

Avaliação da remoção do corante rodamina FRBT por adsorção utilizando borra de café como material adsorvente

The evaluation of rhodamine FRBT dye removal by adsorption using coffee grounds as an adsorbent material

Tania Maria Costa¹ . Vanessa Oliveira de Deus Tomé¹ .

¹ Centro Universitário SENAI/SC.

*Correspondente: tania.maria@edu.sc.senai.br

Resumo

A aplicação do carvão ativado como material adsorvente tem sido amplamente estudada em diversos âmbitos da indústria. Distintos materiais carbonáceos com potencial adsorvente, como a borra do café, têm mostrado propriedades de adsorção interessantes no que se refere à remoção de corantes têxteis de efluentes industriais. Altos volumes de borra de café são gerados diariamente, tanto como resíduo doméstico quanto como industrial. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo produzir um material adsorvente a partir de borra de café e avaliar sua eficácia como carvão ativado na remoção do corante rodamina FRBT em solução aquosa. Para a obtenção do material adsorvente, realizaram-se dois tipos de tratamento: (i) tratamento 1 (T1): material adsorvente preparado com ácido sulfúrico; (ii) tratamento 2 (T2): material adsorvente lavado apenas com água para ativação química. A eficácia dos adsorventes foi avaliada pela filtração da solução de corante (60 mg·L⁻¹ e 180 mg·L⁻¹) em função do tempo de agitação. Os resultados obtidos indicaram que o filtro T1 apresentou ligeira descoloração ao longo do tempo em 180 mg·L⁻¹ de corante. No entanto, uma transferência de pigmentos da borra para a solução corante foi observada, indicando que o filtro não se mostrou eficaz quando preparado com os métodos selecionados e que possíveis falhas de tratamento podem ter ocorrido no preparo do material adsorvente. Diante disso, faz-se necessário uma revisão na análise de interferência de ativação do filtro, bem como possíveis tratamentos químicos e térmicos diferentes para uma melhor adsorção das substâncias pelo material adsorvente.

Palavras-chave: adsorvente; subproduto agrícola; efluentes têxteis.

Abstract

The application of activated carbon as an adsorbent material has been widely studied in several areas of the industry. Different carbonaceous materials with adsorbent potential, such as coffee grounds, have shown interesting adsorption properties regarding the removal of textile dyes from industrial effluents. High volumes of coffee grounds are generated daily, whether as domestic or industrial waste. In this sense, the present study aimed to produce an adsorbent material from coffee grounds and to evaluate its effectiveness as activated carbon in the removal of rhodamine FRBT dye in aqueous solution. To obtain the adsorbents, two types of treatment were carried out: (i) treatment 1 (T1): the adsorbent material was prepared with sulfuric acid; (ii) treatment 2 (T2): the adsorbent material was washed with water for chemical activation. The effectiveness of the adsorbents was evaluated by filtering the dye solution ($60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) as a function of the stirring time. The results obtained indicated that the T1 filter showed slight discoloration over time at the concentration of $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dye. However, a transfer of pigments from the coffee grounds to the coloring solution was observed, indicating that the filter was not effective when prepared with the selected methods and that possible treatment failures may have occurred in the preparation of the adsorbent material. Therefore, it is necessary to review the filter activation interference analysis, as well as possible different chemical and thermal treatments, for a better adsorption of substances by the adsorbent material.

Keywords: adsorbent; agricultural waste; textile effluents.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos industriais e agrícolas tem sido alvo de muitos estudos relacionados ao reaproveitamento e uso para a geração de novos produtos de alto valor agregado (COSTA *et al.*, 2017; HERMANN *et al.*, 2020; SCHIPMANN *et al.*, 2020). Esses resíduos, que são gerados diariamente em volume expressivo, caso não descartados de maneira adequada, ocasionam distintos problemas de caráter social e ambiental. Tais efeitos têm estimulado cobranças governamentais, como o acordo de Paris, no qual os países membros do grupo se comprometeram a desenvolver novos produtos e processos mais sustentáveis e ecológicos (BRASIL, 2017). A fim de minimizar os custos associados ao descarte inadequado de resíduos, novas tecnologias têm sido estudadas, desenvolvidas e praticadas (PEDRI, 2014).

