

Dessorção de corante Remazol Azul RR de bagaço de uva: recuperação do corante e reuso do biossorvente

Thais Ferreira Citadin¹ · Maria Alice Prado Cechinel²

Resumo A contaminação dos corpos hídricos devido à disposição inadequada de efluentes industriais é um dos problemas ambientais mais significativos atualmente. A indústria têxtil apresenta um alto potencial poluidor em consequência da baixa fixação dos corantes, gerando efluentes altamente coloridos. Entre os diversos métodos de tratamento de efluentes, destaca-se o processo de adsorção em virtude de sua simplicidade e viabilidade econômica. O uso de resíduos agrícolas como biossorventes tem se tornado cada vez mais comum em razão do baixo custo, por serem biodegradáveis, apresentarem alta eficiência e auxiliarem na minimização dos problemas ambientais relacionados ao descarte de resíduos. Este trabalho teve como objetivo realizar o processo de dessorção do corante têxtil Remazol Azul RR do bagaço de uva a fim de avaliar a reutilização do biossorvente e a recuperação do corante. Foram realizados ensaios para determinar o tipo de eluente e sua melhor concentração, o tempo de contato, bem como avaliar a reutilização do bagaço de uva por meio da realização de ciclos sequenciais de adsorção-dessorção. Entre os dez eluentes testados, o hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio apresentaram os melhores resultados, removendo totalmente o corante do bagaço de uva. O grande potencial dos dois eluentes foi comprovado nos ensaios de concentração, em que houve uma remoção total do corante utilizando-se concentrações de 5 mM. Por meio dos ensaios cinéticos foi possível verificar que a dessorção é inicialmente rápida, atingindo percentuais de remoção de 73 % para NaOH e 75 % para KOH nos primeiros 50 minutos, seguido de um crescimento gradual até atingir o equilíbrio em 180 minutos. Após cinco ciclos de adsorção-dessorção, a capacidade de adsorção pouco se alterou, porém o percentual de dessorção foi inferior a 75 %. Os resultados obtidos comprovam o alto potencial adsorptivo do bagaço de uva para corantes têxteis presentes em soluções aquosas.

Palavras-chave Bagaço de uva · Corante Remazol Azul RR · Dessorção · Efluentes têxteis · Reuso.

✉ ¹ thais_citadin@hotmail.com

✉ ² maria.cechinel@unesb.net

1 Introdução

O crescimento populacional e o aumento das atividades industriais, de forma significativa nas últimas décadas, tornaram os problemas ambientais cada vez mais críticos e frequentes [1]. Uma das questões ambientais diretamente relacionada à industrialização e que afeta a população de modo global é a poluição das águas. O lançamento de efluentes nos corpos hídricos sem o devido tratamento é motivo de grande preocupação, visto que eles podem conter substâncias tóxicas que comprometem a vida aquática e fazem com que as águas sejam impróprias para consumo [2].

Entre os setores industriais, o ramo têxtil apresenta-se com o expressivo potencial poluidor dos recursos hídricos. Grande parte dos corantes utilizados no processo produtivo tem baixas taxas de fixação e são, conseqüentemente, eliminados nos efluentes em elevadas concentrações, tornando-os altamente coloridos [3]. Dessa forma, a disposição inadequada desses efluentes causa limitação na capacidade de reoxigenação da água, reduzindo a atividade fotossintética dos sistemas aquáticos e causando problemas para a fauna e a flora [4]. Os efluentes têxteis são muito difíceis de serem tratados, uma vez que os corantes são moléculas orgânicas altamente resistentes e com baixa biodegradação, dificultando a seleção de um método adequado para sua remoção [5].

