

ÁREA TEMÁTICA: Gestão Ambiental

REAPROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE NA BIOSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL NEOLAN PRETO WA

Alana Caroline Franciskievicz¹ (alana.carolinef@hotmail.com), Douglas Junior Nicolin¹ (douglasnicolin@utfpr.edu.br), Fernanda Batista de Souza¹ (fernandasouza@utfpr.edu.br),
1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão

RESUMO

A aplicação da adsorção em escala industrial requer adsorventes disponíveis em grandes quantidades e cuja aplicação seja economicamente viável. Com isso, observa-se a crescente utilização de biossorventes alternativos, pois além de apresentarem elevada eficiência e baixo custo, possibilitam a reutilização do material. Sob tal motivação, o presente trabalho visou investigar a utilização de bagaço de malte como biossorvente alternativo na remoção do corante têxtil Neolan Preto WA. Realizou-se o preparo do biossorvente por secagem a 60°C durante 24 horas, moagem e peneiramento. Caracterizou-se o bagaço de malte por análises de teor de cinzas, umidade, matéria volátil e carbono fixo, ponto de carga zero, microscopia eletrônica de varredura (MEV), isotermas de adsorção e dessorção de N₂ (BET/BJH) e espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Verificou-se que as melhores condições para a remoção do corante ocorreram em pH=8 e tamanho de partículas entre 48-60 mesh. Realizaram-se estudos de equilíbrio de adsorção em batelada, onde constatou-se que o modelo de Langmuir foi o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais, com capacidade máxima de adsorção igual a 64,34 mg/g. Além disso, realizaram-se estudos cinéticos em batelada onde constatou-se que o modelo de Pseudo-Segunda Ordem representou melhor os dados experimentais, com tempo de equilíbrio de 25 horas.

Palavras-chave: Biossorção; Biomassa; Efluente têxtil.

MALT BAGASSE REUSE ON THE NEOLAN BLACK WA TEXTILE DYE BIOSORPTION

ABSTRACT

The use of adsorption requires big amounts of adsorbent and it needs to be economically viable to be used in industrial scale. Thus, the use of alternative biosorbents has been increasing, because it presents high efficiency, low cost and enable the material reuse. The main objective of this study was to investigate Neolan Black WA textile dye biosorption onto malt bagasse. First of all, the malt bagasse was dried at 60°C during 24 hours, crushed and sieved. The biosorbent characterization was done by the analyses of ash, humidity, volatile matter and fixed carbon content, scanning electron microscopy (SEM), N₂ adsorption/desorption (BET/BJH) and isotherms infrared spectroscopy (FTIR). The optimal conditions of biosorption was obtained at pH=8 and particle size 48-60 mesh. In the equilibrium isotherm, the Langmuir model adjusted the experimental results with a best correlation coefficient and a maximum adsorbed quantity of 64,34 mg/g. The pseudo-second order model adjusted the experimental results with a best correlation coefficient and a equilibrium time of 25 hours.

Keywords: Biosorption; Malt bagasse; Textile wastewater.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da rigidez das leis ambientais, as empresas vêm buscando se adaptar e buscar métodos eficazes no tratamento de efluentes e resíduos, amenizando os impactos gerados ao meio ambiente. Dentre as várias técnicas de tratamento de efluentes destaca-se a adsorção, devido à sua alta eficiência típica de remoção, flexibilidade e fácil aplicação (RIBEIRO et al., 2014). Porém, a aplicação da adsorção em escala comercial requer adsorventes disponíveis em grandes quantidades, cuja aplicação seja economicamente viável (RUTHVEN, 1984). Os adsorventes mais utilizados, como é o caso do carvão ativado, apresentam custo relativamente elevado devido às perdas durante sua recuperação, cerca de 10 a 15% do material inicial. Além

disso, a reativação custa em torno de 50 a 60% do valor do produto virgem (AWWA, 2011; MWH, 2012 apud COCENZA, 2014).

Desta forma, o desenvolvimento de pesquisas sobre a utilização de novos materiais adsorventes tem sido estimulado. Com base na literatura, observa-se a crescente utilização de materiais alternativos que apresentem elevada eficiência e baixo custo, principalmente resíduos de produção agrícola e industrial, pois além de possibilitar sua reutilização, ainda viabiliza o tratamento de efluentes. Exemplos incluem biossorventes a partir de casca de laranja (FENG et al., 2011) e bagaço de malte (FONTANA et al., 2016).

A Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CERVBRASIL) estima que, em 2014, foram produzidos cerca de 14 bilhões de litros de cerveja, sendo que são gerados cerca de 14 a 20 kg de bagaço de malte a cada 100 litros de cerveja produzida (SANTOS; RIBEIRO, 2005). Devido a quantidade de resíduo gerado, o bagaço de malte apresenta potencial para ser utilizado como biossorvente.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o potencial de remoção do corante têxtil Neolan Preto WA utilizando bagaço de malte como material biossorvente alternativo. Além disso, visa caracterizar o adsorvente por meio de análises físico-químicas, texturais e morfológicas; estudar o equilíbrio de adsorção do adsorvente e ajustar os dados experimentais aos modelos de isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich; estudar a cinética de adsorção do adsorvente e comparar com modelos teóricos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se o preparo e a caracterização do biossorvente. Em seguida, realizaram-se ensaios de adsorção em batelada com o objetivo de verificar as melhores condições para a adsorção e estudar o equilíbrio e cinética de adsorção. O bagaço de malte foi fornecido pela Schaf Bier, microcervejaria de Francisco Beltrão, Paraná.

3.1 Tratamento preliminar

Realizou-se a secagem do bagaço de malte a 60°C durante 24 horas em estufa Deleo. A espessura do material sobre a forma de inox foi de cerca de 1 cm. Em seguida, toda a amostra de bagaço de malte seco (860 g) foi triturada utilizando liquidificador doméstico. Por fim, a amostra foi peneirada sob nível de vibrações igual a 50, em peneirador Pavitest I-1016-B. Utilizaram-se sete tamanhos diferentes de peneiras Bertel (0,25, 0,30, 0,50, 0,60, 1,00, 2,00 e 3,35 mm).

3.2 Preparo da solução de corante

Foram preparadas soluções estoque de corante Neolan Preto WA na concentração de 1 g/L. Para utilização do corante nos testes de adsorção, foram preparadas diluições em água destilada.

3.3 Caracterização do bagaço de malte

3.3.1 Análise imediata do bagaço de malte

As análises imediatas correspondem ao teor de umidade, teor de cinzas, teor de matéria volátil e teor de carbono fixo. A metodologia utilizada foi adaptada de CEN/TS 14774-1:2004, CEN/TS 15148:2005 e CEN/TS 14775:2004. Determinou-se o teor de umidade por meio da secagem do material a 105°C. Utilizaram-se amostras de 1,0 g de bagaço de malte previamente seco a 60°C durante 24 horas e cadinhos de porcelana previamente calcinados em mufla a 900°C. O teor de matéria volátil foi determinado por meio da calcinação de amostras de bagaço de malte secas durante 7 minutos em mufla previamente aquecida a 900°C. Determinou-se o teor de cinzas por meio da calcinação das amostras a 550°C em mufla durante 4 horas.

3.3.2 Ponto de carga zero

A metodologia utilizada foi adaptada de Vijayakumar et al. (2009) e Zhang et al. (2011). Primeiramente, prepararam-se soluções de cloreto de sódio 0,01 N e 0,1 N, em água destilada previamente fervida, com o objetivo de retirar o dióxido de carbono dissolvido. O NaCl utilizado foi

seco em mufla a 275°C durante 1 hora. Distribuiu-se em 10 frascos erlenmeyer 50 mL da solução de NaCl 0,01 N e em mais 10 frascos 50 mL da solução 0,1 N. Adicionaram-se soluções de HCl e NaOH em quantidades adequadas para se obterem valores de pH de 2 a 11 para ambas as soluções. Em seguida, adicionou-se 0,1 g de bagaço de malte em cada um dos frascos. Após agitação em Shaker incubadora 4600 - Logen a 150 rpm por 24 horas e temperatura ambiente, fez-se a medida do pH novamente.

3.3.3 Isotermas de adsorção e dessorção de N₂ (BET/BJH)

A análise foi realizada na Universidade Federal do Paraná - UFPR, setor Palotina. As isotermas de adsorção/dessorção foram registradas na temperatura do nitrogênio líquido utilizando o equipamento Nova 2000e da Quantachrome. As amostras foram submetidas a um pré-tratamento a 150°C por 3 h sob vácuo para retirar toda umidade e espécies adsorvidas da superfície do material.