No que se refere à produção de resíduos gerados pela população, 50% dos resíduos sólidos urbanos são orgânicos, e geralmente seu destino final são lixos e aterros sanitários (BRASIL, 2017). Entre os resíduos orgânicos descartados diariamente, seja pelo uso doméstico, comercial ou industrial, a borra de café residual é um exemplo. Sendo o Brasil um grande produtor e um dos maiores consumidores de café no mundo, a geração desse resíduo é elevada (FIGUEIREDO; BOTARI, 2017). Essa borra, se descartada de forma inadequada, não somente pela massa residual, mas também pela geração de líquidos decorrentes da sua decomposição, pode ocasionar efeitos fitotóxicos sobre a flora e proporcionar um solo impróprio para o habitat de minhocas (THODE FILHO *et al.*, 2017; FRANCO *et al.*, 2020). Isso faz da borra de café residual um alvo interessante em estudos de conversão de resíduos.

O resíduo da borra do café possui grande poder adsorvente de poluentes químicos, sen-

do, por isso, sua ação assimilada ao carvão ativado (LIMA *et al.* 2014). Tal característica tem estimulado estudos sobre sua utilização como substrato na produção de carvão ativado (SILVA *et al.*, 2010; SANTOS; PONTES, 2018) como uma alternativa na produção de adsorventes de baixo custo, visto que os carvões ativados apresentam custo elevado e necessidade de regeneração (SILVA *et al.*, 2010; FIGUEIREDO; BOTARI, 2017). O método de adsorção utilizando carvões ativados tem sido considerado eficaz no tratamento de efluentes contendo corantes (FIGUEIREDO; BOTARI, 2017; SANTOS; PONTES, 2018), visto que, entre os principais poluentes estudados no processo de sorção em carvão ativado, destacam-se o fenol e seus derivados (GUILARDUCI *et al.*, 2006).

Os corantes sintéticos utilizados em processos têxteis não são totalmente removidos pelos métodos de tratamento convencionais em virtude da elevada estabilidade biológica dessas moléculas (FIGUEIREDO; BOTARI, 2017). Mesmo em concentrações muito baixas, os corantes podem ter efeito tóxico e são extremamente difíceis de ser removidos devido à sua estrutura complexa (SUYOG; PARAG, 2017). Caso não haja o tratamento adequado desses efluentes, pode haver um sério risco de contaminação de todo o ambiente aquático onde o líquido será despejado (CASTRO, 2009).

Entre os corantes sintéticos utilizados nas indústrias têxteis e serigráficas está a rodamina, um corante xanteno catiônico altamente solúvel em água, com grupo amino substituído (HERMANN *et al.*, 2020). Muitos métodos de tratamento têm sido estudados na descoloração desse corante, entre eles fotocatalíticos, oxidativos, biológicos, assim como tecnologias de bioeletro-Fenton (BEF), que combinam o processo Fenton com a tecnologia de célula de combustível microbiana (MFC) (ALHAMEDI *et al.*, 2009; HE *et al.*, 2009; CUIPING *et al.*, 2011; DAS *et al.*, 2019; HERMANN *et*

al., 2020), além de métodos de adsorção a partir de adsorventes obtidos do resíduo do café (ANASTOPOULOS *et al.*, 2017).

A utilização da borra de café como um material adsorvente possibilita, além de redução nos custos de obtenção do carvão ativado, a transformação de um resíduo passível de aplicação na remoção de corantes de efluentes industriais têxteis, reduzindo, além dos teores de corantes, a quantidade de agentes químicos utilizados nos processos durante o tratamento. Diante disso, este trabalho teve como objetivo produzir um material adsorvente a partir de borra de café previamente tratada com solução aquosa e solução ácida e avaliar sua eficácia na remoção do corante rodamina FRBT em solução aquosa.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparo do material adsorvente

O material adsorvente foi elaborado conforme metodologia descrita por (SANTOS; PONTES, 2018) e modificada. Na etapa de pré-tratamento, dois quilos (2 kg) de borra de café solúvel provenientes de uso doméstico cedidos de residências particulares (Ilhota, SC, Brasil) foram lavados com água da torneira em temperatura ambiente e secos ao sol por 3 dias, obtendo-se 1 kg de borra de café lavada. Após secagem ao sol, a borra foi novamente seca em estufa (Nova Ética, 402/3N) a 60 °C durante 40 minutos. O material adsorvente foi armazenado em sacos plásticos para posterior utilização.

Dois distintos tratamentos visando à ativação da borra de café como material adsorvente foram realizados no material pré-tratado: No tratamento 1 (T1), 240 g de borra de café foram adicionados numa solução de H₂SO₄ (0,4 mol. L⁻¹) na proporção de 1:4 (1 parte de borra para 4 da solução), agitando por 15 minutos em agitador orbital (Fisatom) em 150 rpm, e descanso de 15 minutos. Na sequência,

a mistura foi filtrada em funil de Büchner utilizando como meio filtrante meia malha branca (20x20 cm). Após a filtração, a borra de café retida na malha foi lavada com água da torneira, repetindo-se o processo de filtração descrito acima e secagem em estufa, 120 °C por 40 minutos. Na sequência, pesou-se para avaliar o rendimento extrativo.

