

Artigo

Adsorção de Azul de Metileno em Casca de Batata Utilizando Sistemas em Batelada e Coluna de Leito Fixo

Alfredo, A. P. C.; Gonçalves, G. C.; Lobo, V. S.; Montanher, S. F*

Rev. Virtual Quim., 2015, 7 (6), 1909-1920. Data de publicação na Web: 20 de julho de 2015

<http://www.uff.br/rvq>**Adsorption of Methylene Blue in Potato Peel Using Batch and Fixed-bed Column Systems**

Abstract: The search for an efficient and low cost adsorbent for the treatment of wastewaters containing dyes motivated this work. The efficiency of the adsorbent from agro-waste, potato peel (*Solanum tuberosum* L.), was tested using the cationic dye methylene blue as adsorbate. Adsorption studies were conducted in batch and fixed-bed column systems. The parameters evaluated in batch system were: point of zero charge (PZC), kinetics and adsorption isotherm, applying the theoretical models of Langmuir and Freundlich. With fixed-bed column it was possible to obtain saturation and reuse curves of the adsorbent and recovery of the dye. The Langmuir isotherm model was the best fit to the experimental data, with a maximum amount adsorbed (q_{max}) of 48.7 mg g⁻¹. The maximum adsorption capacity of the column was 35.83 mg g⁻¹. It was also verified the possibility of recovery the dye using HCl solution and reusing the adsorbent after this process.

Keywords: Adsorption; dye; agro-waste.

Resumo

A busca de um adsorvente eficiente e de baixo custo para o tratamento de resíduos contendo corantes motivou a realização deste trabalho. A eficiência do adsorvente proveniente do agro resíduo de casca de batatas (*Solanum tuberosum* L.) foi testada utilizando o corante catiônico azul de metileno como adsorvato. Os estudos de adsorção foram conduzidos em sistema em batelada e coluna de leito fixo. Os parâmetros avaliados em sistema em batelada foram: ponto de carga zero (PCZ), cinética e isoterma de adsorção, aplicando os modelos teóricos de Langmuir e Freundlich. Os estudos com coluna de leito fixo possibilitaram a obtenção de curvas de saturação e reutilização do adsorvente e recuperação do corante. O modelo de isoterma de Langmuir foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando um valor de quantidade máxima adsorvida ($q_{máx}$) de 48,7 mg g⁻¹. A capacidade máxima de adsorção na coluna foi de 35,83 mg g⁻¹. Foi verificado ainda a possibilidade de recuperação do corante utilizando solução de HCl e a reutilização do adsorvente após este processo.

Palavras-chave: Adsorção; corante; agro resíduo.

* Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana, Rua Marcílio Dias, 635 - Jardim Paraíso, CEP 86812-460, Apucarana-PR, Brasil.

✉ silvanafm@utfpr.edu.br

DOI: [10.5935/1984-6835.20150112](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150112)

Adsorção de Azul de Metileno em Casca de Batata Utilizando Sistemas em Batelada e Coluna de Leito Fixo

Ana Priscila C. Alfredo,^a Gilberto C. Gonçalves,^a Viviane S. Lobo,^a Silvana F. Montanher^{b,*}

^a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Toledo*, Rua Cristo Rei, 19 - Vila Becker, CEP 85902-490, Toledo-PR, Brasil.

^b Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Apucarana*, Rua Marçílio Dias, 635 - Jardim Paraíso, CEP 86812-460, Apucarana-PR, Brasil.

* silvanafm@utfpr.edu.br

Recebido em 23 de março de 2015. Aceito para publicação em 17 de julho de 2015

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

- 2.1. Obtenção do adsorvente
- 2.2. Obtenção do ponto de carga zero (PCZ)
- 2.3. Estudos de adsorção em batelada
- 2.4. Estudos de adsorção em coluna de leito fixo

3. Resultados e Discussão

- 3.1. Obtenção do ponto de carga zero (PCZ)
- 3.2. Estudos de adsorção em batelada
- 3.3. Estudos de adsorção em coluna de leito fixo

4. Conclusão

1. Introdução

O tratamento de resíduos industriais e laboratoriais contendo corantes é de extrema importância para a preservação do meio ambiente. Indústrias de tecidos, couro, papel, plástico, entre outras usam corantes na obtenção de seus produtos e consomem em seus processos um volume elevado de água, gerando, conseqüentemente, um volume considerável de efluente colorido.¹

Além do setor industrial os laboratórios de ensino, pesquisa e prestação de serviços também geram resíduos coloridos, que apesar de não serem produzidos em grandes volumes, apresentam uma variedade de corantes muito grande em sua composição.

