

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE CARVÃO ATIVADO QUIMICAMENTE A PARTIR DE CASCA DE BANANA

Alexandra Monego Bugiereck¹, Samara Moro Behling¹, Josiane Maria Muneron de Mello^{1,2}, Márcio Antônio Fiori², Gustavo Lopes Colpani¹, Jacir Dal Magro^{1,2}

Resumo

A presença de corantes em corpos hídricos tem proporcionado efeitos indesejáveis à biota aquática e à saúde humana, sendo imprescindível a remoção dos mesmos através de tecnologias como a adsorção por carvão ativado. Neste trabalho o carvão ativado foi produzido a partir da casca de banana, sendo avaliada a sua eficiência como precursor de um adsorvente para a remoção do azul de metileno. O carvão foi preparado por duas rotas distintas, a ativação química, com uma solução aquosa de ácido fosfórico 1:1 e carbonização por 2 horas a 600 °C, e a carbonização por 2 horas a 400 °C. As cinéticas demonstraram que o modelo de pseudossegunda ordem adequou-se aos dados experimentais, por apresentar a menor diferença entre a quantidade adsorvida calculada e a experimental. A amostra submetida à ativação química apresentou uma capacidade adsortiva no equilíbrio de 6,89 mg.g⁻¹, enquanto a amostra carbonizada atingiu 8,36 mg.g⁻¹. A isoterma de Freundlich apresentou melhor ajuste aos dados para a amostra ativada, com a constante $K_f = 107,168 ((\text{mg.g}^{-1}).(\text{L.mg}^{-1})^{1/n})$, enquanto a isoterma de Langmuir representou melhor a amostra carbonizada, com $K = 0,038 \text{ L.mg}^{-1}$. Os resultados demonstraram que os carvões obtidos com ambas rotas avaliadas são eficientes na remoção de corantes catiônicos.

Palavras Chaves: Carvão de Casca de Banana. Carvão Ativado. Adsorção de Corantes.

Abstract

The presence of dyes in water bodies has demonstrated undesirable effects about the biota and human health, being imperative to remove them through technologies such as adsorption using activated carbon. In this paper the activated carbon was produced using banana peel, being evaluated its efficiency like a precursor of a adsorbent in the methylene blue removal. The carbon was prepared by two distinctive routes, the chemical activation with an aqueous solution of phosphoric acid 1:1 and carbonization for 2 hours at 600 °C and the carbonization for 2 hours at 400 °C. The kinetics evaluations demonstrated that the pseudo-second order fitted better to the experimental data due to present the lowest deviation between the calculate adsorbed quantity and the experimental. The sample submitted to the chemical activation showed an adsorbed capacity at the equilibrium equal to 6,89 mg.g⁻¹, while the carbonized sample achieved 8,36 mg.g⁻¹. The Freundlich isotherm demonstrated better fit to the data for activated carbon, with K_f constant value equal to $107,168((\text{mg.g}^{-1}).(\text{L.mg}^{-1})^{1/n})$, while the Langmuir isotherm represented better the carbonized sample, with $K = 0,038 \text{ L.mg}^{-1}$. The results demonstrated that the carbons obtained with both evaluated routes are efficient in the cationic dyes removal.

Key-words: Banana Peel. Activated Carbon. Dyes Adsorption.

¹ 1Núcleo de Iniciação Científica em Reaproveitamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes, Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECÓ –, e-mail: alexandrbugiereck@unochapeco.edu.br.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECÓ, e-mail: jacir@unochapeco.edu.br.

Introdução

A popularização do modelo consumista, herança da Revolução Industrial, e o desenfreado crescimento populacional – hoje em não menos do que 7 bilhões de seres humanos – tem propiciado o *boom* industrial que caracteriza as últimas décadas. Esta expansão setorial proporciona à sociedade, bens de suma importância, tais como os alimentícios, de materiais e serviços. Em sentido oposto, costuma-se apontar a atividade industrial como causa da degradação ambiental, sendo um dos temas que mais gera custos aos estados e seus governantes, e da mesma maneira preocupa as empresas atuantes no setor (AGUIAR *et al.*, 2002). Assim, em uma sociedade que clama pelo racionamento e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, mostra-se o presente trabalho como uma alternativa para o tratamento de efluentes gerados por diversos segmentos empresariais.

A poluição pode ser definida como qualquer alteração física, química ou biológica que produza modificação no ciclo biológico normal, interferindo na composição da fauna e da flora do meio (AGUIAR *et al.*, 2002). Os corantes, em conjunto com os metais pesados, quando presentes nos efluentes, podem ser considerados como potenciais poluidores, pois levam à contaminação de rios e lagos, atingindo diretamente a fauna e também a flora subaquática destes locais (QUÍMICA VERDE NO BRASIL, 2010).

Do ponto de vista ambiental, a remoção da cor dos efluentes é um dos grandes problemas enfrentados pelo setor têxtil. A elevada estabilidade biológica dos corantes dificulta sua degradação pelos sistemas de tratamento convencionais (normalmente lodo ativado) empregados pelas indústrias têxteis (DALLAGO e SMANIOTTO, 2005). As substâncias corantes contribuem significativamente para a poluição de recursos hídricos por dificultarem a penetração dos raios solares, prejudicando o metabolismo fotossintético de algumas espécies; além disso, apresentam-se como recalcitrantes e potencialmente cancerígenos (FREIRE e FREITAS, 2010).

Juntamente com os corantes, os metais pesados apresentam-se, do mesmo modo, como substâncias extremamente prejudiciais ao meio ambiente, por serem tóxicos e não compatíveis com a maioria dos tratamentos biológicos de efluentes existentes. Aguiar *et al.*, (2002) cita os efluentes industriais, de mineração e das lavouras como as principais fontes de poluição por metais pesados.

