

Aproveitamento do bagaço de malte como adsorvente para a remoção do corante azul de metileno

Use of malt bagasse as na adsorbent for the removal of the methylene blue dye

Uso de bagasa de malta como adsorbente para la eliminación del colorante azul de metileno

Recebido: 20/08/2020 | Revisado: 18/08/2020 | Aceito: 03/09/2020 | Publicado: 05/09/2020

Larissa Fernandes Correia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7683-2386>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: larissafernandesc94@gmail.com

José Marcelo Honório Ferreira Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1363-7882>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: marcelo.mhfb@posgrad.ufsc.br

Alexsandro Fernandes Marinho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3283-5427>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: alexsandrofmarinho@gmail.com

Genaro Zenaide Clericuzi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5597-8271>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: genaro@ct.ufpb.br

Karla Silvana Menezes Gadelha de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9085-0225>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: karlasilvana@gmail.com

Resumo

O bagaço de malte é uma alternativa viável para ser utilizado como bioadsorvente, pois é produzida em grandes quantidades durante o processo de produção da cerveja. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a porcentagem de remoção do teor de azul de metileno em

efluente sintético utilizando o bagaço de malte como adsorvente. O material foi caracterizado por meio de análise granulométrica, difratometria de raios X (DRX), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) e análise termogravimétrica (TGA). Os experimentos foram realizados com base em um plano experimental de 2^3 com três réplicas no ponto central. Havia três variáveis independentes: a concentração de azul de metileno (40, 60 e 80 mg/L), o pH (6, 7 e 8) e o tempo (4, 5 e 6 horas). As melhores condições foram obtidas através do tratamento dos dados experimentais no software Statística 13.0. O bagaço teve um percentual de remoção de aproximadamente 94% para o maior nível de concentração (80 mg/L), menor nível de pH (6) e menor tempo (4 horas). Assim, o bagaço de malte apresenta eficiência na remoção do azul de metileno em efluente sintético, portanto, é uma alternativa por também ser economicamente viável.

Palavras-chave: Adsorção; Bioadsorventes; Efluente têxtil; Indústria cervejeira.

Abstract

Malt bagasse is a viable alternative to be used as an adsorbent, as it is produced in large quantities during the beer production process. The present study aimed to evaluate the percentage of removal of the methylene blue content in synthetic effluent using malt bagasse as an adsorbent. The material was characterized by particle size analysis, X-ray diffraction (XRD), infrared spectroscopy with Fourier transform (FT-IR), and thermogravimetric analysis (TGA). The experiments were carried out based on a 2^3 experimental plan with three replicates at the central point. There were three independent variables: methylene blue concentration (40, 60, and 80 mg / L), pH (6, 7, and 8) and time (4, 5, and 6 hours). The best conditions were obtained through the treatment of experimental data in the software Statística 13.0. The bagasse had a removal percentage of approximately 94% for the highest concentration level (80 mg / L), lowest pH level (6), and the shortest time (4 hours). Thus, malt bagasse is efficient in removing methylene blue in synthetic effluent, so it is an alternative because it is also economically viable.

Keywords: Adsorption; Bioadsorbers; Textile effluent; Brewing industry.

Resumen

El bagazo de malta es una alternativa viable para ser utilizado como bioadsorbente, ya que se produce en grandes cantidades durante el proceso de producción de la cerveza. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el porcentaje de remoción del contenido de azul de metileno en efluentes sintéticos utilizando bagazo de malta como adsorbente. El material se

caracterizó por análisis de tamaño de partículas, difracción de rayos X (XRD), espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) y análisis termogravimétrico (TGA). Los experimentos se realizaron en base a un plan experimental de 2^3 con tres réplicas en el punto central. Hubo tres variables independientes: concentración de azul de metileno (40, 60 y 80 mg / L), pH (6, 7 y 8) y tiempo (4, 5 y 6 horas). Las mejores condiciones se obtuvieron mediante el tratamiento de datos experimentales en el software Statistica 13.0. El bagazo tuvo un porcentaje de remoción de aproximadamente 94% para el nivel de concentración más alto (80 mg / L), el nivel de pH más bajo (6) y el tiempo más corto (4 horas). Por lo tanto, el bagazo de malta es eficaz para eliminar el azul de metileno en efluentes sintéticos, por lo que es una alternativa porque también es económicamente viable.

Palabras clave: Adsorción; Bioadsorbers; Efluente têxtil; Industria cervecera.

1. Introdução

O aparecimento de novas tecnologias e as melhorias do setor industrial trouxeram muitos benefícios à humanidade, incluindo disponibilidade e diversidade de produtos que tornaram a vida mais prática. Contudo, o desenvolvimento do setor industrial também impôs sérios problemas ambientais, com o aumento de resíduos resultantes dos processos industriais. Nesse contexto, o descarte de efluentes das indústrias têxteis constitui uma grande preocupação em todos os países do mundo.