O azul de metileno (Figura 1) é um corante catiônico da classe das fenotiazinas, possui várias aplicações nas áreas da química, biologia e medicina², já foi muito utilizado na avaliação das propriedades adsorptivas de carvões ativados e na determinação da área

superficial de diferentes tipos de adsorventes.^{3,4} Recentemente vêm sendo muito empregado em estudos de adsorção com adsorventes alternativos.¹

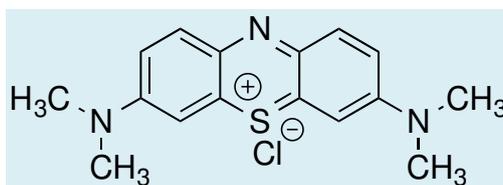


Figura 1. Estrutura do Azul de Metileno

A adsorção é uma técnica muito usada no tratamento de resíduos líquidos, sendo o carvão ativo o adsorvente mais empregado devido a sua alta eficiência, no entanto, possui custo operacional elevado e outros inconvenientes como dificuldades de regeneração e separação do adsorvente.⁵

Diante disto, pesquisas visando à produção de materiais adsorventes alternativos ao carvão ativo têm sido intensificadas nas últimas décadas, principalmente envolvendo materiais de baixo custo, isto é, materiais que exigem pouco processamento, abundantes na natureza ou ainda subprodutos ou rejeitos de atividades industriais ou agrícolas. Materiais como casca de coco, casca de arroz, serragem, cascas de banana e laranja, entre outros já foram utilizados com boa eficiência na adsorção de corantes presentes em soluções aquosas.⁶

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é utilizada industrialmente na produção de amido (panificação), álcool (vinho) e muitos alimentos industrializados. Aproximadamente 35 % da batata produzida é descartada no processo de industrialização.⁷ Dessa forma, uma grande quantidade de resíduo de casca de batata é gerada anualmente sendo, portanto um material barato, de fácil obtenção e com potencial para ser utilizado como adsorvente na remoção de corantes. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades adsorptivas do resíduo de casca de batata usando azul de metileno como adsorvato.

2. Materiais e Métodos

2.1. Obtenção do adsorvente

As cascas de batatas (*Solanum tuberosum* L.) utilizadas neste trabalho foram cedidas por uma empresa de alimentos da região de Toledo-Pr.

Primeiramente, as cascas foram lavadas com água corrente e posteriormente com água destilada para a retirada de impurezas, em seguida foram trituradas em um liquidificador industrial. Para a retirada do excesso de água a massa triturada foi filtrada em um tecido. Após, realizou-se a secagem em estufa a 60 °C por 24 horas. Depois de seco o material foi triturado novamente em liquidificador industrial e peneirado utilizando o sistema de peneiras de Tyler, selecionando as frações 600 e 425 µm.

2.2. Obtenção do ponto de carga zero (PCZ)

O ponto de carga zero (PCZ) foi determinado utilizando o método de equilíbrio em sistema de batelada. Em erlenmeyers de 125 mL foram adicionados 0,2 g do adsorvente (425 µm) e 20 mL de solução de NaCl 0,10 mol L⁻¹ com valores de pH ajustados de 1 a 11 com soluções de NaOH e HCl 0,10 mol L⁻¹. As misturas foram agitadas em banho Maria a uma temperatura de 25 °C por uma hora. Após, as amostras foram filtradas em papel de filtro qualitativo

e realizou-se a medida do pH final das soluções.⁸

2.3. Estudos de adsorção em batelada

Os ensaios de adsorção em sistema em batelada foram realizados agitando-se 0,2 g do adsorvente com a solução 100 mg L⁻¹ de azul de metileno por uma hora. Todos os ensaios foram conduzidos em duplicata. A Tabela 1 resume as condições experimentais otimizadas para o estudo em batelada.

A eficiência do processo de adsorção foi expressa em termos de q (mg g⁻¹), massa de corante retido por unidade de massa do adsorvente. Os valores de q foram calculados pela equação 1, na qual C_i (mg L⁻¹) é a concentração inicial do corante na solução, C (mg L⁻¹) é a concentração do corante remanescente na solução, após o processo de adsorção, V (L) é o volume da solução e m (g) é a massa do adsorvente.⁹

$$q = \frac{(C_i - C) \cdot V}{m} \quad \text{Eq. 1}$$

Tabela 1. Condições experimentais otimizadas para os ensaios de adsorção em batelada

Granulometria do adsorvente	425 µm
Volume de solução de azul de metileno	25 mL
Método de agitação	Banho Maria com agitação recíproca Dubnoff
Temperatura do banho	25 °C
Método de separação solução/adsorvente	Centrifugação
Determinação analítica do corante	Espectrofotometria na região do visível, $\lambda_{\text{max}} = 665$ nm (PG Instrumentos T80+), utilizando curva analítica com concentração dos padrões variando de 1,0 a 6,0 mg L ⁻¹ de azul de metileno.