As técnicas de tratamento fundamentadas em processos de coagulação, seguidos de separação por flotação ou sedimentação, apresentam elevada eficiência na remoção de material particulado. No entanto, a remoção de cor e de compostos orgânicos dissolvidos é ineficiente com tais técnicas, sendo os processos de adsorção, por carvão ativado, mais eficiente (KUNZ *et al.*, 2002).

Para Derbyshire e colaboradores (1995) as principais aplicações do carvão ativado são: o tratamento de água, descolorante, recuperação de ouro, recuperação de solventes, filtros de proteção e purificação de gases.

Os processos de adsorção, que envolvem a transferência de massa de uma fase fluida para a superfície de um sólido, vêm sendo amplamente estudados por apresentar elevada eficiência e por serem economicamente viáveis no tratamento de efluentes têxteis. A utilização de materiais de baixo custo na fabricação do carvão ativado é uma alternativa para a utilização de rejeitos industriais alimentícios, que normalmente são descartados e acabam perdendo seu valor (JUCHEN *et al.*, 2013).

A banana é a segunda fruta mais produzida no Brasil e é consumida em diversas formas, como purê, doces, sobremesas e *in natura*. Porém, a sua casca geralmente é descartada, ou em alguns casos, é utilizada na alimentação de animais ou eventualmente em compostagem (BAKRY *et al.*, 1997; EMBRAPA, 2012). Atualmente existem poucos trabalhos na literatura que relatam o aproveitamento dos resíduos da banana como insumo na produção de algum tipo de material útil para o meio ambiente. O uso destes resíduos permitiria a redução da poluição ambiental, e também agregaria valor à cultura da banana, esta, que nos últimos anos vem enfrentando grandes desafios gerados pelo balanço de consumo e produção do produto no mercado nacional (FILHO, 2011).

Uma opção é o seu emprego como precursor de carvão ativado, por se tratar de um material de baixo custo e de grande disponibilidade no território nacional. A casca corresponde a aproximadamente 30 % a 40 % do peso total da fruta e apresenta na sua composição grupos de hidroxila e de carboxila da pectina. Estes grupos garantem a sua capacidade de adsorção de metais pesados e compostos orgânicos no tratamento de efluentes (MACIEL, 2013).

Desta forma, este trabalho apresenta resultados de estudos que confirmam a viabilidade da aplicação da casca de banana para produção de carvão ativado e sua aplicação como elemento adsorvente. O trabalho emprega duas rotas para a obtenção do adsorvente, empregando numa o ácido fosfórico para a ativação química e na outra somente carbonização.

Material e Métodos

Preparação das amostras

As amostras foram preparadas a partir de cascas de banana *in natura*, que foram adquiridas no comércio local da cidade de Chapecó-SC. A casca da banana natural foi higienizada através da lavagem do material com água, com auxílio de uma esponja foi removido as sujidades pertinentes, posteriormente

picada e seca em um desidratador de frutas e de hortaliças por 24 horas em temperatura de 60 °C. Após a secagem foram trituradas e peneiradas até granulometria menor que 0,6 mm. A farinha obtida, denominada por MP, foi armazenada em sacos plásticos e mantida sob refrigeração.

A MP foi submetida ao processo de ativação química com ácido fosfórico 1:1 por 1 hora (amostra C1), seca a 100 °C em estufa e submetida à carbonização em mufla à atmosfera ambiente por 2 horas a 600 °C com taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹. Uma segunda amostra da MP foi carbonizada a 400 °C por 2 horas (amostra C2), sem o tratamento químico por solução ácida e de acordo com as metodologias testadas por Colpani (2012). Após carbonização a amostra C1 foi submetida à lavagem com uma solução de bicarbonato de sódio 1 % a 80 °C até a neutralização, sendo seca a 100 °C em estufa até a sua massa permanecer constante. O carvão seco foi macerado até apresentar-se como um pó fino.

Os carvões obtidos com este método de preparação estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos parâmetros empregados na preparação do carvão.

Amostras	Ativação	Tempo de ativação	Temperatura de carbonização	Tempo de carbonização
C1	Ácido Fosfórico 1:1 a 80°C	1 hora	600°C	2 horas
C2	Não	Não	400°C	2 horas

Ensaio de cinética

Os estudos da cinética de adsorção foram realizados em batelada, utilizando-se 1 g de amostra de cada carvão em 500 ml de solução contendo 15 mg.L⁻¹ do corante azul de metileno em temperatura de 20°C. A cada 5 minutos da primeira hora foram coletadas alíquotas da solução, sendo na sequência retiradas a cada meia hora até que fosse atingido o equilíbrio. Para a análise da concentração do corante azul de metileno na solução, utilizou-se um espectrofotômetro UV-Visível (modelo SP 220, marca Biospectro) e o valor de 665 nm foi utilizado como comprimento de onda para a avaliação da variação da concentração do azul de metileno na solução e conseqüentemente a capacidade adsorviva dos carvões.

Ensaio de Isoterma

As amostras foram submetidas a análises de adsorção no equilíbrio para obtenção de isotermas. Para a realização das isotermas, foi preparada uma solução de azul de metileno com 100 mg.L⁻¹, a qual foi transferida a 8

erlenmeyers, contendo 300 ml cada. Foram pesadas oito amostras de massa igual a 0,05 g à 0,4 g, com variação de 0,05 g, e estas colocadas nos erlemeyers. As amostras tiveram seu pH inicial avaliado e foram submetidas a agitação por 5 h em um *shaker* (modelo DST 01, marca Dist). Após a agitação e o equilíbrio atingido, foram recolhidos 5 ml de cada amostra, em triplicata, os quais foram submetidos a centrifugação por 7 minutos à 3600 rpm. Na sequência, as alíquotas foram quantificadas mediante a leitura da absorbância em 665 nm. Os espectros de absorção foram obtidos com um espectrofotômetro UV-Visível (modelo SP 220, marca Bioespectro) mediante a leitura da absorbância em 665 nm.