Substâncias químicas com potencial de toxicidade são lançadas nos sistemas, resultando em contaminações e degradações do ecossistema terrestre e aquático. Além disso, ao longo do tempo, alguns contaminantes vão entrando na cadeia alimentar dos organismos, o que representa um enorme risco à saúde e à biodiversidade (Erkanlı et al., 2017). Dessa forma, a sociedade tem um desafio de encontrar um novo equilíbrio com a natureza, e não deixar de lado a expansão de oportunidades econômicas para que possa ter um padrão de vida sustentável. Então, novos estudos são feitos com a capacidade de minimizar a toxicidade dos efluentes industriais (Chen et al., 2017; Hasanbeigi & Price, 2015).

Os métodos para tratamento de efluentes industriais mais utilizados envolvem processos físicos ou químicos, como oxidação, troca iônica, adsorção por carvão ativado, separação por membrana, processos biológicos, eletroquímicos, fotoquímicos e neutralização/precipitação química (Samsami et al., 2020; Soares et al., 2017). Dentre os métodos citados, a adsorção tem aparecido como um método de grande potencial para tratar os efluentes industriais (Hynes et al., 2020). Em especial, devido à utilização de adsorventes

naturais onde alguns são obtidos de subprodutos da indústria e da agricultura (Kadhom et al., 2020).

Os procedimentos baseados na adsorção têm a vantagem de ser versátil e acessível, entretanto, o material adsorvente pode encarecer o processo. Além disso, muitos adsorventes não podem ser reutilizados e acabam se tornando outra forma de resíduo. No sentido de reduzir gastos e ampliar a utilização destes processos pela indústria, fontes alternativas de adsorção têm sido investigadas, como os denominados biossorventes, os quais são adsorventes eficientes e de baixo custo (Kadhom et al., 2020).

Utilizar o bagaço de malte no processo de adsorção é uma alternativa para solucionar este problema, pois consiste em uma biomassa como agente principal na remoção de um poluente indesejável. O bagaço de malte é uma biomassa gerada em grande quantidade na produção artesanal e industrial de cerveja, que é descartado ou utilizado como ração animal, pois se degrada rapidamente e não possui valor significativo. A utilização dessa biomassa como material adsorvente na remoção de efluentes pode agregar valor a um resíduo produzido em larga escala.

Portanto, como o bagaço de malte apresenta baixo custo, fácil obtenção e grande disponibilidade, ele foi selecionado para ser caracterizado a fim de determinar suas características cristalinas, químicas e térmicas. Além disso, o potencial adsorvente do biomaterial foi analisado na remoção de cor do efluente sintético contendo o corante azul de metileno, para que uma nova alternativa seja desenvolvida a fim de reutilizar esse resíduo da indústria cervejeira.

2. Metodologia

2.1 Preparação do bioadsorvente

A biomassa utilizada foi o bagaço de malte, obtido de uma produção de cerveja artesanal. Depois de coletado, foi submetido a aquecimento de 60 °C em estufa com circulação e renovação de ar até que não apresentasse sinais de umidade. Este processo durou 20 horas.

2.2 Caracterização do bioadsorvente

2.2.1 Análise granulométrica

Após a secagem, foi feita uma análise granulométrica. Com a finalidade de verificar a influência da granulometria do bagaço de malte na remoção do corante, uma parte da biomassa foi triturada em um moinho de facas e peneirada com o auxílio de um agitador eletromagnético. As granulometrias analisadas foram 35 mesh e sem granulometria. Considerando que a remoção de cor do corante azul de metileno para os dois tipos de granulometria não apresentou alterações significativas, optou-se pela continuidade dos experimentos utilizando a biomassa sem peneiramento, eliminando assim, esta etapa do processo, evitando custos operacionais de trituração e peneiramento.

2.2.2 Difração de raios-X (DRX)

É fundamental conhecer a estrutura cristalina e a microestrutura de um material para poder entender suas propriedades. Assim, o bioadsorvente foi caracterizado por difração de raios-X, no equipamento XRD, Shimadzu. A fonte de radiação utilizada foi $\text{CuK}\alpha$, tensão de 30 V, corrente de 30 mA, com ângulo 2θ percorrido entre 3 e 50°.

2.2.3 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier foi utilizada para investigar a composição da amostra. O bagaço de malte foi caracterizado por FT-IR no equipamento Vertex 70, Bruker. Os espectros foram obtidos na faixa de 4000 – 500 cm^{-1} .

2.2.4 Análise termogravimétrica (TGA)

Análise termogravimétrica consiste em uma técnica que se monitora a variação da massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo em um ambiente de temperatura e atmosfera controladas. Para isso, foi utilizada uma balança termogravimétrica, TGA-50, Shimadzu. A perda de massa foi acompanhada de 25 a 900 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min e atmosfera inerte de gás nitrogênio à vazão de 50 mL/min.

2.3 Preparação das soluções do corante azul de metileno

Foi preparada uma solução mãe com concentração de 1g/L do corante azul de metileno (AM). A partir dessa, diluiu-se as concentrações desejadas para serem utilizadas nas demais partes do procedimento experimental. A concentração do corante AM foi medida no comprimento de onda de 665 nm usando o espectrofotômetro de UV-Visível.

