a este também foi observado por BRITO et al. (2010) em seus estudos para o mesmo corante utilizando como adsorvente a casca de nozes.



3.3 Cinética de Adsorção

O tempo de equilíbrio obtido para a remoção do corante azul de metileno pelo palito de erva-mate é apresentado na Figura 4.

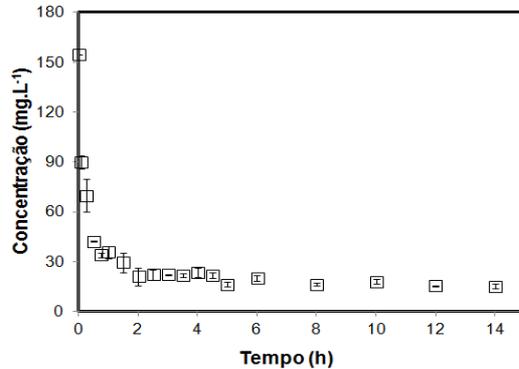


Figura 4. Dados cinéticos experimentais da adsorção do corante pelo palito de erva-mate ($C_0=150 \text{ mg L}^{-1}$, pH de 5,31 (sem correção), $T=30^\circ \text{ C}$, 160 rpm).

Na Figura observa-se que a curva cinética atinge o equilíbrio a partir de 6 horas, tempo correspondente a concentração de corante de $19,9 \text{ mg L}^{-1}$.

A adsorção do corante azul de metileno utilizando os palitos de erva-mate atingiu 72,74% de remoção comparando com a quantidade de corante inicial quando decorrido 30 minutos de contato. Transcorridos 2 horas e 30 minutos, a remoção do corante foi de 85,75%, estendendo o tempo em duas horas (4 horas e 30 minutos), obteve-se um processo de adsorção com pouca variação, sendo uma porcentagem de remoção adicional de 0,4%. Assim, para 6 horas de contato as remoções de corante alcançaram 87,14%, correspondendo a uma quantidade total adsorvida em equilíbrio de $13,5 \text{ mg g}^{-1}$.

3.4 Saturação do Palito de Erva-Mate

Os resultados para a saturação do palito de erva-mate utilizado no experimento de seleção do agente eluente são apresentados na Tabela 2.

Pode-se observar (Tabela 2) que após um período de 24 horas a adsorção do corante pelo palito de erva-mate foi de 86,05%, valor

aproximado à porcentagem removida já relatada no ensaio cinético de adsorção, no qual se obteve no equilíbrio ($t=6$ horas) uma remoção de 87,14%.

Tabela 2. Remoção do corante pelo palito de erva-mate. ($C_0=300 \text{ mg L}^{-1}$, 10 L de solução, 100 rpm, $T \approx 25\text{-}30^\circ \text{ C}$, 10 g L^{-1} , pH 5 a 6, 24 h).

Concentração de equilíbrio (mg L^{-1})	Remoção (%)	q_{eq} (mg g^{-1})
41,58	86,05	27,97

3.5 Escolha do Agente Eluente

Como a reutilização do palito de erva-mate saturado e a recuperação do corante azul de metileno contribuem economicamente para o tratamento de efluentes, analisaram-se as eficiências de dessorção do corante com diferentes eluentes como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Eficiência da dessorção do corante azul de metileno utilizando diferentes eluentes (50 mL do agente eluente, $q_{eq}=27,97 \text{ mg g}^{-1}$, 100 rpm, 30° C , 6 g L^{-1} , 24 horas).

Eluente	pH	Eficiência da dessorção (%)
HCl $0,005 \text{ mol L}^{-1}$	3,41	54,56
HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$	2,10	61,99
HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$	1,20	50,96
NaCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$	6,89	10,15
NaCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$	6,51	21,26
NaCl 1 mol L^{-1}	6,29	16,70

A Tabela 3 revela que o agente eluente HCl é mais efetivo que a solução de NaCl, informação coerente baseado no efeito das cargas na superfície do adsorvente já discutido no experimento do pH_{PCZ} . Sendo assim, $\text{pH} < \text{pH}_{PCZ}$ a superfície apresenta uma carga líquida



positiva favorecendo a dessorção do corante catiônico azul de metileno.

Observando o comportamento das diferentes concentrações para o agente eluente HCl, conclui-se que a concentração de $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ apresentou a melhor eficiência de dessorção, igual a 61,99%.

3.6 Cinética de Dessorção

A seleção do eluente e sua concentração são fundamentais para a recuperação bem sucedida do adsorvente. A cinética de dessorção do corante azul de metileno a partir do palito de erva-mate empregando como agente eluente o HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ esta representada na Figura 5.

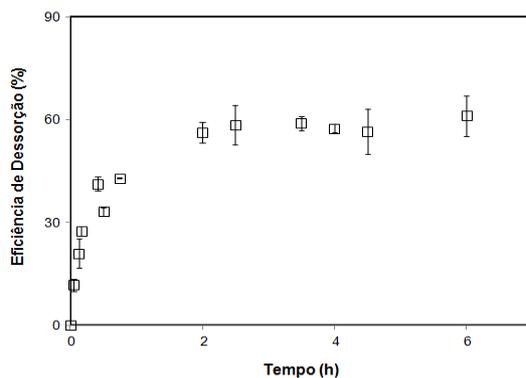


Figura 5. Eficiência de dessorção do corante em função do tempo (50 mL de eluente; pH=1,44, T= $30 \text{ }^\circ\text{C}$, 160 rpm, $q_{eq} = 27,97 \text{ mg g}^{-1}$).

A dessorção do corante foi crescente até atingir o tempo de 2 horas, sendo este o tempo de equilíbrio para a dessorção, no qual se obteve uma eficiência de 56,42%, correspondendo a uma concentração final de corante em solução de $168,2 \text{ mg L}^{-1}$.