A partir das magnitudes da banda de absorção foi associada diretamente a concentração do corante na solução e, assim determinou-se a capacidade de adsorção dos carvões e as constantes referentes às isotermas de Langmuir e Freundlich.

Análise morfológica

A morfologia dos materiais obtidos, amostras C1 e C2, foi caracterizada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV). As análises de microscopia eletrônica foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da Universidade Federal de Santa Catarina, utilizando o equipamento JEOL JSM-6390LV. No intuito de avaliar as alterações das estruturas devido aos diferentes parâmetros empregados, foram geradas microfotografias do material.

O material em pó, previamente seco foi aderido a um suporte metálico (*stub*), com fita de carbono e recoberto com um filme de ouro, devido características isolantes do carvão. As ampliações aplicadas foram de 5000 vezes.

Resultados e Discussão

Análise morfológica

As micrografias foram obtidas para as amostras geradas nos processos com e sem ativação ácida. A Figura 1 apresenta as imagens de MEV para amostras de MP (a), amostras apenas carbonizadas (b) e amostras ativadas por ácido fosfórico (c).

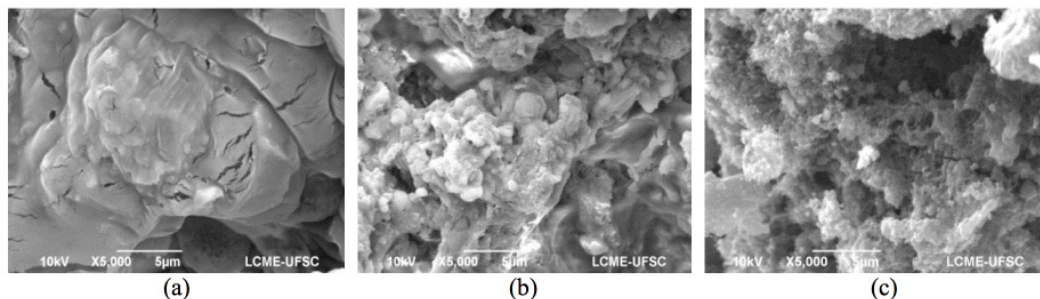


Figura 1 – Micrografias de MEV com ampliação de 5.000 vezes para (a) MP, (b) amostra somente carbonizada – C2 - e (c) amostra ativada e carbonizada - C1.

A ampliação das imagens demonstra que os materiais antes da ativação possuem uma superfície lisa, praticamente sem a percepção de poros, mesmo em ampliações de 5.000 vezes. No entanto, é observado um aumento da densidade dos poros após o processo de ativação do carvão (C1), quando comparado à matéria-prima (MP), sendo observado que o tratamento ácido gerou poros menores e bem distribuídos por toda a superfície do carvão.

O aumento da densidade de poros ocorre devido à agressividade do ácido fosfórico e também pela ação deste que atua como um catalisador para promover a ruptura de ligações aril-éter, formando ésteres fosfóricos pela ligação do agente ativador com os grupos hidroxila da lignina na superfície do material precursor do carvão ativado. Estas reações provocam o afastamento das cadeias e geram a expansão da estrutura e a redistribuição dos carbonos remanescentes, ocorrendo a posterior polimerização destes grupos fosfatos com o aumento de temperatura, aumentando o volume de mesoporos. Após a remoção do ácido, a matriz apresentará um estado expandido com uma estrutura de poros disponíveis para os fenômenos de adsorção (NAHIL, 2012; SABIO *et al.*, 2003).

A amostra C2, também apresenta porosidade superior à MP, pois conforme Clark (2010) uma vez que a carbonização causa a volatilização de compostos voláteis e gases leves, uma estrutura porosa primária será originada.

Cinética de adsorção

As cinéticas de adsorção foram estudadas no intuito de compreender o mecanismo que rege os fenômenos de adsorção nos carvões obtidos. Na análise cinética, os resultados foram ajustados pelos modelos de cinética de pseudo-primeira ordem e pseudossegunda ordem.

Na Figura 2 estão apresentadas as dependências da concentração do corante na solução em função do tempo para as amostras C1 e C2.