A cinética de adsorção foi estudada variando o tempo de contato do adsorvente com a solução de azul de metileno de 5 min a 12 h. Os dados experimentais foram tratados pelos modelos teóricos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem, equações 2 e 3, respectivamente.¹⁰

$$q = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad \text{Eq. 2}$$

$$q = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde q_e é a quantidade de corante adsorvida no equilíbrio, t é o tempo (min) e k_1 e k_2 são constantes de velocidade de primeira e segunda ordem. Os valores de q_e ,

k_1 e k_2 foram obtidos usando o método de regressão não linear (*software Statistica 8*).

A isoterma de adsorção foi obtida variando a concentração de azul de metileno de 100 a 1000 mg L⁻¹. As misturas foram agitadas por uma hora. Os dados experimentais foram tratados com os modelos teóricos de Langmuir e Freundlich usando o método de regressão não linear (*software Statistica 8*). A expressão matemática do modelo de isoterma de Langmuir é apresentada na equação 4, em que q_{max} é a capacidade máxima de adsorção e K_L é a constante de equilíbrio do processo.⁴

$$q = \frac{q_{\text{max}} K_L C}{1 + K_L C} \quad \text{Eq. 4}$$

O modelo de Freundlich é representado pela equação 5, em que K_F e n são constantes características do sistema, e estão relacionadas com a capacidade e a intensidade da adsorção, respectivamente.⁴

$$q = K_F C^{1/n} \quad \text{Eq. 5}$$

2.4. Estudos de adsorção em coluna de leito fixo

Os estudos de adsorção em coluna foram realizados em uma coluna cromatográfica com torneira de vidro e placa porosa (15 x 200 mm). A massa de adsorvente utilizada foi de 1,0 g, usando a fração de biomassa retida na peneira de 600 μm . Para a obtenção das curvas de saturação percolou-se 1,2 L de solução de azul de metileno 100 mg L^{-1} em uma vazão de 50 mL min^{-1} usando bomba peristáltica. Recolheu-se alíquotas de 50 mL e 100 mL para a determinação da concentração remanescente de corante por espectrofotometria UV-VIS.

Após a saturação, a coluna foi percolada com 1,0 L de solução de HCl 0,010 mol L^{-1} recolhendo-se alíquotas de 50 mL e 100 mL e determinando a concentração de corante extraído por espectrofotometria UV-VIS. Em seguida a coluna foi lavada com água

destilada até pH próximo ao neutro e efetuou-se outro ciclo de adsorção como descrito anteriormente. Os experimentos foram conduzidos em duplicata.

A capacidade de adsorção da coluna, q (mg g^{-1}), pode ser determinada pela equação 6, na qual C_i é a concentração inicial do corante (mg L^{-1}), C é a concentração do corante na saída da coluna (mg L^{-1}), Q é vazão (L min^{-1}), t é o tempo (min) e m é a massa de adsorvente (g).¹¹

$$q = \frac{C_i \cdot Q}{m} \int_0^t \left(1 - \frac{C}{C_i}\right) dt \quad \text{Eq. 6}$$

3. Resultados e Discussão

3.1. Obtenção do ponto de carga zero (PCZ)

O ponto de carga zero (PCZ) pode ser usado para caracterizar um adsorvente, pois seu valor indica o pH no qual o balanço entre as cargas positivas e negativas presentes no material é nulo. A Figura 2 mostra a curva utilizada para a determinação do PCZ da biomassa de casca de batata.