2.4 Ensaios de banho finito

Os ensaios de adsorção em banho finito foram realizados utilizando a solução sintética de azul de metileno, variando a concentração do corante, pH e tempo de duração do banho. Os ensaios foram preparados adicionando 1,5g do bioadsorvente aos erlenmeyers e 50 mL do corante azul de metileno com pH controlado. Para correção do pH foi utilizado um medidor de pH e soluções diluídas de hidróxido de sódio (0,1 M) e ácido clorídrico (0,1 M). Os erlenmeyers foram postos para agitação mecânica, em mesa agitadora, durante tempos determinando, sob uma rotação de 250 rpm e temperatura de 40 °C. Após a agitação mecânica foi feita a leitura da absorbância das amostras, no equipamento espectrofotômetro. O percentual de remoção do corante azul de metileno em efluente sintético foi determinado através da Equação 1.

$$R(\%) = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde:

C_0 é a concentração inicial da solução (mg/L);

C é a concentração da solução no instante t (mg/L).

2.4.1 Planejamento experimental

Foi realizado um planejamento experimental 2^3 com 3 réplicas no ponto central para o estudo do processo de adsorção. O planejamento realizado foi de caráter quantitativo, onde as variáveis são grandezas numéricas que possibilitam previsões dos fenômenos envolvidos nos processos (Pereira, Shitsuka, Parreira, & Shitsuka, 2018). O percentual de remoção de cor do

corante azul de metileno foi a variável dependente analisada. Os fatores avaliados neste estudo foram: concentração do corante, pH da solução sintética e tempo de agitação. Os níveis dos fatores estão presentes na Tabela 1. A análise estatística utilizada nesse estudo foi à análise de variância (ANOVA), com nível de confiança de 95% utilizando o software STATISTICA 13.0 (versão para Windows).

Tabela 1 – Fatores e níveis para o planejamento experimental 2^3 .

Fatores	Níveis		
	-1	0	+1
Concentração (mg/L)	40	60	80
pH	6	7	8
Tempo de agitação (h)	4	5	6

Fonte: Autores (2020).

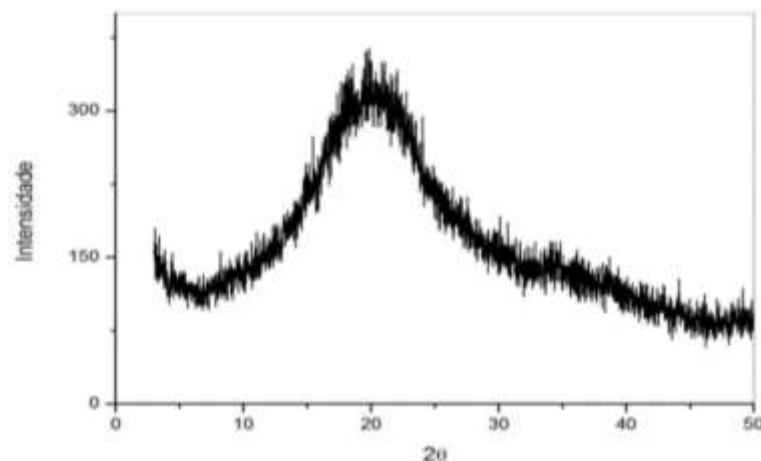
3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização do bioadsorvente

3.1.1 Difração de raios-X (DRX)

No caso de materiais amorfos, como é o caso do bagaço de malte, os padrões de difração não produzem picos estreitos como nos materiais cristalinos, e sim pontos mais largos, pois os arranjos dos átomos são irregulares, conforme Figura 1.

Figura 1 – Difratoograma do bagaço de malte.



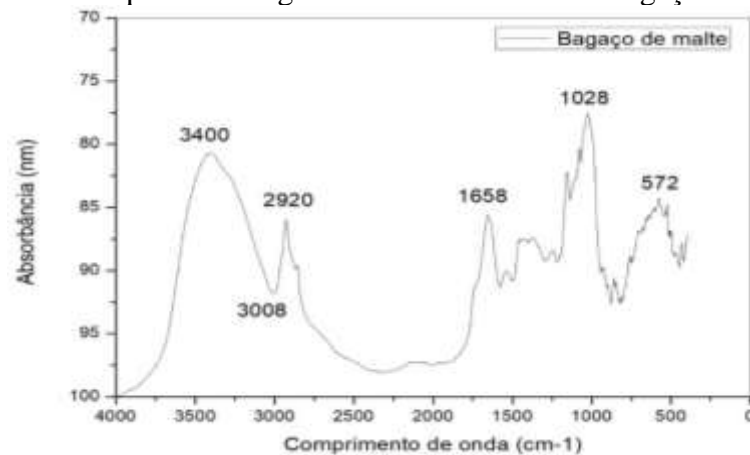
Fonte: Autores (2020).

É possível observar no difratograma a presença de planos característicos de materiais lignocelulósicos. Os principais componentes do bagaço de malte são celulose (16 – 21%), hemicelulose (15 – 29%), lignina (19 – 28%) e proteínas (24 – 39%) (Santos et al., 2015). A lignina e a hemicelulose são macrocélulas amorfas. A celulose, biopolímero de cadeia longa, é distribuída de forma aleatória e tende a formar pontes de hidrogênio (Lima et al., 2013).

3.1.2 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

A Figura 2 retrata os resultados da caracterização por FT-IR da biomassa estudada.

Figura 2 – Espectro na região do infravermelho do bagaço de malte.