3.3.4 Morfologia (MEV)

A morfologia superficial do biossorvente foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) na Central de análises da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. Utilizou-se o equipamento Hitachi - TM3000 com aumento de 100, 500, 1000 e 1500 vezes.

3.3.5 Espectroscopia eletrônica com transformada de Fourier (FTIR)

A análise FTIR foi realizada na Central de análises da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, utilizando o equipamento FT-IR Perkin Elmer modelo Frontier. Utilizou-se 2 mg de amostra na pastilha, sendo a resolução de 4 cm⁻¹, o número de acumulações igual a 32 e a faixa de análise entre 400 e 4000 cm⁻¹.

3.4 Testes preliminares

Os testes preliminares incluíram a influência do pH, granulometria e velocidade de agitação de acordo com a metodologia proposta por Rafael (2016). Verificou-se que as melhores condições para a remoção do corante pelo bagaço de malte foram em pH igual a 8 e agitação de 150 rpm, utilizando o menor tamanho de partícula testado, 0,25-0,30 mm.

3.5 Cinética de adsorção

Adicionou-se 25 mL de solução de corante com concentração igual a 100 mg/L em frascos erlenmeyer de 125 mL. O pH das amostras foi ajustado para 8 utilizando solução 0,01 mol/L de NaOH. Em 12 frascos adicionou-se 0,125 g de bagaço de malte 0,25-0,30 mm, e em outros 12 frascos, 0,180 g. As amostras foram mantidas sob agitação em shaker a 150 rpm e temperatura ambiente, sendo retiradas em 12 intervalos de tempo distintos, entre 0,5 e 30 horas. Em seguida, cada amostra foi centrifugada a 3600 rpm durante 10 minutos. Fez-se a leitura de absorbância em Espectrofotômetro UV-Vis em comprimento de onda de 566,5 nm. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos cinéticos linearizados de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem apresentados nas Equações 5 e 6.

$$\log(q_{eq} - q_i) = \log q_{eq} - \frac{K_1}{2,303} t \quad (5)$$

$$\frac{t}{q_i} = \frac{1}{K_2 q_{eq}} + \frac{1}{q_{eq}} t \quad (6)$$

3.6 Equilíbrio de adsorção

A análise de equilíbrio de adsorção foi realizada variando-se a concentração da solução de corante entre 0 mg/L e 300 mg/L. Em 8 frascos erlenmeyer de 125 mL adicionaram-se as soluções de corante com pH ajustado para 8 e 0,125 g de bagaço de malte 0,25-0,30 mm. As soluções foram mantidas sob agitação de 150 rpm em shaker, durante 22 horas, em temperatura ambiente. Por fim, as amostras foram centrifugadas a 3600 rpm, durante 10 minutos, e realizou-se a medida da absorbância em Espectrofotômetro UV-Vis. Os dados experimentais foram ajustados as isotermas de Langmuir e Freundlich, correspondentes às Equações 7 e 8, respectivamente.

$$q_i = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (7)$$

$$q_i = K_F C_e^{1/n} \quad (8)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do bagaço de malte

4.1.1 Análise imediata do bagaço de malte

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nas análises de teor de umidade, matéria volátil, cinzas e teor de carbono fixo, em base seca e em base úmida. O bagaço de malte apresentou umidade final de 8,24%. Gonçalves et al. (2016) obtiveram 7,1% e Almeida (2014) obteve 6,32% para o teor de umidade do bagaço de malte, valores estes menores que os obtidos no presente trabalho. A variação apresentada pelos diferentes autores pode estar relacionada com a secagem realizada no tratamento preliminar.

Tabela 1. Resultado das análises imediatas em base úmida e base seca

Análise	Base úmida (%)	Base seca (%)
Umidade	8,24 ± 0,77	-
Matéria volátil	82,99 ± 0,34	90,44 ± 1,12
Cinzas	3,44 ± 0,10	3,75 ± 0,08
Teor de carbono fixo	5,34 ± 1,00	5,81 ± 1,05

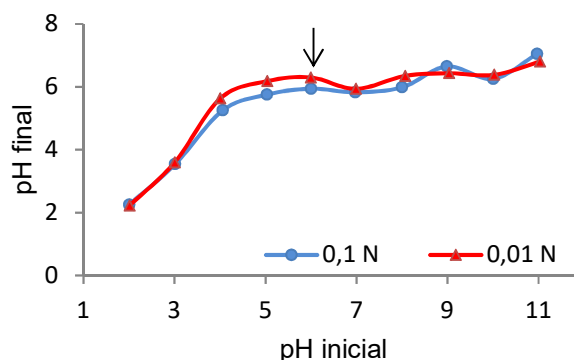
Para o teor de matéria volátil, Gonçalves et al. (2014) obtiveram 73,18% (base úmida) e 76,01% (base seca), e Cordeiro (2011) obteve 95,95% em base úmida, sendo os valores obtidos no presente trabalho intermediários aos valores obtidos pelos autores citados. Resultados semelhantes para o teor de cinzas foram observados por Gonçalves et al. (2014), sendo 3,80% em base úmida e 3,95% em base seca.