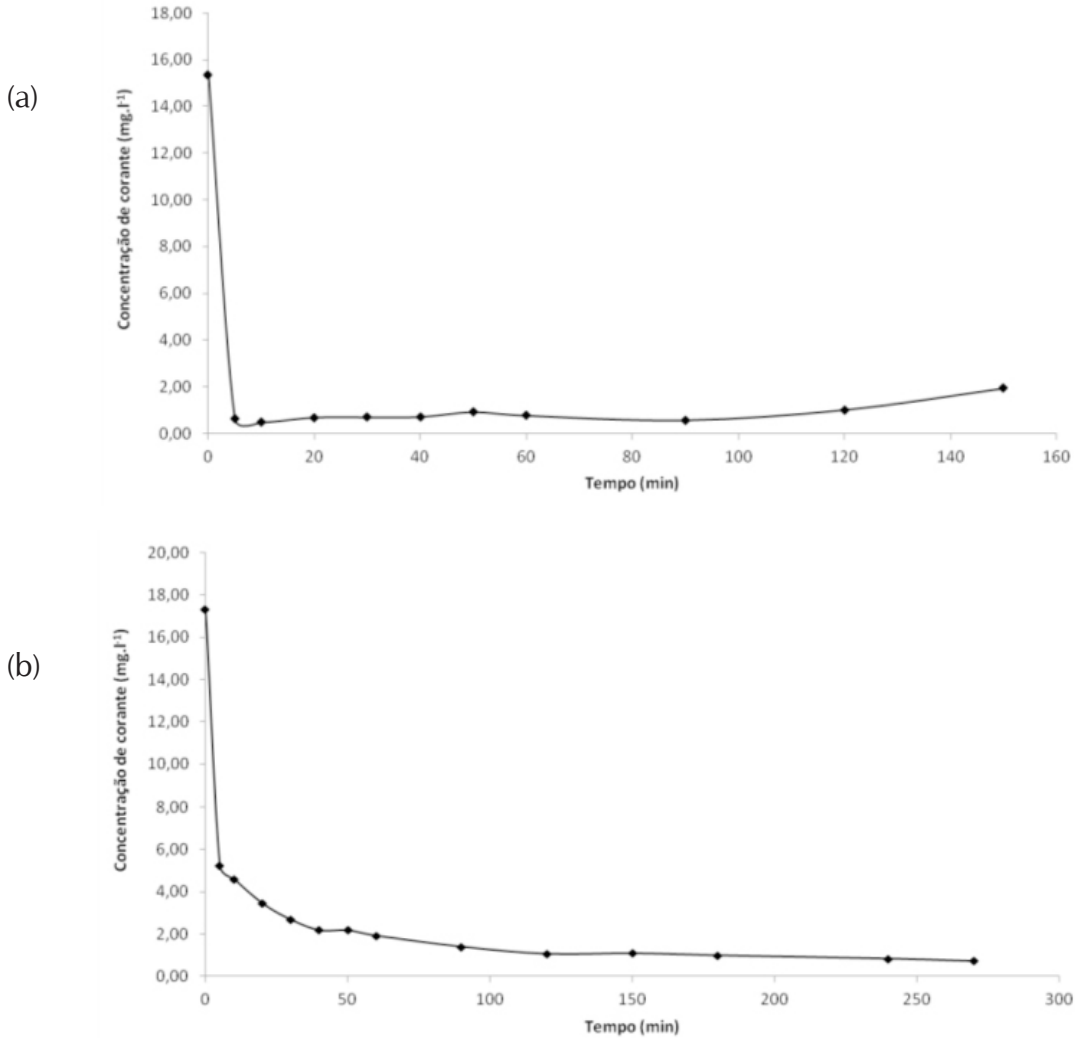


Figura 2 – Concentração de corante na solução em função do tempo. (a) com carvão ativado com ácido fosfórico 1:1 por 1 hora (amostra C1) e (b) carvão apenas carbonizado a 400 °C por 2 horas (amostra C2).

Como pode ser visto na Figura 2, para C1 a remoção de corante ocorreu com eficiência de aproximadamente 98% em apenas 20 min, com uma pequena oscilação posterior devido a fraca dessorção em função de variações no pH, pois conforme Annadurai e colaboradores (2002) este precursor sofre efeito significativo na adsorção do corante azul de metileno devido mudanças no pH. A amostra C2, por sua vez, apresentou aproximadamente 96% de eficiência na remoção do corante, atingindo o equilíbrio após 270 minutos.

As linearizações da relação entre a concentração e o tempo são apresentadas nas Figuras 3 e 4, representando respectivamente os modelos de pseudo-

primeira e pseudossegunda ordem.