O tratamento 2 (T2) consistiu na pesagem de 240 gramas de borra de café do pré-tratamento com posterior processamento conforme descrito no T1, substituindo-se a solução de H₂SO₄ por água de torneira.

2.2 Cinética de adsorção e remoção do corante

Para os ensaios de remoção de corante, a metodologia proposta por Santos e Pontes (2018) foi utilizada e modificada. Dois gramas (2 g) de borra de café dos T1 e T2 foram pesadas separadamente em frascos erlenmeyer de 250 mL com adição de 100 mL de uma solução de rodamina FRBT nas concentrações 1 (C1) 60 mg·L⁻¹ e concentração 2 (C2) 180 mg·L⁻¹. Os erlenmeyers foram mantidos em um agitador magnético (80 rpm, AKSo HS19T), em temperatura ambiente (± 25 °C), sob agitação constante por 15 minutos.

Após esse período, alíquotas do sobrenadante (5 mL) foram removidas com o auxílio de uma pipeta graduada de vidro, nos tempos 0, 5, 15, 35 e 65 minutos após sedimentação do adsorvente, e filtradas em funil de Büchner, utilizando o papel qualitativo (80 g·m⁻²). Após filtração, o papel filtro com a solução de corante foi reservado e seco em temperatura ambiente.

A remoção do corante foi determinada espectrofotometricamente usando o espectrofotômetro UV-visível (Datamolo, 600 TM) por reflectância, com posterior análise baseada na escala de cinza. Todos os experimentos de remoção do corante foram realizados em triplicata.

2.3 Determinação do pH

Análises de pH foram realizadas em T1 e T2 pelo método potenciométrico adicionando 2 gramas de amostra em 10 mL de água e agitados por 15 minutos, com posterior leitura em pHmetro digital portátil AK90-Akso com eletrodo de vidro, após a decantação de cada solução.

Nos ensaios cinéticos de remoção de corante, a leitura do pH ocorreu diretamente no erlenmeyer contendo a solução do corante rodamina em C1 e C2 em diferentes tempos (0, 5, 15, 35 e 65 minutos) após a decantação da solução.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

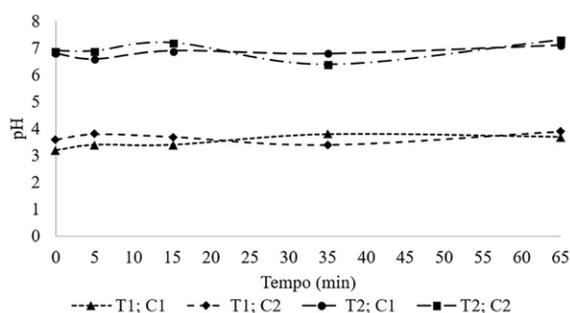
As análises de rendimento do material adsorvente obtido após os tratamentos T1 e T2 para ativação da borra de café mostram maior rendimento (96,6%; 232 g) de material adsorvente quando submetido ao T2 em comparação ao T1 (82,5%; 198 g). Normalmente, o uso de solventes como H_2SO_4 auxilia na remoção de compostos constituintes da borra de café, como a lignina, que podem interferir na adsorção do corante no material adsorvente (SUYOG *et al.*, 2017; HERMANN *et al.*, 2019). Sua remoção aumenta a porosidade do material adsorvente e, conseqüentemente, a área de superfície (SUYOG *et al.*, 2017). Além do mais, a ativação proveniente do uso de solventes químicos (ativação química) gera carvões com poros maiores, o que os tornam mais apropriados em aplicações de adsorção na fase líquida (JAIME, 2016).

A remoção de componentes da borra de café, como a lignina, pode ter contribuído para a obtenção de menores rendimentos observados no T1.

Os valores de pH inicial obtidos no material adsorvente após os tratamentos T1 e T2 foram $2,0 \pm 0,28$ e $6,75 \pm 0,45$, respectivamente, que são valores condizentes com o tratamento empregado. Para a solução de

rodamina FRBT inicial, os valores de pH antes do contato com o material adsorvente foram $7,5 \pm 0,24$ para C1 e $7,5 \pm 0,25$ para C2. Os resultados obtidos para o pH ao longo de 65 minutos nos tratamentos T1 e T2 do material adsorvente nas concentrações C1 e C2 de rodamina FRBT estão mostrados na Figura 1.