Para o tratamento de efluentes têxteis geralmente são utilizados processos convencionais como coagulação, floculação e tratamento biológico [3] que, embora sejam eficientes na remoção de corantes, apresentam alta complexidade e elevado custo de operação [6]. Por esse motivo, o processo de adsorção vem sendo muito utilizado graças à sua simplicidade, versatilidade, eficiência e viabilidade econômica [7]. A remoção de corantes utilizando resíduos agrícolas como adsorventes tem apresentado elevada eficiência devido à presença de grupos funcionais que contribuem ativamente para a fixação das moléculas de corante nos biossorventes [8]. Além disso, esses materiais têm pouco ou nenhum valor econômico e podem acarretar problemas ambientais relacionados à má gestão desses resíduos. Dessa forma, estudar as suas aplicações têm sido de grande importância tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental [9].

Trabalhos recentes têm estudado a utilização de diversos bio sorventes para a remoção de corantes dos efluentes têxteis, entre eles bagaço de uva [10], bagaço de azeitona [11], resíduos de café [12], bagaço de cana-de-açúcar [7], pinha [13], casca de laranja e de banana [14]. O bagaço de uva destaca-se por se tratar de um material lignocelulósico e não necessitar de tratamentos específicos para sua aplicação. Além disso, o fato de o Estado de Santa Catarina estar entre os maiores produtores de uva do Brasil faz com que os estudos sobre a utilização dos resíduos da vitivinicultura tenham grande importância, visto que é uma forma de aumentar a sustentabilidade do processo produtivo [15].

Em estudo anterior realizado por Rosa (2017) [9], foi analisada a aplicação do bagaço de uva como bio sorvente para a remoção do corante reativo Remazol Azul RR em diferentes condições de pH, concentração de corante e concentração de bio sorvente. O estudo comprovou que o material possui grande potencial adsorptivo para este corante, com capacidade de adsorção máxima de 16,0 mg/g, correspondendo a uma remoção de 87 %.

Embora o método de adsorção seja bastante eficaz, ele gera um problema ambiental relacionado ao descarte da biomassa carregada de corante. Dessa forma, torna-se importante o estudo sobre processos de dessorção que são atualmente escassos na literatura. Esse método é fundamental para manter o custo do tratamento baixo, minimizar o problema de descarte, além de haver a possibilidade de recuperação dos corantes e reutilização do bio sorvente [16].

Nesse contexto, o objetivo geral do trabalho foi realizar o processo de dessorção do corante têxtil dos resíduos da indústria vitivinícola, avaliando a recuperação do corante e reutilização do bio sorvente.

2 Materiais e métodos

2.1 Materiais

Neste trabalho foram utilizados o corante reativo aniônico Remazol Azul RR e o bagaço de uva da espécie bordô (*Vitis labrusca*). Os reagentes utilizados foram ácido acético, ácido clorídrico, água destilada, cloreto de amônio, cloreto de cálcio, cloreto de magnésio, cloreto de potássio, cloreto de sódio, hidróxido de sódio e hidróxido de potássio. Para ajuste de pH foi utilizada solução de HCl 0,1 M.

2.2 Ensaio de adsorção

Para a realização dos estudos de adsorção, foram aplicadas as condições ótimas definidas por Rosa (2017)

[9]. Dessa forma, utilizou-se o bagaço de uva em uma concentração de 4 g/L e a solução de corante com concentração de 100 mg/L, sendo ajustado o pH para 1,0 utilizando pHmetro digital de bancada (AZ 86505). Foi retirada uma alíquota da solução inicial de corante para realizar a leitura da absorbância em espectrofotômetro de UV-visível (Shimadzu UV – 1800) no comprimento de onda de 603 nm.

O bagaço foi colocado em contato com a solução de corante sob agitação constante a 120 rpm em agitador mecânico (Fisatom 710) durante 48 horas à temperatura ambiente ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$). Após esse período, a fase sólida foi separada da fase líquida utilizando uma peneira simples. O bio sorvente foi seco em estufa (SPLABOR SP – 100/A) a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ e realizou-se a leitura da absorbância da amostra líquida em espectrofotômetro de UV-visível para quantificar a concentração residual de corante. A quantidade de corante adsorvido por unidade de massa de bio sorvente foi calculada por meio da Equação 1:

$$q = \frac{(C_i - C_f)V}{m} \quad (1)$$

sendo q (mg/g) a quantidade de corante adsorvida, C_i e C_f (mg/L) as concentrações iniciais e finais do corante em solução, respectivamente, V (L) o volume da solução de corante e m (g) a massa de adsorvente utilizada.