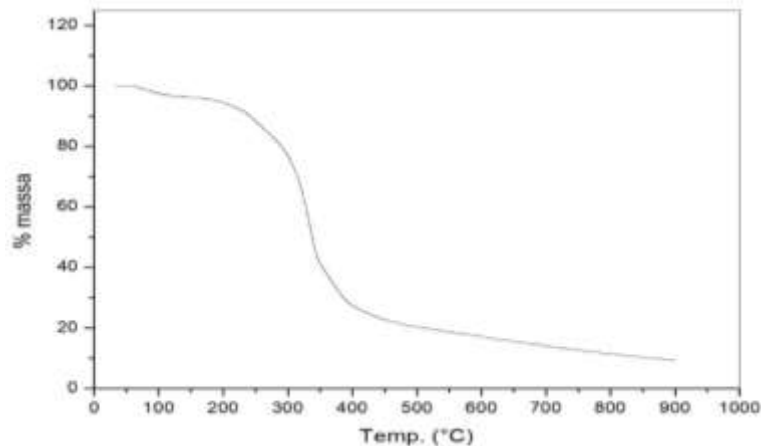
Fonte: Autores (2020).

Observa-se uma ampla banda de absorção na região entre 3008 e 3700 cm^{-1} , com pico em 3400 cm^{-1} , que podem ser atribuídos aos grupos hidroxilo e amino, cujos picos característicos estão entre 3200 e 3600 cm^{-1} (estiramento H-O) e 3300 e 3500 cm^{-1} (estiramento N-H), respectivamente (Wu et al., 2012). Os picos a 2920 e 2850 cm^{-1} correspondem a vibrações do estiramento C-H em cadeias alifáticas ($-\text{CH}_2$ e CH_3), que podem pertencer à celulose, lignina ou hemicelulose (Ferraz et al., 2015). Também é possível observar pico a 1658, atribuído ao grupo carbonila em anéis aromáticos encontrados em lignina (Ferraz et al., 2015). O pico observado a 1028 cm^{-1} pode ser atribuído ao estiramento da ligação C-O de grupos carboxílicos (Fontana et al., 2016). Os grupamentos identificados no espectro estão de acordo com a composição do bagaço de malte.

3.1.3 Análise termogravimétrica (TGA)

O perfil termogravimétrico presente na Figura 3 mostra quatro picos para a variação da perda de massa, que se referem à degradação dos constituintes lignocelulósicos do bagaço de malte.

Figura 3 – Perfil termogravimétrico do bagaço de malte.



Fonte: Autores (2020).

A primeira zona de perda de massa entre as temperaturas de 76,87 e 94,74 °C deve-se predominantemente à evaporação da umidade do bagaço de malte. A segunda zona entre 236,45 e 257,70 °C apresentou 9,49% de perda de massa. A terceira zona entre 315,30 e 343,74°C apresentou maior perda de massa, na ordem de 42% da massa do bagaço de malte. Pois, a celulose e a hemicelulose são mais sensíveis à ação térmica e a degradação destes ocorre até a temperatura de 330 °C (Seye, Cortez, & Gómez, 2000). A quarta zona entre 351,52 e 384,05 °C corresponde à degradação de aproximadamente 14,71%. Essa faixa de temperatura pode ser atribuída à degradação da lignina (Seye, Cortez & Gómez, 2000). A lignina é mais resistente à degradação térmica que ocorre em temperaturas superiores a 300 °C. Acima de 800 °C não foi observado perda de massa significativa, isso é devido a total devolatilização do material lignocelulósico, restando apenas o carbono fixo e as cinzas.

3.2 Análise da remoção de cor obtida no banho finito

O planejamento fatorial 2^3 com 3 réplicas no ponto central permitiu que diferentes fatores fossem avaliados no que tange o percentual de remoção de cor, que consiste na variável de resposta estudada, como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados obtidos para o planejamento fatorial 2^3 com três replicas no ponto central.

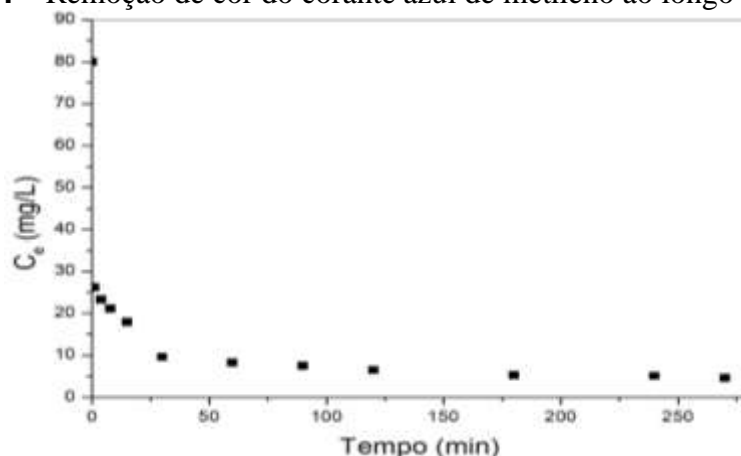
Ensaio	Concentração (mg/L)	pH	Tempo de agitação (h)	% Remoção
1	40	6	4	93,89
2	80	6	4	94,26
3	40	8	4	93,67
4	80	8	4	94,02
5	40	6	6	93,08
6	80	6	6	93,40
7	40	8	6	91,13
8	80	8	6	91,91
9	60	7	5	92,81
10	60	7	5	92,72
11	60	7	5	92,35

Fonte: Autores (2020).