Figura 1 - Valores de pH ao longo do tempo nos tratamentos T1 e T2 em $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e $180 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de rodamina FRBT. T1 = tratamento com solução de H_2SO_4 ; T2 = tratamento com solução aquosa; C1 = $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; C2 = $180 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$



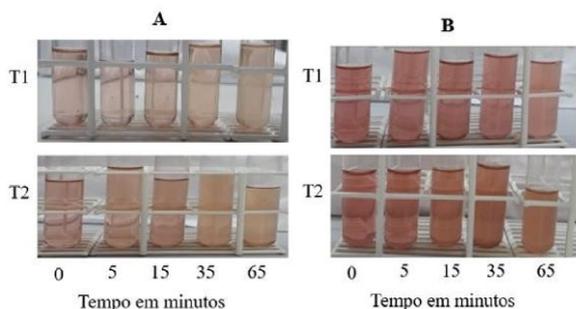
Fonte: Dos autores (2022)

Observa-se que o pH manteve um perfil similar para as concentrações C1 e C2 dentro do mesmo tratamento (T1 e T2), mostrando pouca diferença em seus valores ao longo de 65 minutos (Figura 1). O abaixamento do pH na solução de corante em T1 está associada ao tipo de tratamento empregado, visto que se utilizou ácido H_2SO_4 para a ativação da borra de café. No entanto, a neutralização do material adsorvente é fundamental para a correta aplicação e análise da adsorção do corante na superfície do carvão ativado. Observa-se que a lavagem com água da torneira, neste caso, não foi suficiente para a remoção completa do ácido da superfície do material adsorvente (T1), influenciando diretamente no pH da solução. O pH da solução desempenha um papel importante no controle da carga superficial do adsorvente, no grau de ionização do adsorbato na solução, bem como na dissociação de vários grupos funcionais nos sítios ativos do adsorvente (ANASTOPOULOS *et al.*, 2017).

3.1 Cinética de adsorção

A Figura 2 mostra os resultados do tempo de contato do material adsorvente na remoção de corante nos tratamentos T1 e T2 para as concentrações de 60 mg.L⁻¹ e 180 mg.L⁻¹ ao longo de 65 minutos.

Figura 2 - Descoloração visual ao longo de 65 minutos para os tratamentos T1 e T2 na concentração de 60 mg.L⁻¹ (A) e 180 mg.L⁻¹ (B) de rodamina FRBT. T1 = tratamento com solução de H₂SO₄; T2 = tratamento com solução aquosa

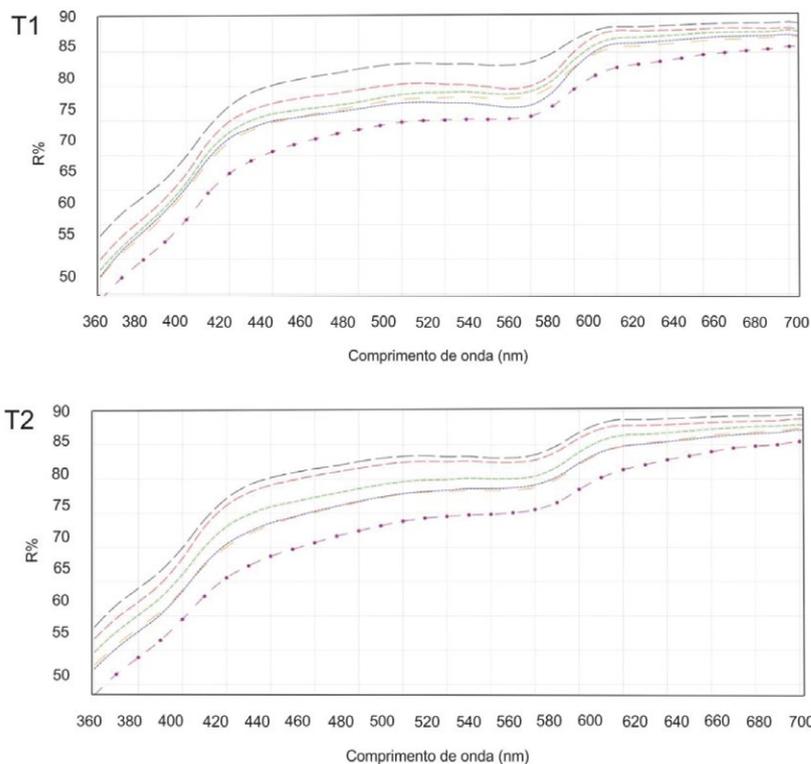


Fonte: Dos autores (2022)

Observa-se que não houve redução significativa de cor ao longo de 65 minutos para nenhum dos tratamentos testados nas concentrações analisadas (Fig. 2). Uma tendência à turvação é observada para T2 nas concentrações de 60 mg.L⁻¹ (A) e 180 mg.L⁻¹ (B) após 35 minutos de contato da solução corante com o material adsorvente. Essa turvação pode estar associada à pigmentos provenientes da borra de café que não foram totalmente extraídos durante o pré-tratamento e durante o tratamento aquoso (T2), sendo posteriormente transferidos para a solução corante.