Os teores de carbono fixo observados por outros autores são 19,3% em base úmida e 20,05 em base seca (GONÇALVES et al., 2014) e 3,31% em base úmida (CORDEIRO, 2011), sendo os valores obtidos no presente trabalho intermediários aos valores obtidos pelos autores citados.

4.1.2 Ponto de carga zero

A Figura 1 apresenta o pH inicial versus pH final das soluções de NaCl 0,01 N e 0,1 N. É possível concluir que o ponto de carga zero foi obtido em pH igual a 6, pois o valor do pH se manteve constante.

Figura 1. pH inicial versus pH final para a solução de NaCl 0,01 N e 0,1 N



Quando o material sólido entra em contato com uma solução líquida com pH abaixo do ponto de carga zero, a superfície é carregada positivamente e um grande número de ânions é adsorvido para balancear as cargas positivas. Assim, os adsorventes são mais eficazes para a remoção de materiais aniônicos. Por outro lado, em soluções aquosas com um pH mais alto do que o ponto de

carga zero, a superfície é carregada negativamente e adsorve preferencialmente cátions. Neste caso, os adsorventes são mais eficazes para a remoção de materiais catiônicos (FREITAS et al., 2015). O corante utilizado no presente trabalho é aniônico. Portanto, espera-se que a adsorção seja favorecida em valores de pH abaixo do ponto de carga zero.

Valor semelhante para o bagaço de malte lavado foi observado por Almeida et. al. (2018), sendo o pH igual a 6,21. Outros autores obtiveram ponto de carga zero semelhante para testes com biossorventes como a casca de melancia (6,05), pontos de carga zero mais ácidos para materiais como casca de arroz (5,38) e mais básicos para a casca de laranja (6,73) (FREITAS et al., 2015).

4.1.3 Isotermas de adsorção e dessorção de N₂ (BET/BJH)

O tamanho do microporo determina a capacidade das moléculas de soluto de acessá-lo, de tal modo que a distribuição de tamanho dos poros é outro parâmetro importante na caracterização do biossorvente (LUZ, 2012). Os valores obtidos para estes parâmetros, além do volume total de poros, estão relacionados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados obtidos através das isotermas de adsorção/dessorção de N₂ para o bagaço de malte

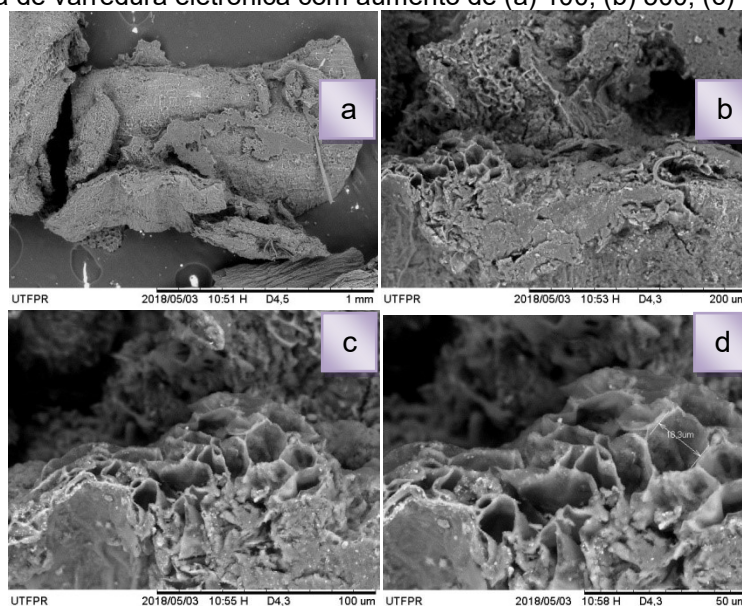
Área superficial (m ² /g)	1,182
Volume total dos poros (cm ³ /g)	0,004
Diâmetro dos poros (Å)	17,596