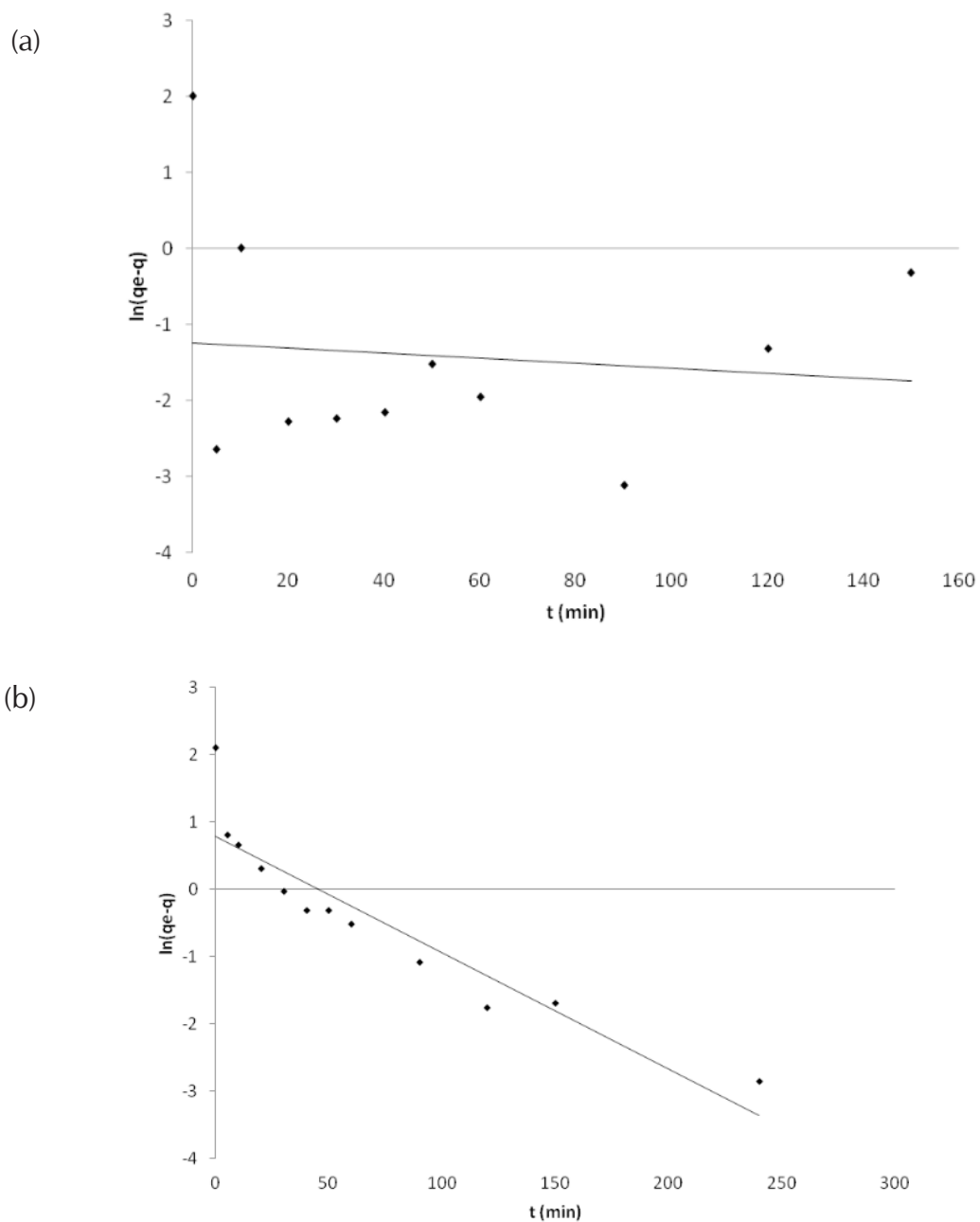


Figura 3 - Linearizações para o modelo de pseudo-primeira ordem, (a) resultados obtidos com carvão ativado com ácido fosfórico 1:1 por 1 hora e (b) com carvão somente carbonizado a 400 °C por 2 horas.

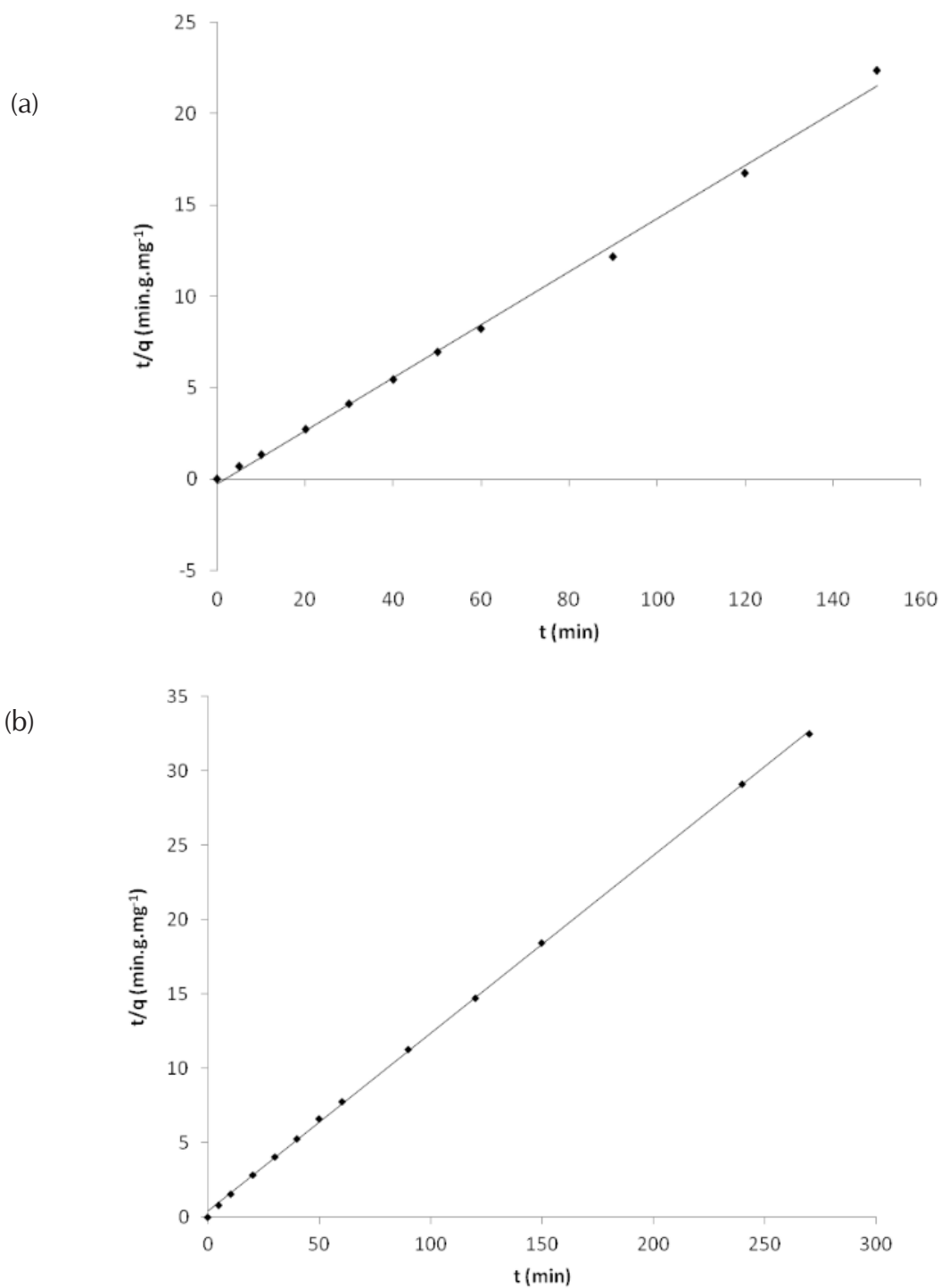


Figura 4 - Linearizações para o modelo de pseudosegunda ordem. (a) resultados obtidos com carvão ativação com ácido fosfórico 1:1 por 1 hora e (b) com carvão somente carbonizado a 400 oC.