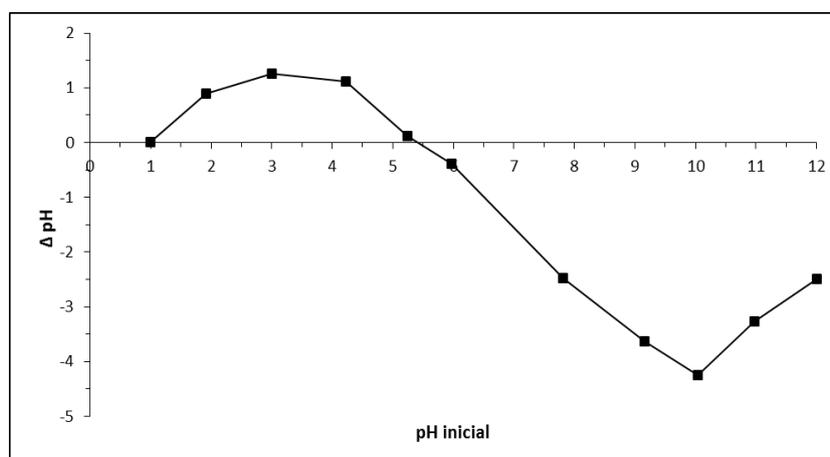
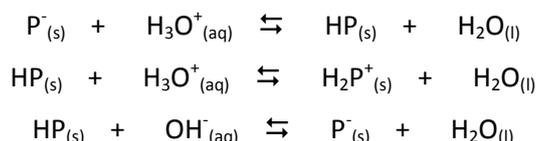


Figura 2. Curva para a determinação do ponto de carga zero (PCZ) da casca de batata

O PCZ foi obtido da interseção da curva com o eixo x. Portanto, o PCZ da casca de batata é 5,45. Na Figura 2 observa-se que, exceto no PCZ e em valores de pH muito ácido, os valores de pH final são sempre diferentes do pH inicial, isso pode ser

explicado devido à presença de grupos polares (P⁻ e HP) na estrutura da casca de batata, os quais participam de reações ácido-base que proporcionam valores distintos para o pH final. As equações químicas a seguir ajudam a entender este fenômeno:

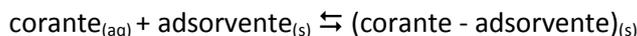


Em condições muito ácidas, o pH final permanece praticamente igual ao pH inicial. Isso acontece porque a quantidade de H₃O⁺ é muito maior do que a quantidade de grupos protonáveis e não há, portanto, mudança significativa de pH.

A adsorção de cátions é favorecida quando o pH da solução é maior que o PCZ, enquanto que a adsorção de ânions é favorecida em valores de pH menores que o pH no PCZ.¹² Sendo o azul de metileno um corante catiônico sua adsorção é favorecida em valores de pH acima do PCZ, como observado por outros autores.^{1, 5, 13} Os estudos de adsorção foram conduzidos no pH original da solução que era de 6,30, este fato é vantajoso uma vez que a necessidade de ajuste de pH de um efluente demandaria de tempo e reagentes químicos que podem encarecer o processo.

3.2. Estudos de adsorção em batelada

A cinética do processo de adsorção descreve a velocidade com que o adsorvato é removido da solução, e é dependente das características físicas e químicas do material adsorvente e do adsorvato, da temperatura e da concentração dos reagentes. Trata-se de um parâmetro importante a ser avaliado, considerando que processos muito lentos não são economicamente viáveis e dificultam a utilização de sistemas com colunas, já que o tempo de contato do adsorvato com o adsorvente nesse tipo de arranjo experimental costuma ser pequeno. A adsorção de corantes em um determinado material adsorvente pode ser considerada um equilíbrio:



O equilíbrio é estabelecido quando não ocorre mais mudança na concentração de corante na solução. É importante determinar o tempo necessário para que o equilíbrio seja atingido, pois se trata de um parâmetro fundamental para dimensionar sistemas de

adsorção apropriados para o tratamento de efluentes e também, para a obtenção das isotermas de adsorção.¹⁴ A Figura 3 mostra as curvas de eficiência de adsorção em função do tempo de contato.

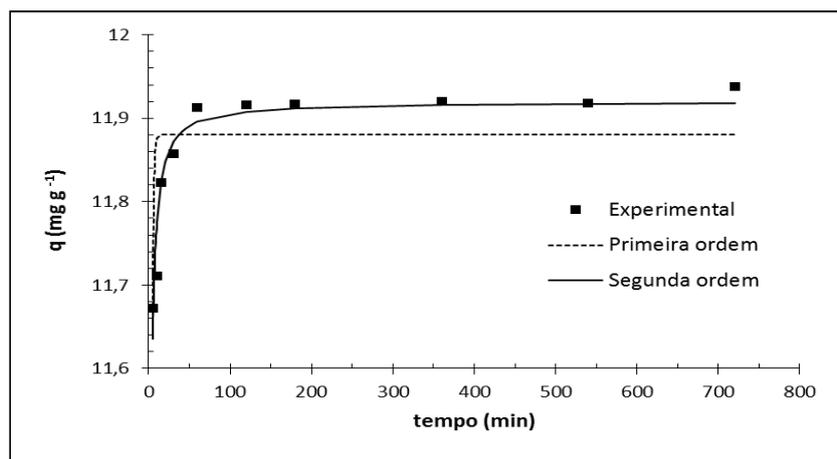


Figura 3. Efeito do tempo de contato na adsorção de azul de metileno em casca de batata (massa de adsorvente= 0,2 g, concentração inicial de corante = 100 mg L⁻¹, T = 25 °C)