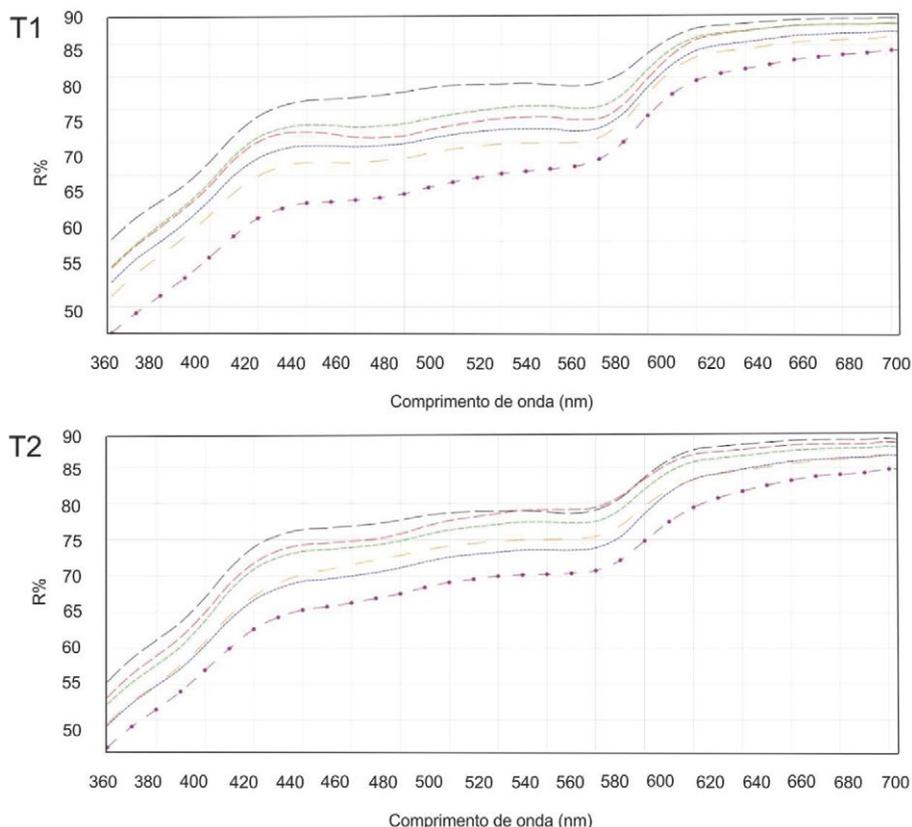
Apesar de o aumento visual da turvação ser mais evidente para T2, os resultados obtidos por análises espectrofotométricas (Figura 3 e Figura 4) mostram um aumento de cor logo no início do contato da solução de corante com o material adsorvente.

Figura 3 - Perfil cinético de descoloração de corante dentro 0 e 65 minutos para concentração de 60 mg. L⁻¹ de rodamina FRBT. T1 = tratamento com solução de H₂SO₄; T2 = tratamento com solução aquosa. Linhas: preta = solução pura na concentração de 60 mg. L⁻¹; vermelha = 0 minutos; verde = 5 minutos; azul = 15 minutos; laranja = 35 minutos; lilás = 65 minutos.



Fonte: Dos autores (2022)

Figura 4 - Perfil cinético de descoloração de corante dentre 0 e 65 minutos para concentração de 180 mg. L⁻¹ de rodamina FRBT. T1 = tratamento com solução de H₂SO₄; T2 = tratamento com solução aquosa. Linhas: preta = solução pura na concentração de 180 mg. L⁻¹; vermelha = 0 minutos; verde = 5 minutos; azul = 15 minutos; laranja = 35 minutos; lilás = 65 minutos.