Conforme observado nos resultados dos modelos cinéticos propostos, os dados experimentais obtidos melhor enquadraram-se no modelo de pseudossegunda ordem.

A avaliação de ajuste estatístico dos modelos foi realizada pela comparação dos coeficientes de determinação (R^2), e pelos valores de q_e calculados com o ajuste dos modelos e de q_e obtidos a partir dos resultados experimentais, para os modelos de pseudo-primeira e pseudossegunda ordem.

Os parâmetros cinéticos determinados para os modelos de pseudo-primeira e pseudossegunda ordem, obtidos a partir das linearizações para as duas amostras, estão descritos nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Parâmetros cinéticos determinados para o modelo de pseudo-primeira ordem

Carvão	Q_e _{teórico} (mg/g)	Q_e _{experimental} (mg/g)	K (g/mg.min)	R^2
C1	3,461	7,43	0,0033	0,0122
C2	2,199	8,30	0,0173	0,8591

Tabela 3 – Parâmetros cinéticos determinados para o modelo de pseudossegunda ordem

Carvão	Q_e _{teórico} (mg/g)	Q_e _{experimental} (mg/g)	K (g/mg.min)	R^2
C1	6,89	7,43	0,774	0,9971
C2	8,36	8,30	0,034	0,9997

Através da Tabela 3, pode-se verificar que a amostra C2 obteve um q_e igual a 8,30 mg.g⁻¹, muito próximo ao calculado ($q_{e\text{calc}} = 8,36$ mg.g⁻¹). Para a amostra C1 obteve-se experimentalmente um q_e com valor de 7,43mg.g⁻¹, enquanto que o respectivo q_e calculado foi de 6,89 mg.g⁻¹.

Os resultados demonstram que o mecanismo cinético que melhor representou o processo de adsorção de azul de metileno no precursor estudado foi o de adsorção de pseudossegunda ordem, por apresentar o melhor ajuste aos dados experimentais, bem como os menores desvios entre a quantidade adsorvida calculada e experimental no equilíbrio.

Este resultado conduz a possibilidade de uma adsorção química com possível formação de complexos ou grupos superficiais, ocorrendo devido ao mecanismo de pareamento iônico (HO e MCKAY, 1999). Este mecanismo afeta a possibilidade de reutilização do adsorvente devido a difícil remoção do corante da sua superfície.

Isoterma de adsorção

As isotermas de adsorção do azul de metileno foram obtidas para avaliar a

relação de equilíbrio entre a quantidade de material adsorvido e a concentração na fase fluida sob temperatura constante. A forma da função da isoterma é determinada pelo mecanismo de adsorção e pode ser usada para sugerir o tipo de adsorção que ocorre entre o adsorvente e o adsorbato.

O equilíbrio de adsorção de azul de metileno foi expresso em termos de isotermas de adsorção, sendo linearizado pelos modelos de Langmuir e Freundlich, conforme Figuras 5 e 6. As análises demonstraram que a isoterma de Freundlich foi o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais, ou seja, a adsorção ocorre por multicamadas, não existindo limite para saturação e sendo possível o completo preenchimento dos poros.

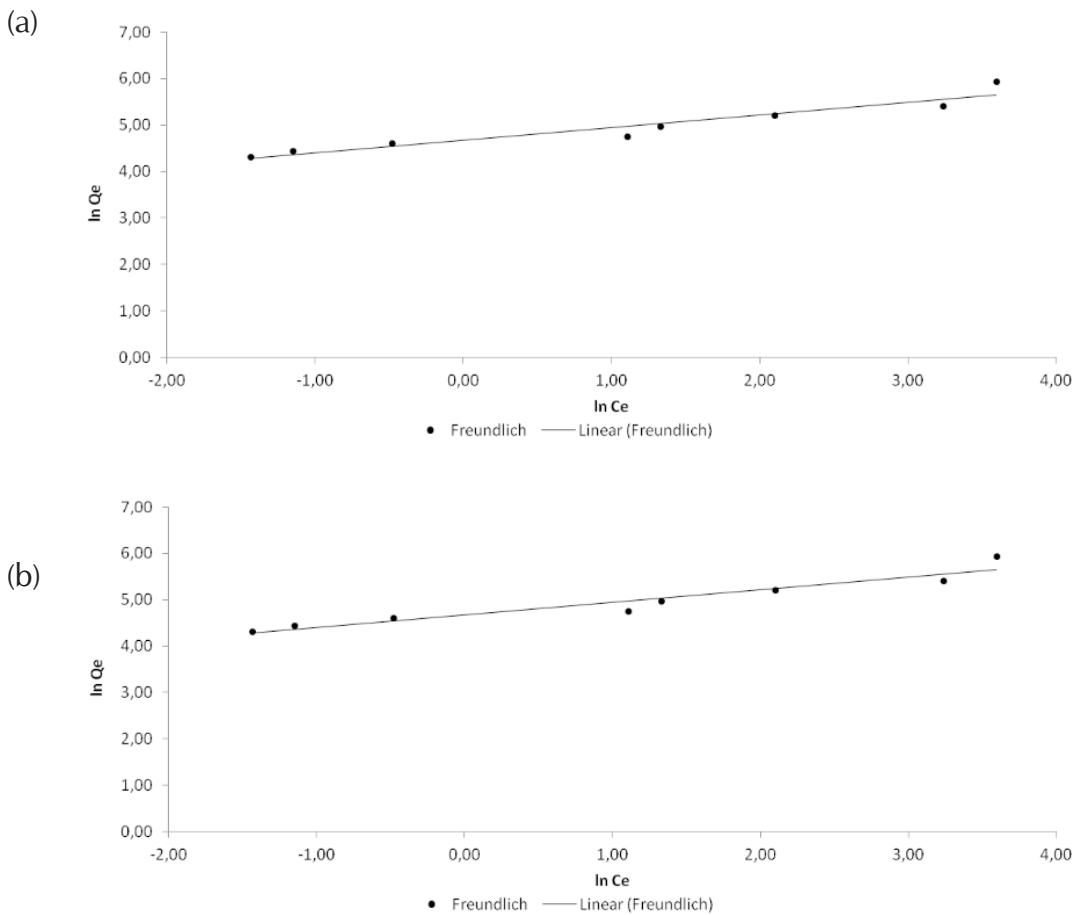


Figura 5 - Linearizações da isoterma de adsorção para o carvão ativado com ácido fosfórico 1:1 por 1 hora em $\text{pH}_{\text{inicial}} = 6,0$. (a) Isoterma de Lagmuir; (b) Isoterma de Freundlich.