2.3 Ensaio de dessorção – determinação do eluente

Para avaliar a potencial dessorção do bagaço de uva carregado com o corante, soluções de 0,5 M de CH_3COOH , HCl, NH_4Cl , CaCl_2 , MgCl_2 , KCl, NaCl, NaOH e KOH obtidas pela diluição de seus respectivos reagentes químicos em água destilada, foram testados como eluente. A água destilada pura também foi testada como eluente.

Os ensaios foram realizados em duplicata em erlenmeyers de 125 ml, contendo 50 mL de solução eluente e 0,05 g de bagaço de uva com o corante adsorvido. As amostras foram colocadas sob agitação a 120 rpm em mesa agitadora orbital NT 145 por 24 horas à temperatura ambiente ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$). Após o período de agitação, fez-se a separação das fases e retirou-se uma alíquota de cada solução para realizar a leitura da absorbância em espectrofotômetro de UV-visível para determinar a concentração de corante em solução. O pH final de cada solução também foi medido. O percentual de dessorção do corante foi calculado pela Equação 2:

$$\text{Dessorção (\%)} = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

onde m_f (mg) é a massa final de corante na solução e m_i (mg) é a massa inicial de corante do bagaço de uva.

2.4 Efeito da concentração da solução eluente

Os eluentes que apresentaram os melhores percentuais de remoção de corante do bagaço de uva foram utilizados para avaliar o efeito da concentração da solução eluente. Os ensaios foram realizados em duplicata em erlenmeyers de 125 mL, contendo 0,05 g de bagaço de uva e 50 mL das soluções eluentes determinadas no ensaio anterior em diferentes concentrações, variando de 0,005 a 0,3 M. As amostras foram colocadas sob agitação a 120 rpm por 24 horas à temperatura ambiente ($22\text{ }^\circ\text{C} \pm 1$). Após esse período, as fases foram separadas, realizando-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro de UV-visível para determinação da concentração de corante na solução e mediu-se o pH final da solução.

2.5 Cinética de dessorção

Após a determinação da concentração ótima da solução eluente, foram realizados ensaios cinéticos de dessorção, em batelada, em erlenmeyers de 125 mL, contendo 0,05 g de bagaço de uva e 50 mL da solução eluente, variando-se o tempo de contato entre a solução eluente e o bagaço de uva. Cada Erlenmeyer correspondeu a um ponto da curva cinética. As amostras foram colocadas sob agitação a 120 rpm à temperatura ambiente ($22\text{ }^\circ\text{C} \pm 1$) em diferentes tempos. Cada amostra teve as fases separadas para realizar a leitura da absorbância em espectrofotômetro de UV-visível e medir o pH da solução final.

2.6 Reuso do biossorvente

Para avaliar a reutilização do bagaço de uva como biossorvente, foram realizados ciclos de adsorção e dessorção sequenciais. Os ensaios foram realizados em batelada e em duplicata, usando erlenmeyers de 125 mL contendo 0,05 g de bagaço de uva bruto e 12,5 mL de solução de corante com concentração de 100 mg/L. As amostras foram colocadas sob agitação a 120 rpm por 48 horas à temperatura ambiente ($25\text{ }^\circ\text{C} \pm 1$). Após esse período, as fases foram separadas e o bagaço de uva foi colocado em contato com 50 mL da solução eluente sob agitação a 120 rpm por 3 horas à temperatura ambiente ($25\text{ }^\circ\text{C} \pm 1$). Foi realizada a leitura da absorbância da fase líquida em espectrofotômetro de UV-visível e mediu-se o pH. Este ciclo de adsorção/dessorção foi repetido até alcançar um percentual de remoção menor que 80 %.