Os poros podem ser classificados quanto ao seu diâmetro em microporos (< 20 Å), mesoporos (entre 20 e 500 Å) e macroporos (> 500 Å) (LUZ, 2012). Portanto, o biossorvente apresentou, em sua maioria, microporos. Valores iguais a 0,8246 m²/g de área superficial, volume de poros igual a 0,0018 cm³/g e diâmetro de poros igual a 44,01 Å para o bagaço de malte foram observados por outros autores (FONTANA et al., 2016). Portanto, o bagaço de malte estudado no presente trabalho apresentou maiores área superficial e volume total de poros, apesar de o diâmetro dos poros ser menor.

4.1.4 Morfologia (MEV)

As características microestruturais do bagaço de malte (0,50-0,60 mm) foram observadas nas ampliações de 100, 500, 1000 e 1500 vezes, como mostra a Figura 2. O biossorvente apresentou superfície irregular e heterogênea com cavidades em forma de poros. A superfície do biossorvente mostrou-se pouco fibrosa, diferente do que foi observado por outros autores, que identificaram superfícies fibrosas (MUSSATTO et al., 2006 e LIMA, 2016).

Figura 2. Microscopia de varredura eletrônica com aumento de (a) 100, (b) 500, (c) 1000 e (d) 1500 vezes



Esta diferença pode estar relacionada com a composição do bagaço de malte, ou seja, casca e polpa do grão, pois a casca apresenta características mais fibrosas que a polpa. Na Figura 2 (d) destaca-se a presença de macroporos no biossorvente com diâmetro de 16,3 μm (163000 \AA), apesar de o diâmetro médio dos poros indicar superfície predominantemente microporosa. Além disso, é possível observar alguns pontos brilhantes nas imagens da Figura 2, que se referem à presença de silicatos que correspondem a 25% dos minerais presentes no bagaço de malte (KUNZE, 1996 apud. MUSSATO et al., 2006).

4.1.5 Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 3 foi gerada por meio dos dados obtidos com a análise de Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier. Cada um dos pontos destacados pode ser relacionado a grupos funcionais presentes na superfície do bagaço de malte, como mostra a Tabela 3.

Figura 3. Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier para o bagaço de malte

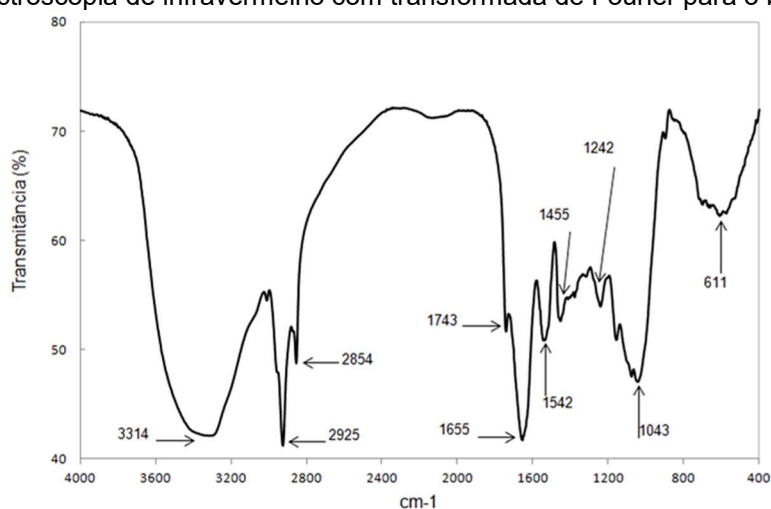


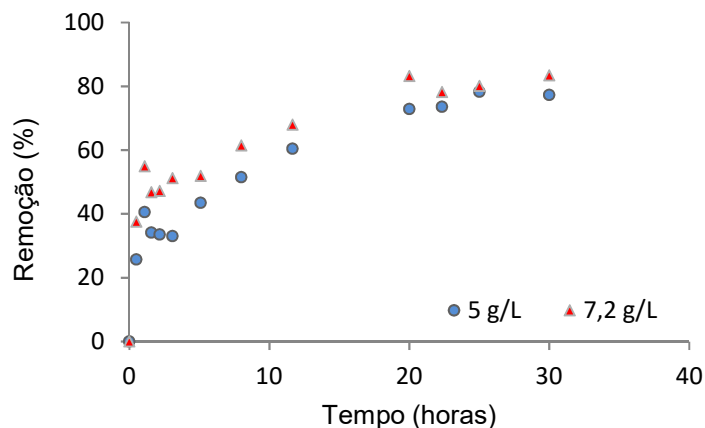
Tabela 3. Atribuições referentes aos números de onda obtidos por Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier

Número de onda (cm^{-1})	Características	Referência
3314	Estiramento de ligações -OH (celulose, pectina, água absorvida e lignina)	Feng et. al. (2011); Hoi e Martincigh (2013).
2925	Estiramento de ligações -C-H em grupos metil e metileno (lignina)	Wahab, Jellali e Jedidi (2010).
2854	Estiramento simétrico de ligações -CH ₂ (celulose)	Feng et. al. (2011).
1743	Estiramento da ligação C=O para grupos carboxil (-COOH, -COOCH ₃) referente a ácidos carboxílicos e ésters (hemicelulose e lignina)	Feng et. al. (2011); Hoi e Martincigh (2013).
1655	Amida primária no polímero N-acetilglucosamina ou da ligação peptídica de proteína.	Bai e Abraham (2002).
1542	Estiramento de ligações C=C em anéis aromáticos (lignina)	Hoi e Martincigh (2013).
1455	Estiramento simétrico de grupos carboxílicos iônicos.	Feng et. al. (2011).
1242	-C-OH no plano (celulose) ou vibrações C-H aromático (lignina)	Lima (2016).
1043	Estiramento de ligações C-O em ácidos carboxílicos	Wahab, Jellali e Jedidi (2010).
611	-C-OH fora do plano (celulose)	Lima (2016).

4.2 Cinética de adsorção

A Figura 4 apresenta a remoção, em porcentagem, em função do tempo, para a concentração de biomassa de 5 e 7,2 g.

Figura 4. Remoção de corante em função do tempo (5 g/L e 7,2 g/L)



Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem por meio das Equações 5 e 6, respectivamente, e os parâmetros e respectivos coeficientes de correlação estão relacionados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros dos modelos cinéticos para bioadsorção do corante pelo bagaço de malte

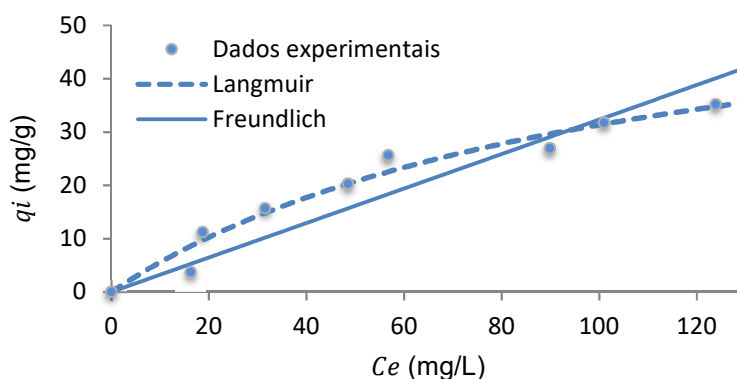
Modelo	Parâmetros	Massa de bioadsorvente (g)	
		0,125	0,180
Pseudo-primeira ordem	q_{eq} (mg/g)	15,46 ± 0,31	11,59 ± 0,50
	q_{eq} (mg/g)	12,776 ± 3,866	6,159 ± 0,623
	K_1 (h ⁻¹)	0,145 ± 0,066	0,104 ± 0,005
	R ²	0,973	0,974
Pseudo-segunda ordem	q_{eq} (mg/g)	16,938 ± 0,770	12,016 ± 0,316
	K_2 (g/mg.h)	0,011 ± 0,001	0,013 ± 0,000
	R ²	0,982	0,991

O modelo de pseudo-segunda ordem apresentou o coeficiente de correlação mais próximo de 1, ou seja, os dados experimentais se ajustaram melhor a este modelo. Isto também pode ser observado ao se comparar a concentração de equilíbrio experimental com as obtidas por meio dos modelos, estando a concentração de equilíbrio de pseudo-segunda ordem mais próxima da experimental. Logo, é possível presumir que a etapa limitante da bioadsorção do corante Neolan Preto WA pelo bagaço de malte é a adsorção química envolvendo forças de valência por meio do compartilhamento ou troca de elétrons entre o adsorvente e o adsorvato (HO; MCKAY, 1999). Outros autores também obtiveram melhor ajuste dos dados experimentais ao modelo de pseudo-segunda ordem ao estudar a bioadsorção do corante Preto Reafix Super 2R e do azul de metileno, utilizando bagaço de malte. Além disso, obtiveram concentração e tempo de equilíbrio igual a 14,31 mg/g e 32 horas, e 19,15 mg/g e 6 horas (RAFAEL, 2016 e GONÇALVES et. al., 2016).