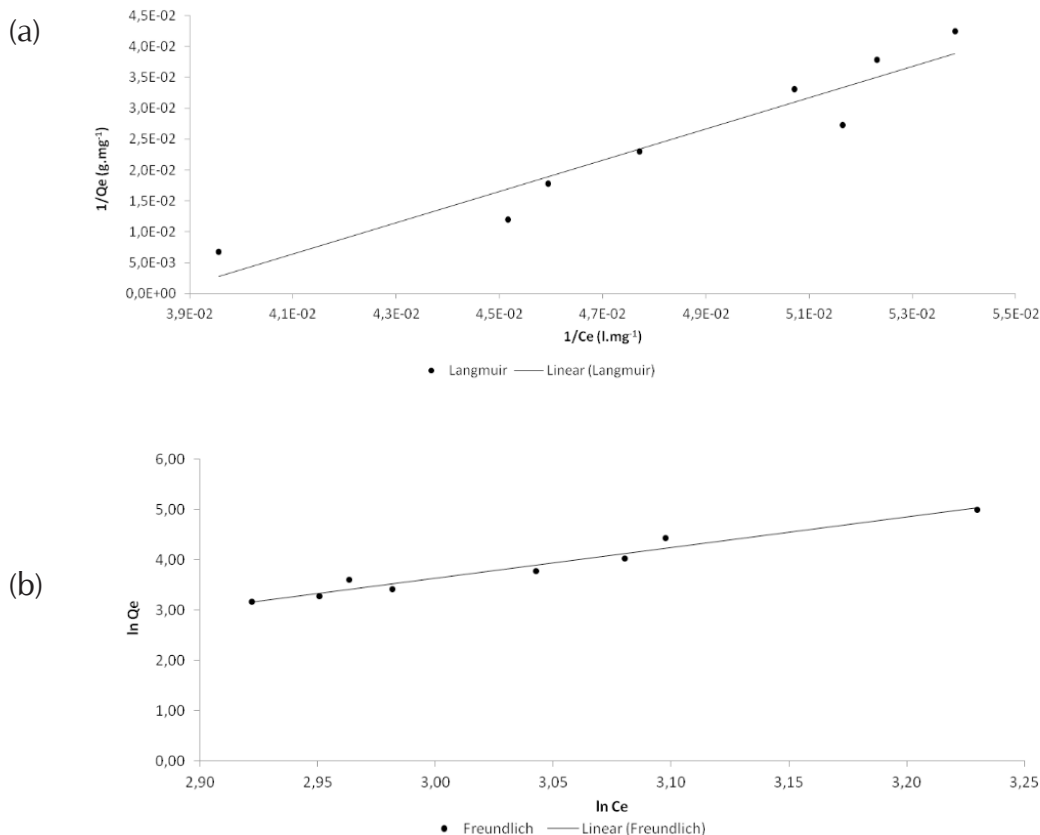


Figura 6 - Linearizações da isoterma de adsorção para o carvão carbonizado a 400 °C em $pH_{inicial} = 6,0$. (a) Isotherma de Lagmuir; (b) Isotherma de Freundlich.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores para os parâmetros das isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich para os dois carvões obtidos, respectivamente.

Tabela 4 - Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para o carvão ativado com ácido fosfórico 1:1 por 1 hora.

Langmuir			Freundlich			
q_{max} (mg.g ⁻¹)	K (L.mg ⁻¹)	R ²	1/n	n	K_F ((mg.g ⁻¹). (L.mg ⁻¹) ^{1/n})	R ²
185,185	2,700	0,8058	0,272	3,671	107,168	0,9181

Tabela 5 - Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para o carvão carbonizado a 400°C.

Langmuir			Freundlich			
q_{max} (mg.g ⁻¹)	K (L.mg ⁻¹)	R ²	1/n	n	K_F ((mg.g ⁻¹). (L.mg ⁻¹) ^{1/n})	R ²
10,288	0,038	0,9048	6,057	0,165	4,85x10 ⁻⁷	0,9579

As análises gráficas demonstram que a isoterma de Freundlich é adequada para o carvão ativado, sendo tal observação corroborada pelo valor de n entre 1 e 10, conforme observado por Colpani (2012) em suas pesquisas.

A isoterma de Langmuir não representa de forma adequada o processo, por não considerar as interações laterais atrativas, cargas superficiais e heterogeneidade do carvão ativado quimicamente. No entanto, o precursor somente carbonizado apresentou um valor desfavorável para a isoterma de Freundlich, e um valor de q_e próximo ao $q_{máx}$, o que representa que este carvão possui uma isoterma de adsorção somente em monocamada, como prevê o modelo de Langmuir. Pode-se perceber que nos testes cinéticos este atingiu aproximadamente o limite máximo de adsorção, atingindo uma adsorção no equilíbrio próxima à determinada pela isoterma de Langmuir como sendo máxima.