3. Resultados e Discussão

3.1 Adsorção

Baseando-se nas condições ideais obtidas no trabalho anterior realizado por Rosa (2017) [9], o bagaço de uva foi submetido ao processo de adsorção do corante Remazol Azul RR para que posteriormente fosse realizado o estudo de dessorção. A capacidade adsorptiva obtida neste ensaio foi de 19,0 mg de corante por grama de bagaço de uva, valor muito semelhante ao obtido por Rosa (2017), que foi de 16,0 mg/g. Este resultado confirma reprodutibilidade do processo, parâmetro importante para desenvolvimento de materiais adsorptivos.

Alguns estudos sobre a remoção do corante Remazol Azul RR de efluentes têxteis utilizando diferentes tipos de adsorventes são apresentados na literatura. Oliveira (2015) [17] avaliou a capacidade adsorptiva da bentonita B16-50 em concentração de 10 g de adsorvente/L e obteve um resultado de 50 mg de corante por grama de adsorvente. Immich, Souza A. e Souza S. (2009) [18] utilizaram folhas de *Neem* (*Azadirachta indica*), em concentração de 50 g/L, para a remoção do corante, sendo obtida uma capacidade de adsorção de 23 mg/g. Diante desses resultados, comprova-se o potencial adsorptivo do biossorvente utilizado no presente trabalho.

3.2 Ensaios de dessorção usando diferentes eluentes

O percentual de dessorção do corante Remazol Azul RR do bagaço de uva para os diferentes eluentes testados é apresentado pela Figura 1. Observa-se que a dessorção do corante, que é de caráter aniônico, foi maior nas soluções básicas, sendo assim favorecida em meios alcalinos, conforme apresentado por Arami et al. (2005) [19]. Observa-se que o ácido clorídrico e o ácido acético apresentaram os menores percentuais de dessorção, explicado pelo caráter aniônico do corante. A água destilada também obteve uma baixa remoção, de apenas 12,3 %, podendo estar associada ao pH neutro do eluente. Os sais de cloreto de potássio e o cloreto de sódio obtiveram resultados similares de dessorção, removendo 27,2 % e 25,2 %, respectivamente. Em seguida, o cloreto de magnésio, cloreto de amônio e cloreto de cálcio apresentaram 34,0 %, 33,7 % e 33,5 % de remoção, respectivamente.

Os resultados apresentados na Figura 1 podem auxiliar no entendimento do mecanismo envolvido no processo de adsorção. Quando o corante é dessorvido por água, a ligação do corante no adsorvente ocorreu por ligações fracas. Se a dessorção ocorre com bases fortes,

como NaOH, indica que a ligação corante-adsorvente é realizada por troca iônica. Se ácidos orgânicos desorvem o corante, a adsorção na superfície do adsorvente foi realizada por quimissorção [20].

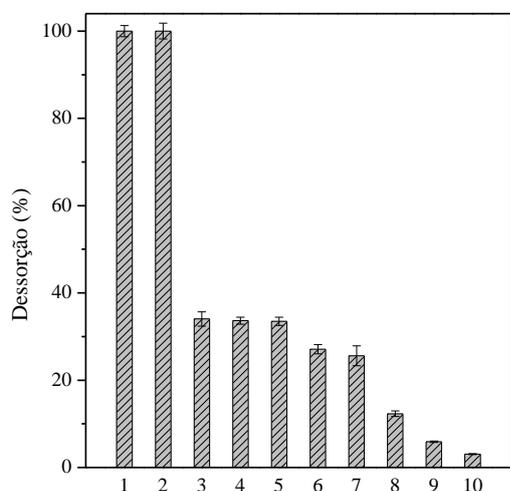


Figura 1. Avaliação do percentual de desorção do corante Remazol Azul RR utilizando diferentes eluentes: NaOH (1), KOH (2), MgCl₂ (3), NH₄Cl (4), CaCl₂ (5), KCl (6), NaCl (7), água destilada (8), HCl (9) e CH₃COOH (10); C_{biissorvente} = 1 g/L, C_{eluente} = 0,5 M, t = 24 h, T = (22 ± 1) °C, Agitação = 120 rpm.