4.3 Equilíbrio de adsorção

As isotermas de adsorção relacionam a quantidade de corante adsorvida na fase sólida com a concentração de adsorvato no equilíbrio, como mostra a Figura 5.

Figura 5. Ajuste dos dados experimentais as isotermas de Langmuir e Freundlich



O ajuste dos dados experimentais às isotermas de Langmuir e Freundlich permitiu obter os parâmetros K_L e q_{max} , e K_F e n , respectivamente (Tabela 5). O coeficiente de correlação mais próximo de 1 foi obtido para a Isoterma de Langmuir ($R^2 = 0,963$). Isso indica que o modelo de Langmuir é o mais adequado para descrever o equilíbrio de bioadsorção do corante Neolan Preto WA em bagaço de malte em batelada.

Tabela 5. Parâmetros e coeficientes de correlação obtidos para as isotermas de adsorção

Isotermas de adsorção	Parâmetros	R^2
Langmuir	$K_L = 0,009 \text{ L/mg}$ $q_{max} = 64,344 \text{ mg/g}$	0,963
Freundlich	$K_F = 0,254 \text{ mg}^{1-\frac{1}{n}} (\text{g}^{-1}) \text{ L}^{\frac{1}{n}}$ $n = 4,128$	0,865

Este resultado indica a formação de monocamada de moléculas de corante na superfície externa do bioadsorvente (WAHAB et al., 2010). A capacidade máxima de adsorção (q_{max}) determinada a partir da isoterma de Langmuir foi calculada em 64,333 mg/g. Apesar de não ter fornecido o melhor ajuste dos dados experimentais, o valor do coeficiente $n > 1$ da Isoterma de Freundlich indica que a adsorção é favorável.

O valor de 40,16 mg/g para a adsorção do corante Preto Reafix Super 2R por bagaço de malte, com melhor ajuste por meio da isoterma de Langmuir foi obtido por Rafael (2016), sendo, em comparação, o valor obtido no presente trabalho relativamente elevado. Além disso, o bagaço de malte também se mostrou eficaz na remoção de corante quando comparado a outros materiais adsorventes como o mesocarpo de coco verde na remoção do corante Cinza Reativo BF-2R em que $q_{max} = 21,9 \text{ mg/g}$ (ROCHA et. al., 2012).

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o bagaço de malte como bioadsorvente alternativo na remoção do corante Neolan Preto WA, sendo as principais conclusões obtidas no estudo apresentadas a seguir: o bagaço de malte apresentou área superficial de 1,182 m²/g, volume total de poros igual a 0,004 cm³/g e diâmetro de poros de 17,596 Å. Além disso, apresentou superfície irregular e heterogênea com cavidades em forma de poros. Apesar de o ponto de carga zero mostrar que o bagaço de malte possui caráter levemente ácido e o corante também ser ácido, a adsorção foi favorecida em pH levemente básico (pH 8). Porém, não houve diferença significativa na adsorção entre pHs 2, 4 e 8. O modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais em batelada foi o de pseudo-segunda ordem, atingindo equilíbrio em 25 horas. O modelo de Isoterma que melhor descreveu as condições de equilíbrio para a adsorção em batelada foi a isoterma de Langmuir, com quantidade máxima adsorvida igual a 64,344 mg/g.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. R. Compostos bioativos do bagaço de malte: fenólicos, capacidade antioxidante *in vitro* e atividade antibacteriana. Curitiba, 2014. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná.

ALMEIDA, N. K. S.; GONÇALVES, G. C.; FURTADO, D. F.; VEIT, M. T. Remoção de corante reativo usando o bagaço de malte como biosorvente em sistema batelada. Gramado, 2018. 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção.

BAI, R. S.; ABRAHAM, T. E. Studies on enhancement of Cr(VI) biosorption by chemically modified biomass of *Rhizopus nigricans*. *Water research*. V. 36, p. 1224-1236, 2002.

CEN/TS 14774-1:2004. European Committee for Standardization. Solid biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method (English version). August, 2004.