Conclusões

As pesquisas realizadas com carvão obtido a partir de casca de banana, um resíduo agroindustrial, convertido por ativação química e degradação térmica a carvão ativado, demonstraram a viabilidade do emprego de um material de baixo custo para tratamento de águas contendo corantes.

O adsorvente apresentou as melhores características superficiais quando o processo de ativação ocorreu a 600 °C, com uma razão de ácido fosfórico e água igual a 1:1 e tempo de ativação de 1 hora, corroborado pelas informações morfológicas por MEV.

O modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de pseudosegunda ordem por apresentar o melhor ajuste aos dados experimentais e os menores desvios entre a quantidade adsorvida calculada e experimental no equilíbrio.

Os resultados demonstram a capacidade de adsorção no equilíbrio para a amostra C1 igual a 6,89 mg.g⁻¹ e para a amostra C2 igual a 8,36 mg.g⁻¹. Ainda, a isoterma que apresentou o melhor ajuste aos resultados experimentais para os dados de equilíbrio foi a de Freundlich para a amostra C1, sendo os resultados obtidos para KF e n iguais a 107,168 ((mg.g⁻¹).(L.mg⁻¹)^{1/n}) e 3,67, respectivamente, sendo a isoterma considerada favorável segundo avaliação da constante n .

No entanto, apesar de o melhor ajuste ter sido a isoterma de Freundlich para a amostra C2, os dados encontrados para os coeficientes apresentam uma adsorção desfavorável em multicamadas, levando a conclusão de que este carvão possui adsorção somente em monocamadas, no qual após ser atingida a capacidade máxima não haverá mais adsorção, o que foi verificado durante os testes cinéticos, sendo alcançado um valor de 8,36 mg.g⁻¹ no equilíbrio, o

qual é inferior ao $q_{m\acute{a}x}$ encontrado na isoterma de Langmuir. Os resultados apresentados neste trabalho indicam a casca de banana como um adsorvente alternativo de baixo custo com grande potencial para remoção de azul de metileno presente em corpos d'água e em efluentes. A produção de carvão ativado a partir deste precursor pode ser considerado um método alternativo para disposição deste resíduo gerado na agroindústria.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Governo de Estado de Santa Catarina pela fonte de financiamento da bolsa de iniciação científica cedida pela Lei Complementar nº 281, de 20 de janeiro de 2005, que regulamenta o Artigo nº 170 da Constituição Estadual, ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina pelo auxílio às análises de MEV e a Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECÓ – por ceder sua infraestrutura e disponibilizar a oportunidade à pesquisa científica.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, M. R. M. P. de; NOVAES, A. C; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, n. 6b, 1145-1154, 2002.

ANNADURAI, G.; JUANG, R. S.; LEE, D. J. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, B92, pg. 263-274, 2002.

BAKRY, F.; CARREL, F.; CARUANA, M. L.; COTE, F. X.; JENNY, C.; TEZENAS, D. H. Les bananiers. *L'amélioration des plantes tropicales*. A. Cherrier et al. Eds., Montpellier, France, Cirad-Orstom, collection Repères, 1997, pp.109-139.

CLARK, H. L. M. Remoção de Fenilalanina por Adsorvente Produzido a partir da Torta Prensada de Grãos Defeituosos de Café. Belo Horizonte: Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. 115 p.

COLPANI, G. L. Preparação e caracterização de adsorventes para a remoção de surfactantes aniônicos em águas residuárias. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. *Química Nova*, São Paulo, v.28, n.3, 433-437, 2005.

DE MELO, P. C. Lucia. *Química verde no Brasil*. Ed. rev. e atual. - Brasília, DF, 2010.

DERBYSHIRE, F.; JAGTOYEN, M.; THWAITES, M., Activated Carbons – Productions and Applications, in: *Porosity in Carbons*, Ed. Patrick, J.W., Halsted Press, Grã-Bretanha, p.228-252, 1995.

EMPRAPA. Cultivo de Banana em Rondônia. EMBRAPA Rondônia. *Sistemas de Produção*, 2. Versão Eletrônica Dez.2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/CultivodaBananaRO/index.htm>>. Acesso em: 27 de Outubro de 2012.

FILHO, L. C. G.; Utilização do pseudocaulo de bananeira como substrato da fermentação alcoólica: avaliação de diferentes processos de despolimerização. Dissertação (Engenharia de Processos) - Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2011.

FREIRE, F. B.; FREITAS, S. L. de. Avaliação da remoção de cor de um efluente têxtil sintético. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 7, n. 3, jul ./set . 2010.

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

JUCHEN, P.T.; GOBI, F. P.; HONORIO, G. C.; GONÇALVES, G. C.; VEIT, M. T. Aplicação do palito de erva-mate como adsorvente no processo de adsorção do corante azul de metileno. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas. Universidade Tecnológica Federal Paraná, *Processos Químicos, Anais do V SEQ, Simpósio de Engenharia Química*, Maringá – PR, 2013.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G. de; DURAN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, São Paulo, vol.25, n.1, 78-82, 2002.

MACIEL, C. Casca de banana pode descontaminar águas poluídas. *A crítica*. com. São Paulo, 22 Abr. 2013. Disponível em: <<http://acritica.uol.com.br/>>

noticias/Casca-descontaminar-pesticida-pesquisa-USP_0_905909441.html> .
Acesso em: 02 Jun. 2013.

NAHIL, M. A.; WILLIAMS, P. T. Pore Characteristics of Activated Carbons from the Phosphoric Acid Chemical Activation of Cotton Stalks. *Biomass and Bioenergy*, v. 37, p. 142-149, 2012.

SABIO, M. M.; ALMANSA, C.; REINOSO, F. R. Phosphoric Acid Activated Carbon Discs for Methane Adsorption. *Carbon*, v. 41, p. 2113-2119, 2003.