Observa-se na Figura 3 que a adsorção do azul de metileno pela casca de batata é bastante rápida, a quantidade adsorvida em 5 minutos é muito próxima da quantidade adsorvida no equilíbrio, atingido em 1 hora.

Os dados experimentais foram tratados pelas equações de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem, equações 2 e 3, respectivamente. O modelo de pseudo-segunda ordem descreve melhor os dados

experimentais, conforme observado na Figura 3, a curva cinética teórica de pseudo-segunda ordem se encontra muito próxima da curva experimental. Já a curva teórica de pseudo-primeira ordem passa um pouco abaixo dos pontos experimentais. As constantes de velocidade de adsorção e os valores teóricos de q_e (quantidade adsorvida no equilíbrio) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros cinéticos para a adsorção de azul de metileno em casca de batata

Pseudo-primeira ordem			Pseudo-segunda ordem		
q_e (mg g ⁻¹)	k_1	r^2	q_e (mg g ⁻¹)	k_2	r^2
11,88	0,803	0,9996	11,92	0,688	0,9998

Os valores de r^2 próximos de um indicam a boa aplicabilidade dos dois modelos cinéticos embora, como já discutido anteriormente, o modelo de pseudo-segunda ordem representa melhor os dados experimentais. O valor experimental de q_e é 11,92 mg g⁻¹, igual ao obtido pelo modelo de pseudo-segunda ordem, mais uma evidencia da adequação deste modelo, que é baseado na adsorção em fase sólida e assume que o processo é de adsorção química, envolvendo a participação de forças de valência ou troca de elétrons entre o adsorvente e o adsorvato. As constantes de velocidade, k_1 e k_2

apresentaram valores típicos para adsorção de corantes em biomassas.^{1,15}

Uma isoterma de adsorção típica apresenta a relação de equilíbrio existente entre o adsorvato na solução e o adsorvato retido no adsorvente, a uma determinada temperatura. Para isso é imprescindível saber o tempo de equilíbrio, que para este estudo foi de 1 h. Essa relação é melhor visualizada traçando-se a curva *q versus C*.

As formas linearizadas das isotermas de Langmuir e Freundlich são as mais usadas para descrever o processo de adsorção, no entanto alguns trabalhos mostram que a

regressão não linear apresenta melhores resultados na obtenção dos parâmetros das isotermas e também na seleção do melhor modelo.⁴ A Figura 4 apresenta as curvas

teóricas e experimental para a adsorção de azul de metileno na biomassa de casca de batata.

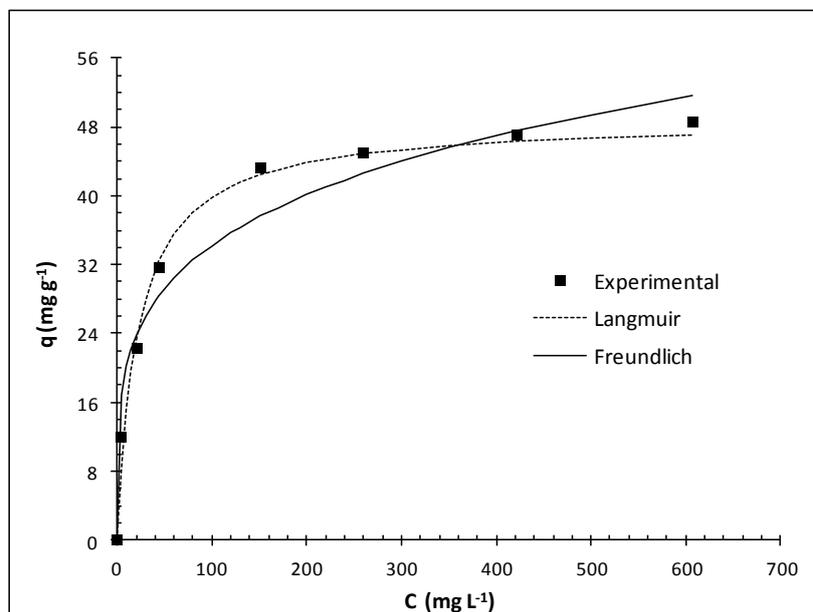


Figura 4. Isoterma de adsorção de azul de metileno em casca de batata (massa de adsorvente = 0,2 g, tempo de agitação = 1 h e T = 25 °C)

O formato da isoterma obtida mostra que trata-se de uma isoterma favorável, já que neste tipo de curva maiores valores de q são obtidos para menores valores C , ou seja, o adsorvato permanece preferencialmente no material adsorvente.