Nota-se que os melhores resultados foram obtidos com o hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio que apresentaram uma remoção total do corante. Essa remoção está associada ao processo de troca iônica entre os ânions hidroxila (OH⁻), abundantes nos dois eluentes e o corante aniônico Remazol Azul RR presente no bagaço [21]. O grande potencial dos eluentes alcalinos também pode ser explicado pelo fato de que o alto pH do meio aumentou o número de grupos carregados negativamente na superfície do bioadsorvente, o que favoreceu a desorção do corante devido à repulsão eletrostática [22]. A hipótese do mecanismo de troca iônica ser o responsável pelo processo de desorção do corante do bagaço também pode explicar o percentual de desorção obtido para os sais de cloreto, visto que a troca também pode ocorrer com o íon Cl⁻. Com base nos resultados encontrados, optou-se por realizar os ensaios posteriores com o hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio.

3.3 Efeito da concentração dos eluentes

Ensaios utilizando diferentes concentrações, variando de 0,005 a 0,3 M, foram realizados para os dois eluentes a fim de avaliar a melhor opção. Essa concentração foi determinada avaliando-se os resultados dos ensaios anteriores, em que concentrações de 0,5 M

foram suficientes para a desorção do corante e optando-se por menores consumos do eluente. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 2.

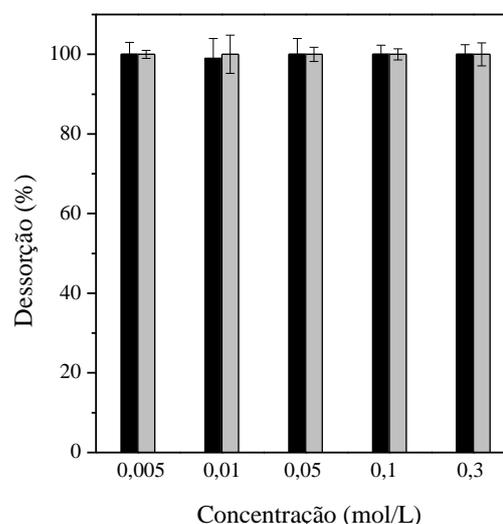


Figura 2. Influência da concentração de eluente na desorção do corante Remazol Azul RR do bagaço de uva: ■ - KOH, ■ - NaOH. C_{biissorvente} = 1 g/L, t = 24 h, T = (22 ± 1) °C, pH = 12,0 ± 0,6, Agitação = 120 rpm.

Nota-se que para todas as concentrações testadas a desorção do corante foi completa, comprovando o grande potencial dos eluentes testados. Comparando-se os resultados obtidos com trabalhos encontrados na literatura, comprova-se a eficiência do ensaio. Em estudo realizado por Munagapati e Kim (2016) [23] a desorção do corante aniônico Vermelho Congo também foi realizada utilizando NaOH em concentração de 0,1 M e a remoção obtida foi de 98%. Guerrero, Morales e Cristiani (2015) [22] testaram a desorção do corante aniônico Amaranto utilizando 0,01 M de NaOH e de KOH e atingiram 100% de remoção para ambos os eluentes. Ahmad e Kumar (2011) [24] também estudaram a desorção do corante Amaranto e alcançaram a remoção total utilizando 0,1 M de NaOH.

É possível observar que não é necessária uma solução eluente altamente concentrada para que a eluição seja satisfatória. Isso é interessante pois um dos grandes problemas associados ao uso de materiais de origem biológica em processos de adsorção está no fato de que a regeneração do material para um novo ciclo de uso muitas vezes afeta a sua estrutura física. Desta forma, a aplicação de uma solução menos concentrada no processo de desorção ajuda a conservar o material para um ciclo seguinte de uso, além de ser economicamente vantajosa por haver um gasto menor de reagentes. Avaliando os resultados obtidos e optando-se por um menor consumo de reagente, os ensaios

seguintes foram realizados com os eluentes na concentração de 5 mM.