CEN/TS 15148:2005. European Committee for Standardization. Solid biofuels - Method for determination of the content of volatile matter (English version). December, 2005.

CEN/TS 14775:2004. European Committee for Standardization. Solid biofuels - Method for determination of ash content (English version). August, 2004.

CERVBRASIL. Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. Disponível em: <<http://cervbrasil.org.br/paginas/index.php?page=dados-do-setor>>. Acesso em: 5 out. 2017.

COCENZA, Gabriel A. S. Estudo comparativo entre a aplicação do carvão ativado pulverizado e a filtração em carvão ativado granular para uma estação de tratamento de água de 100 L/s. São Carlos, 2014. Monografia (Conclusão de Curso) - Universidade de São Paulo.

CORDEIRO, Luana Gomes. Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos. João Pessoa, 2011. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba.

FENG, N.; GUO, X.; LIANG, S.; ZHU, Y.; LIU, J. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified orange peel. *Journal of Hazardous Materials*. V.185, p.49-54, 2011.

FONTANA, K. B.; CHAVES, E. S.; SANCHEZ, J. D. S.; WATANABE, E. R. L. R.; PIETROBELLI, J. M. T. A.; LENZI, G. G. Textile dye removal from aqueous solutions by malt bagasse: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. V. 124, p. 329-336, 2016.

FREITAS, F. B. A.; CÂMARA, M. Y. F.; MARTINS, D. F. F. Determinação do PCZ de adsorventes naturais utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química. V. 3, n. 1, 2015.

GONÇALVES, G. C.; NAKAMURA, P. K.; VEIT, M. T. Produção e caracterização de carvão ativado obtido a partir dos resíduos da indústria cervejeira. Guarujá, 2014. X Congresso Brasileiro sobre Adsorção.

GONÇALVES, G. C.; TESSARO, M.; VEIT, M. T.; BOMBARDELLI, C. Estudo de remoção do azul

de metileno utilizando bagaço de malte como bioissorvente. Fortaleza, 2016. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química.

HO, Yuh-Shan; MCKAY, Gordon. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*. V. 34, p. 451-465, 1999.

HOI, L. W. S.; MARTINCIGH, B. S. Sugar cane plant fibers: separation and characterization. *Industrial Crops and Products*. V. 47, p. 1-12, 2013.

LIMA, Vitor Hugo. Obtenção de nanocelulose via hidrólise ácida a partir do resíduo de bagaço de malte da produção de cerveja. Sorocaba, 2016. Dissertação (Mestrado) - Pós Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos.

LUZ, A. D. Aplicação de coluna de adsorção em leito fixo para a remoção de compostos btx multicomponentes presentes em efluentes petroquímicos. Florianópolis, 2012. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa.

MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. C. Brewers spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*. V. 43, p.1-14, 2006.

RAFAEL, H. M. Bioissorção do corante têxtil Preto Reafix Super 2R com bagaço de malte. Bragança, 2016. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança.

RIBEIRO, C.; BORDIGNON, V. A.; SCHEUFELE, F. B.; BORBA, C. Remoção do corante reativo azul 5g pelas escamas do peixe *Oreochromis niloticus* em coluna de leito fixo. Florianópolis, 2014. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química.

ROCHA, O. R. S.; NASCIMENTO G. E.; CAMPOS, N. F.; SILVA, V. L.; DUARTE, M. M. M. B. Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. *Química Nova*. V. 35, n. 7, p. 1369-1374, 2012. Disponível em: <http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol35No7_1369_15-AR11784.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.

RUTHVEN, Douglas M. Principles of adsorption and adsorption processes. New York: John Wiley & Sons, 1984.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. Cervejas e refrigerantes. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf>. Acesso em: 5 out. 2017, 10:00.

VIJAYAKUMAR, G. et al. Removal of Congo red from aqueous solutions by perlite. *Clean - Soil, Air, Water*. V. 37, n. 4-5, p. 355-364, 2009. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/clen.200800228>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

WAHAB, M. A.; JELLALI, S.; JEDIDI, N. Ammonium biosorption onto sawdust: FTIR analysis, kinetics and adsorption isotherms modeling. *Bioresource Technology*. V. 101, p. 5070-5075, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410002075>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

ZHANG, Z. et al. Congo Red adsorption by ball-milled sugarcane bagasse. *Chemical Engineering Journal*. V. 178, p. 122-128, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894711012630>>. Acesso em: 25 mar. 2019.