O modelo de Langmuir foi o que melhor se adequou aos dados experimentais. Este

modelo assume que a adsorção é um fenômeno químico, conforme previsto pela cinética de pseudo-segunda ordem, que acontece com a formação de uma única camada de adsorvato sobre o adsorvente. A Tabela 3 mostra os parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich, obtidos por meio do ajuste não linear (*software Statistica 8*).

Tabela 3. Parâmetros de Langmuir e Freundlich para a adsorção de azul de metileno em casca de batata

Isoterma de Freundlich			Isoterma de Langmuir		
K_F	n	r^2	q_{max} ($mg\ g^{-1}$)	K_L ($L\ mg^{-1}$)	r^2
$11,9 \pm 2,6$	$4,38 \pm 0,77$	0,9314	$48,7 \pm 1,4$	$0,045 \pm 0,007$	0,9893

O melhor ajuste da isoterma de Langmuir é evidenciado pelo maior valor de r^2 em relação à isoterma de Freundlich. O parâmetro n de Freundlich está relacionado a intensidade da interação do adsorvato com o

adsorvente, e valores de $n > 1$ são vantajosos para o processo de adsorção. Valores de n típicos encontrados na literatura para a adsorção de azul de metileno estão no intervalo de 1 - 5.^{4,13,16}

O parâmetro K_F de Freundlich está relacionado a capacidade de adsorção, no entanto, K_F não fornece a capacidade máxima de remoção, como no caso da constante q_{\max} de Langmuir, uma vez que o modelo de Freundlich não prevê a saturação do adsorvente.¹⁷ Para efeito de comparação o valor de K_F obtido para a adsorção de azul de metileno em carvão ativo foi de 23,7.⁴

O valor de K_L de Langmuir pode ser assumido como a constante de equilíbrio do processo e também apresentou valores típicos para a adsorção de azul de metileno.^{4,13,16} O parâmetro q_{\max} é relacionado com a saturação do adsorvente e é muito usado para comparar a eficiência entre diferentes adsorventes. A Tabela 4 mostra a comparação entre os valores de q_{\max} obtidos para diferentes adsorventes.

Tabela 4. Capacidade máxima de adsorção de azul de metileno em alguns adsorventes

Adsorvente	q_{\max} (mg g ⁻¹)*	referência
Carvão ativado	388	4
Folhas de abacaxi	284	5
Folhas de lótus	222	13
Casca de coco	99	1
Casca de batata	49	-
Folhas de palmeira	43	18
Casca de arroz	28	1
Bagaço de laranja	19	1

* obtidos da isoterma de Langmuir

O carvão ativado é, naturalmente, o material com maior eficiência devido a sua grande porosidade. A casca de batata apresenta um valor de q_{\max} intermediário quando comparada a outros adsorventes alternativos.

3.3. Estudos de adsorção em coluna de leito fixo

Muitos dos estudos de adsorção, especialmente aqueles envolvendo biomassas vegetais, são conduzidos em sistema em batelada. Este sistema é apropriado para caracterizar e entender melhor o processo de adsorção; no entanto, tendo em vista uma aplicação prática, não é o mais viável em termos de custo e operação, pois possui problemas tais como a dificuldade de separar a biomassa depois da adsorção e a

perda de massa durante a separação devido ao pequeno tamanho das partículas.

Um processo mais viável é a utilização de um sistema de coluna de leito fixo, em que o adsorvente é empacotado em uma coluna e recebe o fluxo de efluente contendo o corante. Esse arranjo permite a repetição de ciclos adsorção/dessorção e, portanto, facilita a reutilização do adsorvente.¹⁸

A coluna preenchida com a biomassa de casca de batata foi submetida a dois ciclos de adsorção, sendo que após o primeiro ciclo o corante retido foi removido com solução de HCl 0,010 mol L⁻¹ e a regeneração da coluna foi realizada apenas lavando com água destilada, observou-se que o material não sofreu nenhuma modificação física aparente durante a etapa de dessorção e regeneração.