3.4 Efeito do tempo de contato

Estudos cinéticos são importantes para entender o comportamento do processo de dessorção e determinar o tempo necessário para atingir o equilíbrio. Os resultados obtidos nos ensaios cinéticos são apresentados na Figura 3.

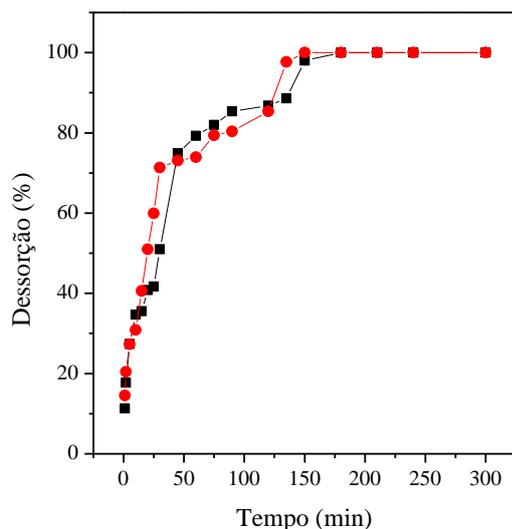


Figura 3. Cinética de dessorção do corante Remazol Azul RR do bagaço de uva: ● – KOH, ■ – NaOH, $C_{\text{biossorvente}} = 1 \text{ g/L}$, $C_{\text{eluyente}} = 5 \text{ mM}$, $T = (22 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 12,4$, Agitação = 120 rpm.

Percebe-se que o comportamento cinético dos dois eluentes é bem similar. Nos primeiros 50 minutos a taxa de dessorção aumenta significativamente, alcançando remoções de aproximadamente 75 % para KOH e 73 % para NaOH. Entre 60 e 135 minutos o crescimento no percentual de dessorção ocorre forma gradual até atingir 88 % para KOH e 97 % para NaOH. A remoção total ocorre em 180 minutos e, a partir desse tempo de contato, atinge-se o equilíbrio.

Estudos cinéticos de dessorção são escassos na literatura, o que dificulta a comparação dos resultados com trabalhos realizados para justificar o perfil encontrado. Ao avaliar o perfil cinético encontrado, contudo, é possível sugerir que o processo de dessorção do corante na superfície do bagaço de uva ocorre em duas etapas. A rápida dessorção no início do ensaio pode significar a remoção do corante das camadas mais externas da superfície do biossorvente. À medida que vai alcançando a superfície interna, o percentual de remoção aumenta mais lentamente devido à dificuldade dos componentes em realizar a transferência de massa.

Esse comportamento também pode estar associado ao fato de que inicialmente a concentração de corante no biossorvente é maior e a pureza dos eluentes provavelmente resulta no aumento da força motriz no gradiente de concentração. Com o passar do tempo, ocorre a situação inversa em que a concentração de corante diminui na superfície do bagaço de uva e aumenta na fase líquida e, conseqüentemente, o percentual de dessorção aumenta de forma gradual até alcançar o equilíbrio [16].

O tempo necessário para atingir o equilíbrio pode ser explicado pela estrutura do corante. Kyzas, Lazaridis e Mitropoulos [12] estudaram a dessorção de corantes básicos e reativos e notaram uma remoção mais rápida para os corantes básicos. Os autores atribuíram os resultados ao fato de que os corantes reativos são maiores e menos ágeis, necessitando de um tempo maior para a realização do processo. Como ambos os eluentes apresentaram perfis cinéticos semelhantes, a escolha do eluyente para os ensaios seguintes foi feita com base no preço do reagente e como o NaOH é mais barato, optou-se por utilizá-lo para avaliar o reuso do biossorvente. Avaliando os resultados apresentados na Figura 3, determinou-se o tempo de contato para a realização dos ensaios de 180 minutos.