Fonte: Dos autores (2022)

A rodamina é um corante utilizado em processos industriais têxteis, assim como na indústria serigráfica (HERMANN *et al.*, 2020). Possui um comprimento de onda bem definido, considerando uma faixa do espectro visível de 500 – 650 nm. A literatura mostra comprimentos de onda em torno de 557 nm (HERMANN *et al.*, 2020) e 600 nm (MA-NOEL, 2017). Neste estudo, uma varredura foi realizada entre 360 nm e 680 nm, através da qual se observa que os maiores picos de reflectância ocorrem na faixa de 600 nm. Conforme o tempo de contato da solução de corante com o material adsorvente aumenta (0 – 65 min, Figuras 3 e 4), menor é o índice de reflectância (%R) obtido, o que denota que que alguns pigmentos provenientes da borra de café que não foram totalmente extraídos

durante o pré-tratamento e durante o tratamento aquoso migraram para a solução, conforme descrevem as Tabelas 1 e 2 em notas de escala de cinza.

Tabela 1 - Notas na escala de cinza para 60 mg. L⁻¹ de rodamina FRBT durante 65 minutos

TEMPO	NOTAS-ESCALA DE CINZA	
	T1	T2
0 min	3,16 ± 0,20	3,48 ± 0,08
5 min	3,32 ± 0,21	3,34 ± 0,14
15 min	3,19 ± 0,09	3,42 ± 0,11
35 min	3,01 ± 0,19	3,27 ± 0,08
65 min	2,96 ± 0,08	3,10 ± 0,23
Solução corante	3,83	

T1 = tratamento com solução de H₂SO₄;
T2 = tratamento com solução aquosa

Fonte: Dos autores (2022)

Tabela 2 - Notas na escala de cinza para 180 mg. L⁻¹ de rodamina FRBT durante 65 minutos

TEMPO	NOTAS-ESCALA DE CINZA	
	T1	T2
0 min	3,12 ± 0,20	3,63 ± 0,20
5 min	3,00 ± 0,15	3,62 ± 0,29
15 min	3,18 ± 0,11	3,39 ± 0,11
35 min	3,04 ± 0,21	3,43 ± 0,10
65 min	2,60 ± 0,30	3,31 ± 0,11
Solução corante	3,33	

T1 = tratamento com solução de H₂SO₄;
T2 = tratamento com solução aquosa

Fonte: Dos autores (2022)

Aplicada na indústria têxtil para medir a solidez da cor, a escala de cinza é uma medida utilizada para avaliar a mudança de cor ou coloração da amostra. A escala de mudança de cor ou coloração consiste em nove pares de chips nas cores cinza e branca, de graus 1 a 5, sendo que, quanto mais próximo de 5, menor a coloração da amostra.

A avaliação da cor ocorre dentro do padrão técnico de avaliação da ABNT, seguindo a norma da ISO 105-A02 de Ensaio têxteis de solidez da cor parte A02 (escala de cinza para a avaliação da alteração da cor) (CRUZ, 2014). Nos ensaios realizados neste estudo, observa-se que, com o passar do tempo (Tabelas 1 e 2), uma maior coloração na amostra é mensurada, deixando evidente a transferência de pigmentos do material adsorvente para o efluente e, portanto, sua não eficácia. Para que a utilização desse material como adsorvente seja possível, é necessário que este seja lavado até que a água esteja totalmente límpida, evitando assim uma transferência de pigmentos da borra para o efluente e comprometendo a eficiência do material adsorvente. Além do mais, a remoção completa da solução ácida utilizada no pré-preparo (T1) também é fundamental, visto que, em soluções ácidas, corantes como a rodamina mostram percentuais menores de remoção em comparação

aos percentuais de remoção em soluções neutras ou básicas (QUINTINO, 2021). Não apenas o pH mostra influência na remoção do corante por adsorção, como também forças de interação entre o adsorbato e os grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente, como pontes de hidrogênio, influenciam na adsorção e consequente remoção de corante da solução aquosa (QUINTINO, 2021). Ademais, neste estudo, a borra de café foi lavada com água de torneira, na qual predominam diversos íons dissolvidos e matéria orgânica que são capazes de competir pelo sítio ativo do material adsorvente (QUINTINO, 2021), comprometendo a adsorção de outros componentes, como a rodamina.

A ativação da borra de café como carvão ativado e sua posterior remoção em corantes como azul de metileno, rodamina B e rodamina 6G vem sendo avaliada a partir de ativações com soluções ácidas, básicas e neutras (FIGUEIREDO; BOTARI, 2017; SHEN; GONDAL, 2017). Percentuais de remoção do azul de metileno acima de 90% foram obtidos em estudos realizados por Figueiredo e Bondari (2017) após 20 minutos de contato da solução com o carvão ativado, apresentando resultados mais eficazes para o material ativado com H₃PO₄, com remoção de 92% do corante após 9 minutos. Neste estudo, a utilização de borra de café como material adsorvente para a remoção de rodamina FRBT mostrou-se pouco satisfatória. Esta baixa eficiência na remoção do corante pode estar associada à dificuldade de adsorção do corante no material adsorvente em virtude de componentes ainda presentes na borra de café devido à falta do pré-tratamento adequado na obtenção do adsorvente. A baixa temperatura de secagem (60°C) da borra no pré-tratamento também pode ter contribuído para a não eficácia da adsorção do corante. A etapa de pirólise, ou carbonização, realizada em temperaturas de até 800°C tem a função de