A Figura 5 apresenta as curvas de saturação para os dois ciclos de adsorção.

Neste tipo de curva conhecida também como curva *breakthrough*, o eixo y mostra a relação entre a concentração inicial (C_i) e a concentração eluída (C) do adsorvato. A saturação acontece quando essa relação for igual a um. As duas curvas são praticamente

sobreponíveis, mostrando que o comportamento de adsorção permanece praticamente idêntico após a etapa de dessorção e que o adsorvente pode ser reutilizado.

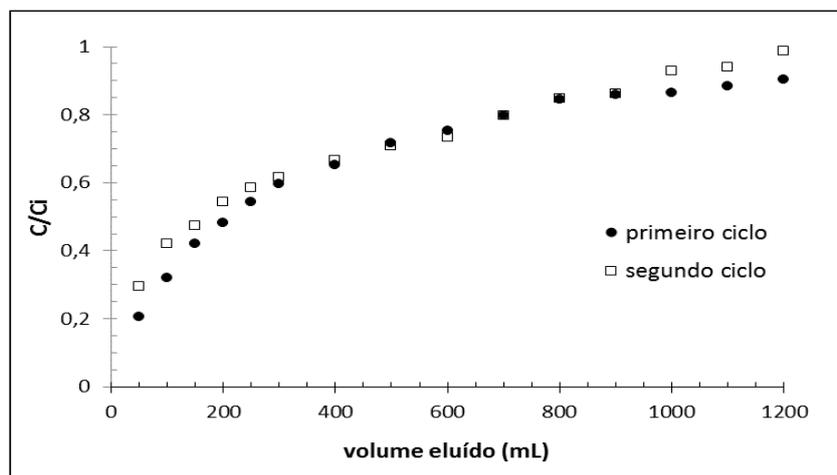


Figura 5. Curva de saturação para a adsorção de azul de metileno em coluna empacotada com casca de batata ($C_i = 100 \text{ mg L}^{-1}$; segundo ciclo realizado após a dessorção com solução de HCl $0,010 \text{ mol L}^{-1}$)

A capacidade de adsorção da coluna, obtido pela equação 4, foi de $35,83 \text{ mg g}^{-1}$ para o primeiro ciclo e $32,83 \text{ mg g}^{-1}$ para o segundo ciclo. Valores menores do que os obtidos usando sistema em batelada, o que é justificável pois o tempo de contato entre adsorvato e adsorvente é menor quando trabalha-se em sistema de coluna.

A solução ácida (HCl $0,010 \text{ mol L}^{-1}$) foi escolhida para a dessorção, pois tratando-se o azul de metileno de um corante catiônico, o processo de troca iônica com íons H_3O^+ , facilitaria a remoção do corante do adsorvente. O comportamento do processo de dessorção é apresentado na Figura 6.

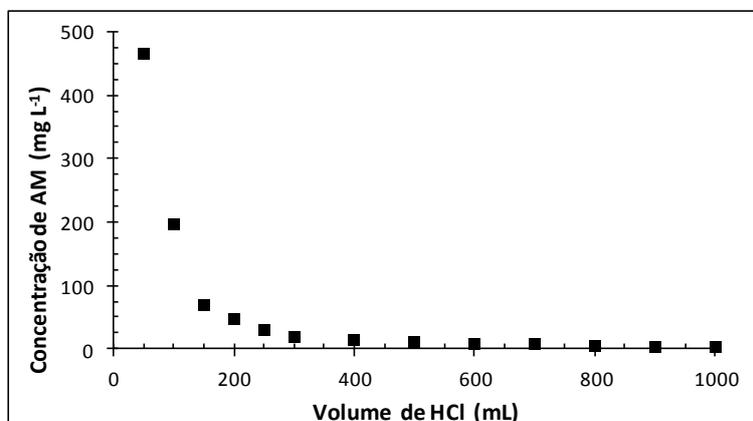


Figura 6. Curva de dessorção do azul de metileno (AM) retido em coluna empacotada com casca de batata usando HCl $0,010 \text{ mol L}^{-1}$ como eluente

A dessorção mostrou-se bastante eficiente, praticamente todo corante adsorvido é recuperado com 300 mL de eluente. Considerando que na etapa de adsorção foram tratados 1,2 L de solução, o adsorvato foi concentrado em quatro vezes.