Todos os ensaios do planejamento fatorial apresentaram percentual de remoção de cor superior a 90%, demonstrando a boa afinidade que o bagaço de malte tem com o efluente sintético estudado. O ensaio com concentração de corante de 80 mg/L, pH 6 e tempo de agitação de 4 horas apresentou o maior percentual de remoção de cor, removendo 94,26% da cor presente no efluente sintético. Além disso, houve uma proximidade entre todos os ensaios, indicando que as condições selecionadas foram acertadas para remoção de cor do AM.

Para um estudo da remoção de cor do corante azul de metileno no decorrer do tempo, conforme Figura 4, foram escolhidas as condições do ensaio que proporcionou maior remoção de cor, ou seja, ensaio 2. Nele, o pH utilizado foi 6, tempo de banho de 4 horas e concentração do corante de 80 mg/L.

Figura 4 – Remoção de cor do corante azul de metileno ao longo do tempo.



Fonte: Autores (2020).

A Figura 4 permite avaliar o comportamento da concentração do corante ao longo do tempo com a utilização de 1,5g do bagaço de malte, em uma mesa agitadora a 40 °C e sob agitação de 250 rpm. É possível constatar que uma remoção representativa já ocorre nos primeiros minutos, em que a concentração inicial de azul de metileno vai de 80 mg/L para 21,15 mg/L nos primeiros 8 minutos de operação. A partir de 180 minutos, tem-se um comportamento aproximadamente permanente para os valores de concentração de equilíbrio.

Ao comparar a capacidade de remoção de cor do efluente sintético com outros adsorventes já estudados na literatura, verificou-se que o bagaço de malte apresentou bom desempenho, como é possível observar na Tabela 3.

Tabela 3 – Percentual de remoção de cor do corante azul de metileno com diferentes adsorventes.

Adsorvente	Faixa de remoção (%)	Referência
Caulim	68 – 98	Mouni et al. (2018)
Madeira macia	92 – 98	El Hajam et al. (2019)
Folhas de pinheiro	20 – 80	Yagub, Sen e Ang (2012)
Argila ativada	60 – 95	Weng e Pan (2007)
Pinha	64 – 95	Sen, Afroze e Ang (2011)
Bagaço de malte	91 – 94	Presente trabalho

Fonte: Autores (2020).

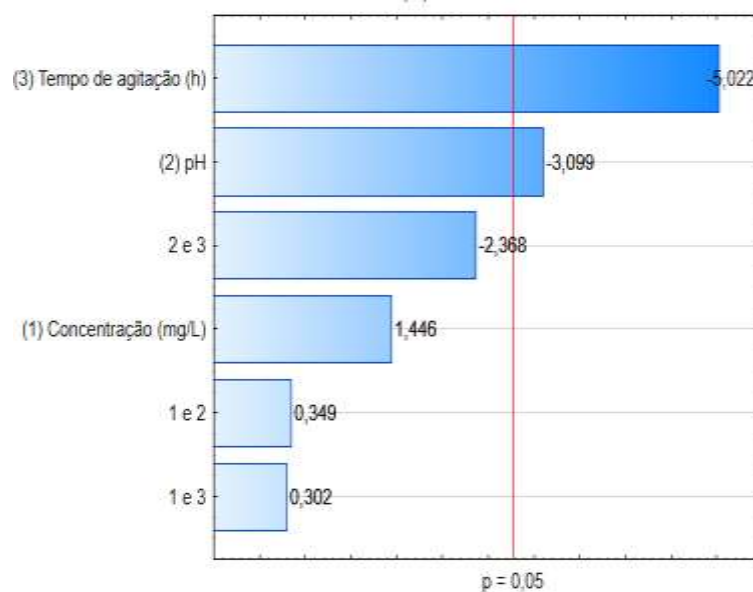
A eficiência na remoção de cor pode ser explicada pela equação linear obtida pelo modelo de regressão ao analisar a ANOVA. Pois, o modelo apresentou R^2 de 0,91, indicando

um bom ajuste aos dados experimentais. Ao analisar os coeficientes do modelo, verifica-se que as interações não foram estatisticamente significativas ao nível de confiança de 0,05. Já, os fatores tempo de agitação e pH se mostraram estatisticamente significativos, com $p < 0,05$. A equação 2 representa a regressão linear reduzida apenas com os termos significativos ($p < 0,05$) para a remoção de cor do corante AM.

$$\text{Remoção (\%)} = 93,022 - 1,580t - 0,975\text{pH} \quad (2)$$

Na Figura 5 é possível visualizar a magnitude dos efeitos. Tempo de agitação e pH foram as variáveis independentes que mais influenciaram na remoção de cor do efluente sintético.

Figura 5 – Diagrama de Pareto para o percentual de remoção de azul de metileno em efluente sintético utilizando bagaço de malte.