remover os materiais voláteis presentes na amostra e formar os poros. Esses poros ficam obstruídos até o processo de ativação, fundamental para a eficácia do carvão ativado (DE ALMEIDA E SILVA *et al.*, 2017). Decorrente das limitações quanto a equipamentos utilizados, como falta da mufla para altas temperaturas, esta etapa de carbonização não foi realizada neste estudo. Além disso, as alterações necessárias na superfície do material adsorvente para a obtenção do carvão ativado são influenciadas pelo agente utilizado (químico e físico), tempo e temperatura de ativação (DE ALMEIDA E SILVA *et al.*, 2017). Os procedimentos utilizados neste estudo, nos T1 e T2 para ativação do material, não se mostraram eficazes na alteração da superfície química da borra para que esta se tornasse um material ativo na remoção do corante rodamina.

4. CONCLUSÃO

O potencial de adsorção do material adsorvente produzido a partir da borra de café residual em relação ao corante rodamina FRBT não se mostrou eficaz nas condições avaliadas. A ausência do tratamento térmico em altas temperaturas, no início do processo, pode ter comprometido o potencial de adsorção da borra, uma vez que a volatilização de compostos presentes no material e a formação de poros são fundamentais para a posterior ativação. A ativação química é muito aplicada na produção de carvão ativado. No entanto, a baixa remoção do solvente e sua interferência no pH da solução pode ter contribuído para a baixa adsorção e remoção do corante. Além do mais, os componentes presentes na água da torneira, utilizada na lavagem do material, podem competir com os sítios ativos da amostra, interferindo no processo. Em virtude da abundância de borra de café gerada diariamente e do desenvolvimento de novos materiais alterna-

tivos para o tratamento de efluentes aquosos contendo contaminantes da indústria têxtil, novos ensaios envolvendo melhorias no preparo do material adsorvente, como tratamento térmico, controle de pH, temperatura, se fazem necessários para que se avalie a eficácia da borra de café como material adsorvente no tratamento de efluentes têxteis utilizando outros tipos de corantes.

REFERÊNCIAS

ALHAMEDI, F. H.; RAUF, M. A.; ASHRAF, S. S. Degradation studies of rhodamine B in the presence of UV/H₂O₂. **Desalination**, 239, pp. 159-166, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.016>.

ANASTOPOULOS, I.; KARAMESSOUTI, M.; MITROPOULOS, A.C.; KYZAS, G. Z. A review for coffee adsorbents. **Journal of Molecular Liquids**, 229, pp. 555-565, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2016.12.096>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: Manual de Orientação**. Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. Brasília: MMA, 2017. Disponível em: http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municipio-verdeazul/2016/07/rs6-compostagem-manualorientacao_mma_2017-06-20.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

CASTRO, C. S. **Preparação de carvão ativado a partir de borra de café: uso como adsorvente e como suporte catalítico para remoção de poluentes orgânicos em meio aquoso**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