4. Conclusão

A casca de batata pode ser considerada um adsorvente promissor, por ser um material abundante, de baixo custo, de fácil processamento e eficiente na remoção do corante azul de metileno. A cinética de adsorção é rápida permitindo processos em batelada e coluna de leito fixo. A quantidade máxima de corante removido foi de 48,7 mg g⁻¹ para o processo em batelada e de 35,8 mg g⁻¹ para o processo em coluna. Usando sistema em coluna, verificou-se que o corante pode ser recuperado empregando solução ácida como eluente e o adsorvente pode ser reutilizado apresentando eficiência praticamente igual a biomassa não utilizada previamente, o que torna o processo mais interessante pois além de ser um adsorvente alternativo, a casca de batata pode ser reutilizada e o corante recuperado.

Referências Bibliográficas

- ¹ Rafatullah, M.; Sulaiman, O.; Hashim, R.; Ahmad, A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. *Journal of Hazardous Materials* **2010**, *177*, 70. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ² Schirmer, R. H.; Adler, H.; Pickhardt, M.; Mandelkow, E. "Lest we forget you-methylene blue ...". *Neurobiology of Aging* **2011**, *32*, 2325. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³ Barton, S. S. The adsorption of methylene blue by active carbon. *Carbon* **1987**, *25*, 343. [[CrossRef](#)]
- ⁴ Kumar, K. V.; Porkodi, K.; Rocha, F. Isotherms and thermodynamics by linear and non-linear regression analysis for the sorption of methylene blue onto activated carbon: Comparison of various error functions. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, *151*, 794. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁵ Weng, C. H.; Lin, Y. T.; Tzeng, T. W. Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder. *Journal of Hazardous Materials* **2009**, *170*, 417. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁶ Gupta, V. K; Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management* **2009**, *90*, 2313. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁷ Fernandes, A. F.; Pereira, J.; Germani, R.; Oiano-Neto, J. Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de batata (*Solanum Tuberosum* Lineu. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **2008**, *28*, 56. [[CrossRef](#)]
- ⁸ Smiciklas, I. D.; Milonjic, S. K.; Pfenndt, P.; Raicevic, S. The point of zero charge and sorption of cadmium (II) and strontium (II) ions on synthetic hydroxyapatite. *Separation and Purification Technology* **2000**, *18*, 185. [[CrossRef](#)]
- ⁹ Matos, T. T. S.; de Jesus, A. M. D.; Araújo, B. R.; Romão L. P. C; Santos L. O.; Santos J. M. Aplicação de Subprodutos Industriais na Remoção de Corantes Reativos Têxteis. *Revista Virtual de Química* **2013**, *5*, 840. [[CrossRef](#)]
- ¹⁰ Kumar, K. V. Linear and non-linear regression analysis for the sorption kinetics of methylene blue onto activated carbon. *Journal of Hazardous Materials* **2006**, *137*, 1538. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹¹ Veit, M. T.; Silva, E. A; Fagundes-Klen, M. R.; Tavares, C. R. G.; Gonçalves, G. C. Efeito da vazão volumétrica nas curvas de ruptura para o sistema de biossorção de Cr (III) e Ni (II). *Estudos Tecnológicos em Engenharia* **2009**, *5*, 186. [[Link](#)]
- ¹² Srivasta, V. C.; Mall, I. D.; Misha, I. M. Adsorption of toxic metal ions onto activated carbon: Study of sorption behaviour through characterization and kinetics. *Chemical Engineering and Processing* **2008**, *47*, 1269. [[CrossRef](#)]

- ¹³ Han, X.; Wang, W.; Ma, X. Adsorption characteristics of methylene blue onto low cost biomass material lotus leaf. *Chemical Engineering Journal* **2011**, *171*, 1. [[CrossRef](#)]
- ¹⁴ Volesky, B. Biosorption and me. *Water Research* **2007**, *41*, 4017. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁵ Ho, Y. S.; Mckay, G. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry* **1999**, *34*, 451. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Gouamid, M.; Ouahrani, M. R.; Bensaci, M. B. Adsorption Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics of Methylene Blue from Aqueous Solutions using Date Palm Leaves. *Energy Procedia* **2013**, *36*, 898. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷ Febrianto, J.; Kosasih, A.N.; Sunarso, J.; Ju, Y. H.; Indraswati, N.; Ismadji, S. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. *Journal of Hazardous Materials* **2009**, *162*, 616. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁸ Borba, C. E.; Guirardello, R.; Silva, E. A.; Veit, M. T.; Tavares, C. R. G. Removal of nickel(II) ions from aqueous solution by biosorption in a fixed bed column: Experimental and theoretical breakthrough curves. *Biochemical Engineering Journal* **2006**, *30*, 184. [[CrossRef](#)]