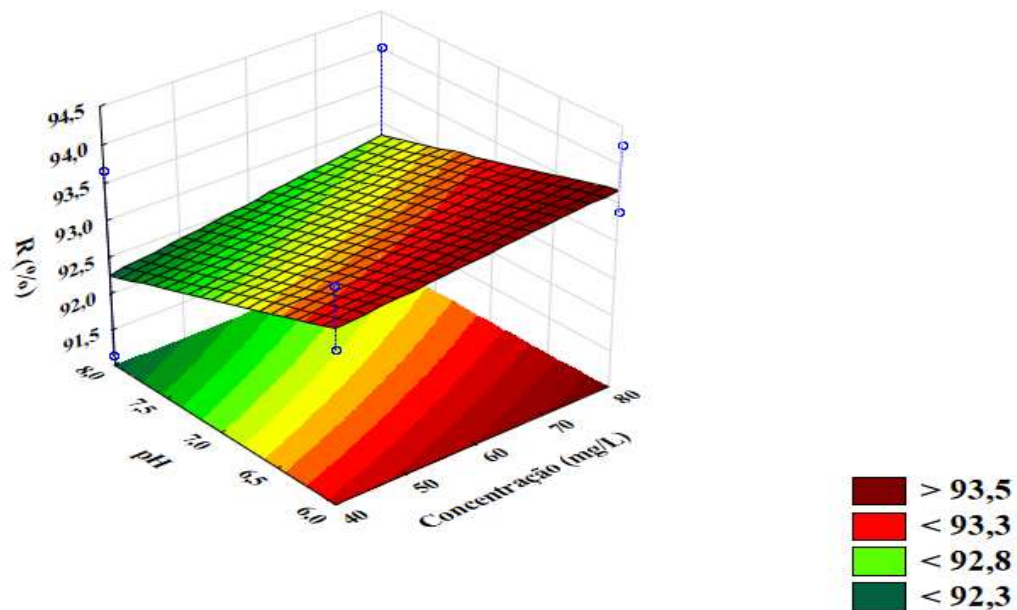
Fonte: Autores (2020).

Ao analisar o diagrama de Pareto presente na Figura 5 é possível observar que tempo de agitação e pH foram as variáveis estatisticamente significativas para a remoção de cor do corante azul de metileno. Ambas as variáveis apresentaram correlação negativa com a variável de resposta. Ou seja, quando tempo de agitação e/ou pH aumentaram, a remoção de cor diminuía.

As superfícies de resposta foram geradas com a finalidade de otimizar os ensaios de adsorção. Por meio dessas superfícies é possível visualizar tridimensionalmente a influência

das variáveis independentes, duas a duas, sobre o percentual de remoção de azul de metileno. As Figuras 6, 7 e 8 mostram a influência, respectivamente, dos fatores; (i) concentração e pH, (ii) concentração e tempo, (iii) tempo e pH na remoção de cor do efluente sintético.

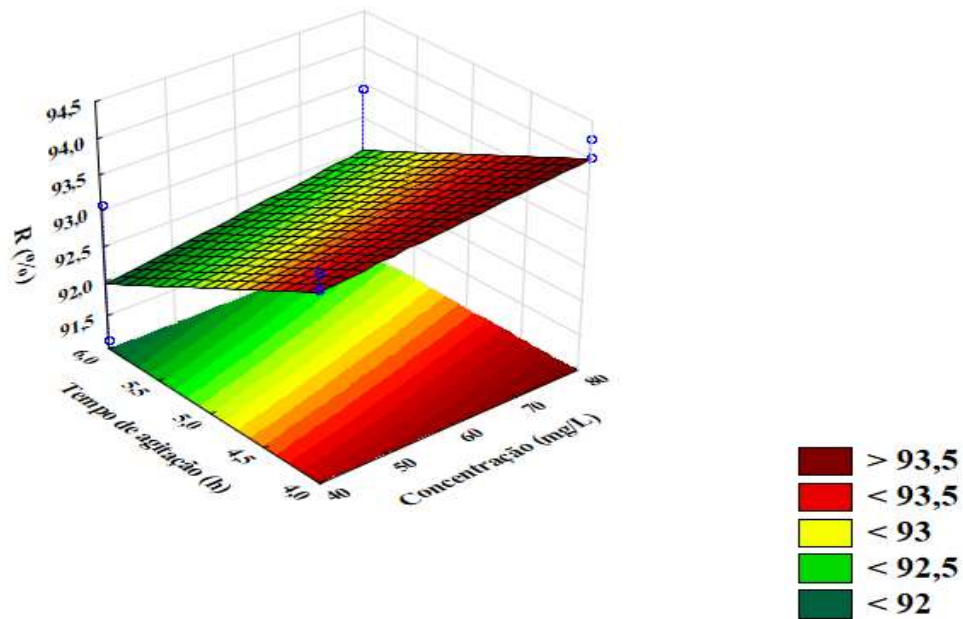
Figura 6 – Superfície de resposta para a remoção de cor em efluente sintético utilizando bagaço de malte, variando o pH e a concentração.



Fonte: Autores (2020).

De acordo com a Figura 6, a maior remoção de cor do corante catiônico azul de metileno ocorre quando se tem os menores valores de pH e os maiores valores de concentração inicial do corante. Especificadamente, o pH 6 e a concentração de 80 mg/L foram as condições que proporcionaram o melhor percentual de remoção de cor.