3.7 Ciclos de Adsorção/Dessorção

Os resultados obtidos nos ciclos de adsorção/dessorção do corante são apresentados na Figura 6.

Observa-se na figura que a capacidade de adsorção do palito de erva-mate diminui ao ser reutilizado até atingir uma estabilidade após o segundo ciclo. A eficiência de adsorção do corante de 76,8% no primeiro ciclo foi reduzida para 26,54% no segundo ciclo.

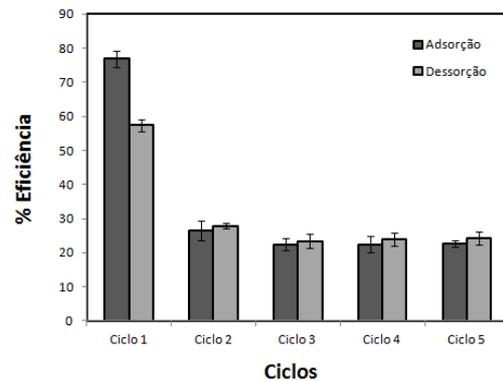


Figura 6. Ciclos de Adsorção/Dessorção (50 mL de eluente; T= $30 \text{ }^\circ\text{C}$, 160 rpm, $q_{eq} = 27,97 \text{ mg g}^{-1}$).

No processo de dessorção, a eficiência no primeiro ciclo foi de 57,4% reduzindo à metade desta eficiência (27,8%) no segundo ciclo. A partir do segundo ciclo o comportamento tanto na adsorção quanto na dessorção do azul de metileno se mantiveram constantes e semelhantes.

Esse estudo demonstrou que a reutilização da biomassa palito de erva-mate em sucessivos ciclos de adsorção/dessorção do corante azul de metileno em sistema batelada não é recomendável em virtude da baixa eficiência obtida (menor de 27%) nos ciclos 2, 3, 4 e 5.

A reutilização da biomassa se justifica apenas para a eficiência obtida no primeiro ciclo. A partir do segundo ciclo a taxa de eficiência de dessorção é maior que a taxa de eficiência de adsorção gerando mais efluente com corante do que efluentes tratados. Comportamento semelhante ocorreu com amido enxertado p-terc-butil-calix[4,6,8]areno-SGCn usado como adsorvente da solução de Rhodamine (Chen et al., 2011).

4. CONCLUSÃO

O palito de erva-mate facilmente disponível na região foi investigado como um bioadsorvente na remoção do corante azul de metileno. A capacidade de adsorção da biomassa foi de $13,5 \text{ mg g}^{-1}$. A adsorção do corante não apresentou variação expressiva



para soluções com pH de 4,7 a 10,9, característica vantajosa para a solução de corante que sem qualquer ajuste apresenta pH entre 5 e 6. A isoterma de adsorção atingiu equilíbrio numa concentração de $182,92 \text{ mg L}^{-1}$ equivalente a quantidade de corante adsorvida em equilíbrio de $34,91 \text{ mg g}^{-1}$. O agente eluente HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ mostrou ser mais efetivo no processo de dessorção (61,99%) do corante. O equilíbrio na dessorção foi atingido em 2 horas apresentando 56,42% de eficiência. Os ciclos de adsorção/dessorção do azul de metileno indicaram que a reutilização do adsorvente palito de erva-mate não é recomendável.

5. REFERÊNCIAS

- 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 indigo carmine from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 174, 84–92, 2010.
- BULUT, Y.; AYDIN, H. A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. *Desalination*, 194, 259–267, 2006.
- CHEN, M.; SHANG, T.; FANG, W.; DIAO, G. Study on adsorption and desorption properties of the starch grafted p-tert-butyl-calix[n]arene for butyl Rhodamine B solution. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 914–921, 2011.
- DENG, H.; LU, J.; LI, G.; ZHANG, G.; WANG, X. Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Chemical Engineering Journal*, 172, 326–334, 2011.
- DOGAN, M.; ABAK, H.; ALKAN, M. Adsorption of methylene blue onto hazelnut shell: Kinetics, mechanism and activation parameters. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 172–181, 2009.
- GUILARDUCI, V. V. S.; MESQUITA, J. P.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. *Química Nova*, 29 (6), 1226–1232, 2006.
- GUIOTOKU, M.; LAZARIS, V.; DALLAGO, R. M.; MAGALHÃES, W. L. E. Utilização de palitos de erva-mate na produção de painéis de aglomerado. Comunicado Técnico. Colombo, PR, Dezembro, 2008.
- HAMEED, B. H.; AHMAD, A. A. Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 870–875, 2009.
- KAPDAN, I. K.; KARGI, F. Simultaneous biodegradation and adsorption of textile dyestuff in an activated sludge unit. *Process Biochemistry*, 37, 973–981, 2002.
- MCKAY, G.; RAMPRASAD, G.; MOWLI, P. Desorption and regeneration of dye colours from low-cost materials. *Water Research*, 21 (3), 375–377, 1987.
- REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. *The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation*. University of Illinois, Chicago. 2004.
- SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. Adsorption of toxic metal ions onto activated carbon e study of sorption behaviour through characterization and kinetics. *Chemical Engineering Process*, 47, 1275–1286, 2008.
- VARGAS, A. M. M.; CAZETTA, A. L.; KUNITA, M. H.; SILVA, T. L.; ALMEIDA, V. C. Adsorption of methylene blue on activated carbon produced from flamboyant pods (*Delonix regia*): Study of adsorption isotherms and kinetic models. *Chemical Engineering Journal*, 168, 722–730, 2011.