- COSTA, T. M.; HERMANN, K. L.; GARCIA-ROMAN, M.; VALLE, R. C. S. C.; TAVARES, L. B. B. Lipase production by *Aspergillus niger* grown in different agro-industrial wastes by solid-state fermentation. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 34, pp. 419-427, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20170342s20150477>.
- CUIPING, B.; XIANFENG, X.; WEN-QI, G.; DEXIN, F.; MO, X.; ZHONGXUE, G.; NIAN, X. Removal of rhodamine B by ozone-based advanced oxidation process. **Desalination**, 278, pp. 84-90, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.009>.
- CRUZ, G. P. **Avaliação de parâmetros técnicos para bonés do APL de Apucarana – PR**. 2014. 120 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design de Moda) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2014.
- DAS, I.; DAS, S.; CHAKRABORTY, I.; GHANGREKAR, M. M. Bio-refractory pollutant removal using microbial electrochemical technologies: a short review. **Journal of Indian Chemical Society**, 96, pp. 493-497, 2019.
- DE ALMEIDA E SILVA, E. S. C.; PINTO, B. C.; LIMA, A. S.; DE OLIVEIRA, M. A.; DA SILVA BEZERRA, A. C.; SOUZA, T. S. F.; RODRIGUES, C. G.; MACHADO, A. R. T. Equilíbrio de adsorção do corante rodamina B em carvão ativado obtido dos resíduos de coco verde. **The Journal of Engineering and Extract Sciences**, 3(8), pp. 1051-1058, 2017.
- FRANCO, H. A.; ROCHA, M. V. C.; THODE FILHO, S. Impacto ambiental do extrato solubilizado de borra de café sobre organismo terrestre. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, 9, pp. 404-413, 2020. DOI <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1>.
- FIGUEIREDO, A. C. F.; BOTARI, A. Remoção de cloridrato de metiltiamina por adsorção utilizando carvão ativado produzido a partir da borra de café. *In: Safety, Health and Environment World Congress*, 7., 2017, Vila Real, Portugal. **Anais...** Vila Real: SHEWC, 2017. DOI: 10.14684/SHEWC.17.2017.109-114.
- GUILARDUCI, V. V. S.; MESQUITA, J. P.; MARTELLI, P. B., GORGULHO, H. F. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química Nova**, 29, pp. 1226-1232, 2006.
- HE, Z.; SUN, C.; YANG, S.; DING, Y.; HE, H.; WANG, Z. Photocatalytic degradation of rhodamine B by Bi₂WO₆ with electron accepting agent under microwave irradiation: mechanism and pathway. **Journal of Hazardous Materials**, 162, pp. 1477-1486, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.047>.
- HERMANN, K. L.; COSTA, T. M.; HELM. C. V.; MARCONATTO, L.; BORGES, L. G. A.; VEGINI, A. A.; GIONGO, A.; TAVARES, L. B. B. Discoloration of rhodamine b dye by white-rot fungi in solid bleached sulfate paperboard coated with polyethylene terephthalate: scale-up into non-sterile packed-bed bioreactor. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103685>.
- HERMANN, K. A. C.; MAGNANO, R. F.; BIANCHET, R. T.; MOECKE, E. H. S.; CUBAS, A. L. V. Avaliação do uso da borra de café para utilização em produtos cosméticos. **Revista Virtual de Química**, 11, pp. 1810-1822, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20190126>.

LIMA, L. K. S.; SANTOS, C. C.; MOURA, M. C. F.; DUTRA, A. S.; FILHO, A. F. O. Utilização de resíduo oriundo da torrefação do café na agricultura em substituição a adubação convencional. **ACSA Agropecuária Científica no Semiárido**, 10, pp. 14-19, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v10i1.380>.

JAIME, F. K. L. **Avaliação de tratamentos térmicos e químicos na preparação de carvão ativado a partir de borra de café na adsorção de cafeína em meio aquoso**. 2016. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

MANOEL, D. S. **Materiais Híbridos de Sílica/orgânico dopados com Rodamina-B: Propriedades Luminescentes e Emissão Laser Randômico**. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2017.

PEDRI, Z. C. **Uso de biomassa lignocelulósica e Lentinula edodes para desenvolvimento de um biocompósito**. 2014. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2014.

QUINTINO, M. S. **Utilização de resíduo de café para remoção adsortiva de corantes em solução aquosa**. 2021. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Tecnológica e Industrial), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

SANTOS, I. C.; PONTES, P. P. Utilização da borra de café como bioadsorventes para remoção de corantes de efluentes. *In*: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 14., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABES, 2018. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento40/TrabalhosCompletoPDF/II-012.pdf>. Acesso em: 10 maio 2020.

SCHIPMANN, D. B. D.; TIMM, T. G.; COSTA, T. M.; TAVARES, L. B. B. Influência do resíduo de produção de cerveja no crescimento de fungos *Ganoderma* e na obtenção de β -glucanas. **Revista de Estudos Ambientais**, 22, pp. 32-42, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2020v22n2p32-42>.

SILVA, L. C. O.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Utilização de borra de café na produção de adsorventes para remoção de compostos fenólicos. *In*: Encontro Brasileiro de Adsorção, 18., 2010, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: COBEQ, 2010. p. 4840-4848.

SUYOG, N. J.; PARAG, R. G. Adsorptive removal of acid violet 17 dye from wastewater using biosorbent obtained from NaOH and H₂SO₄ activation of fallen leaves of *Ficus racemose*. **Journal of Molecular Liquids**, 243, pp. 132-143, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.08.009>.

THODE FILHO, S.; CORRÊA de SOUZA, L.; JORGE, E. M. L. F.; SENA, M. F. M.; FRANCO, H. A. Evaluation of the Impact of the Leached and Solubilized Extracts on the Germination of Cabbage Seeds (*Brassica oleracea* var. capitata). **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 21, pp. 58-66, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117029733>.