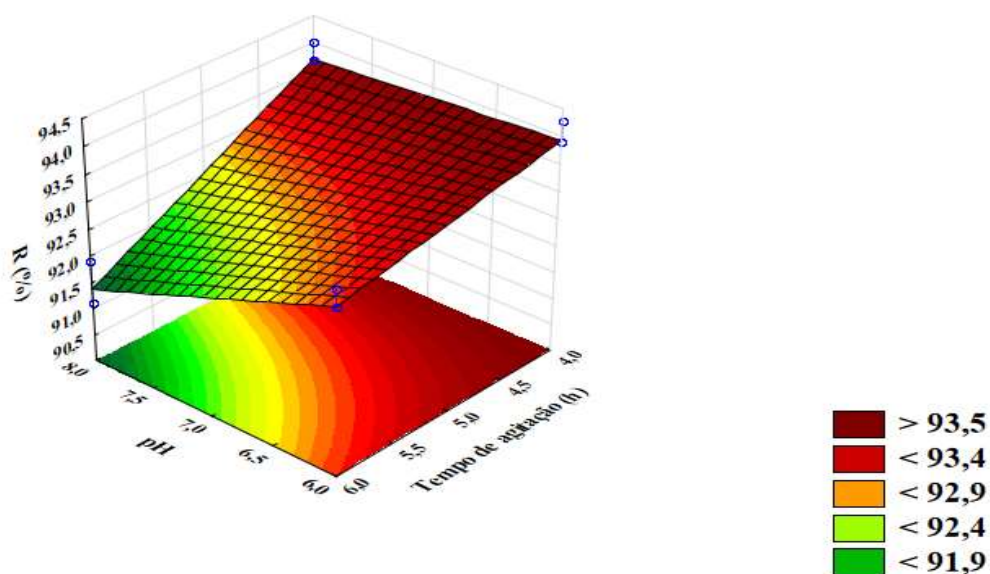
Figura 7 – Superfície de resposta para a remoção de cor em efluente sintético utilizando bagaço de malte, variando concentração e tempo de agitação.



Fonte: Autores (2020).

Na Figura 7 é possível notar que a maior remoção de cor do corante básico azul de metileno ocorre quando se tem os menores valores do tempo de agitação e os maiores valores de concentração inicial do corante. Especificadamente, o tempo de banho de 4 horas e a concentração de 80 mg/L foram as condições que proporcionaram o melhor percentual de remoção de cor.

Figura 8 – Superfície de resposta para a remoção de cor em efluente sintético utilizando bagaço de malte, variando pH e tempo de agitação.



Fonte: Autores (2020).

Ao analisar a Figura 8 constata-se que a maior remoção de cor do corante básico azul de metileno ocorre quando se tem os menores valores do tempo de agitação e os menores valores de pH. Especificadamente, o tempo de banho de 4 horas e o pH de 6 foram as condições que proporcionaram o melhor percentual de remoção de cor.

Para os níveis selecionados para a variável concentração, os valores de remoção foram próximos, não tendo variação superior a 2%, quando os outros níveis estavam fixos. O fator não foi estatisticamente significativo para os níveis selecionados, pois os valores foram relativamente próximos. No entanto, a concentração de corante inicial é determinante no processo de adsorção, pois depende da quantidade de sítios disponíveis na superfície do material adsorvente para acomodar as moléculas de corante (Yagub et al., 2014).

O pH foi estatisticamente significativo para remover a cor do efluente sintético nos níveis selecionados. No entanto, devido o caráter neutro, levemente básico e levemente ácido das soluções, os valores obtidos para a remoção de cor foram próximos. Não houve nenhuma tendência que pudesse identificar predomínio do caráter ácido, básico ou neutro das soluções estudadas que tenham favorecido grandemente o processo de adsorção.

O tempo de agitação foi outro fator que se mostrou estatisticamente significativo para a remoção de cor do efluente têxtil analisado. Ele apresentou correlação negativa com o percentual de remoção de cor. À medida que o tempo de contato do bagaço de malte *in natura* com a solução sintética era menor, o percentual de remoção de cor do efluente era maior. Isso se deve a rapidez do processo de adsorção e a boa afinidade que o corante tem com estrutura do bagaço de malte, fazendo com que rapidamente as moléculas do corante se acomodem na superfície do adsorvente.

4. Considerações Finais

O bagaço de malte obteve percentual de remoção de cor superior a 91% em todos os ensaios analisados. Os resultados demonstram que o bagaço possui considerável potencial na remoção de azul de metileno em efluentes sintéticos. A estrutura lignocelulósica do bioadsorvente apresenta boa afinidade com o corante. As caracterizações demonstraram que há a presença de grupos funcionais que se ligam a molécula de AM.

O maior percentual de remoção ocorreu na maior concentração de azul de metileno (80 mg/L), no menor pH (6) e no menor tempo (4 horas). Ou seja, em condições levemente básicas e em um menor tempo de contato foram obtidos os maiores potenciais de remoção de cor. Vale salientar, que para todos os níveis selecionados houveram excelentes percentuais de

remoção de cor do corante. Assim, o bagaço de malte que é um resíduo sem valor agregado da indústria cervejeira pode ser utilizado como bioadsorvente, pois apresentou resultados satisfatórios e possui baixo custo.

Portanto, como o bioadsorvente estudado apresentou grande potencial adsorptivo na remoção de cor do corante AM, presente em efluentes sintéticos, novos estudos trazendo essa biomassa como adsorvente para o tratamento de efluentes industriais são essenciais. Diante dos resultados promissores obtidos, o grupo de pesquisa está trabalhando em parceria com indústrias locais a fim de avaliar o poder de remoção de cor do bagaço de malte em efluente sintético tanto em escala laboratorial, quanto em escala industrial.

Referências

Chen, L., Wang, L., Wu, X., & Ding, X. (2017). A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry. *Journal of Cleaner Production*, *143*, 1137–1143.

El Hajam, M., Idrissi Kandri, N., Harrach, A., El khomsi, A., & Zerouale, A. (2019). Adsorption of Methylene Blue on industrial softwood waste “Cedar” and hardwood waste “Mahogany”: comparative study. *Materials Today: Proceedings*, *13*, 812–821.

Erkanlı, M., Yilmaz, L., Çulfaz-Emecen, P. Z., & Yetis, U. (2017). Brackish water recovery from reactive dyeing wastewater via ultrafiltration. *Journal of Cleaner Production*, *165*, 1204–1214.

Ferraz, A. I., Amorim, C., Tavares, T., & Teixeira, J. A. (2015). Chromium(III) biosorption onto spent grains residual from brewing industry: equilibrium, kinetics and column studies. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *12*(5), 1591–1602.

Fontana, K. B., Chaves, E. S., Sanchez, J. D. S., Watanabe, E. R. L. R., Pietrobelli, J. M. T. A., & Lenzi, G. G. (2016). Textile dye removal from aqueous solutions by malt bagasse: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *124*, 329–336.

Hasanbeigi, A., & Price, L. (2015). A technical review of emerging technologies for energy

and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 95, 30–44.

Hynes, N. R. J., Kumar, J. S., Kamyab, H., Sujana, J. A. J., Al-Khashman, O. A., Kuslu, Y., ... Suresh Kumar, B. (2020). Modern enabling techniques and adsorbents based dye removal with sustainability concerns in textile industrial sector -A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122636.

Kadhom, M., Albayati, N., Alalwan, H., & Al-Furaiji, M. (2020). Removal of dyes by agricultural waste. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 16, 100259.

Lima, C. S. S., Conceição, M. M., Silva, F. L. H., Lima, E. E., Conrado, L. S., & Leão, D. A. S. (2013). Characterization of acid hydrolysis of sisal. *Applied Energy*, 102, 254–259.

Mouni, L., Belkhiri, L., Bollinger, J.-C., Bouzaza, A., Assadi, A., Tirri, A., ... Remini, H. (2018). Removal of Methylene Blue from aqueous solutions by adsorption on Kaolin: Kinetic and equilibrium studies. *Applied Clay Science*, 153, 38–45.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria: Brasil.

Samsami, S., Mohamadi, M., Sarrafzadeh, M.-H., Rene, E. R., & Firoozbahr, M. (2020). Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 143, 138–163.

Santos, D. M. dos, Bukzem, A. de L., Ascheri, D. P. R., Signini, R., & Aquino, G. L. B. de. (2015). Microwave-assisted carboxymethylation of cellulose extracted from brewer's spent grain. *Carbohydrate Polymers*, 131, 125–133.

Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M. (2011). Equilibrium, kinetics and mechanism of removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pine cone biomass of *Pinus radiata*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 218(1–4), 499–515.

Seye, O., Cortez, L. A. B., & Gómez, E. O. (2000). Estudo cinético da biomassa a partir de

resultados termogravimétricos. *Proceedings of the 3. Encontro de Energia No Meio Rural*.

Soares, P. A., Souza, R., Soler, J., Silva, T. F. C. V, Souza, S. M. A. G. U., Boaventura, R. A. R., & Vilar, V. J. P. (2017). Remediation of a synthetic textile wastewater from polyester-cotton dyeing combining biological and photochemical oxidation processes. *Separation and Purification Technology*, 172, 450–462.

Weng, C.-H., & Pan, Y.-F. (2007). Adsorption of a cationic dye (methylene blue) onto spent activated clay. *Journal of Hazardous Materials*, 144(1), 355–362.

Wu, Y., Jiang, L., Wen, Y., Zhou, J., & Feng, S. (2012). Biosorption of Basic Violet 5BN and Basic Green by waste brewery's yeast from single and multicomponent systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(2), 510–521.

Yagub, M T, Sen, T. K., & Ang, H. M. (2012). Equilibrium, kinetics, and thermodynamics of methylene blue adsorption by pine tree leaves. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(8), 5267–5282.

Yagub, Mustafa T, Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 209, 172–184.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Larissa Fernandes Correia – 20%

José Marcelo Honório Ferreira Barros – 20%

Alexsandro Fernandes Marinho – 20%

Genaro Zenaide Clericuzi – 20%

Karla Silvana Menezes Gadelha de Sousa – 20%