A fim de investigar o mecanismo cinético de dessorção, os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem [9] foram adaptados e aplicados para ajustar os dados experimentais, em termos de massa de corante dessorvida. A Figura 4 apresenta o ajuste do perfil cinético do processo de dessorção para os dois eluentes testados. Os parâmetros obtidos pelos modelos cinéticos são apresentados na Tabela 1. O ajuste dos dados foi realizado até o tempo de 120 minutos devido ao fato de que a partir desse período há uma mudança no comportamento da curva que não se ajusta aos modelos cinéticos aplicados. Observa-se que ambos os modelos apresentam correlação quadrática com os dados experimentais (R^2) maior que 90 %, o que dá indicativos de que o modelo se adequa aos dados experimentais no intervalo de tempo testado. Menores valores para o parâmetro S_R^2 representam um melhor ajuste do modelos aos dados experimentais. A comparação entre os valores de massa dessorvida experimentalmente (m_{exp}) e obtida pelo modelo (m_{eq}) mostra que o modelo pode ser um indicativo de quantidades dessorvidas pelo bagaço. As constantes cinéticas do modelo de pseudo-primeira ordem (k_1) e de pseudo-segunda ordem (k_2) são pequenas devido ao fato de a dessorção ocorrer mais rapidamente no início do experimento.

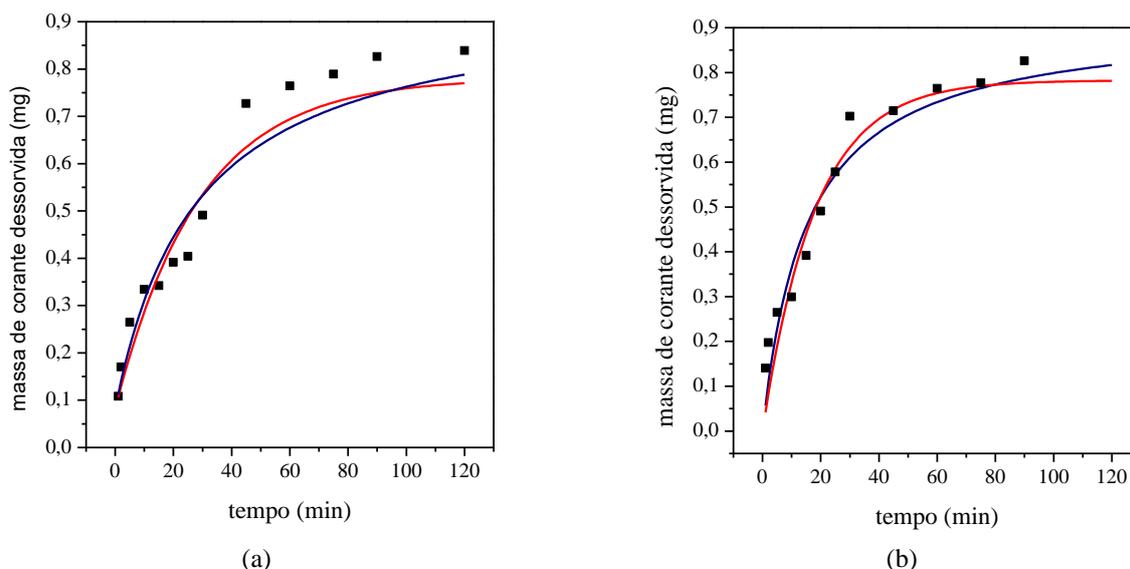


Figura 4. Modelo cinético de dessorção do corante Remazol Azul RR do bagaço de uva para KOH (a) e NaOH (b), ■ – dados experimentais, — pseudo-primeira ordem, — pseudo-segunda ordem.

Tabela 1 - Parâmetros obtidos pelos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem para a dessorção de corante do bagaço de uva.

Eluente	Pseudo-primeira ordem					Pseudo-segunda ordem			
	m_{exp} (mg)	m_{eq} (mg)	k_1 (1/min)	R^2	S_{R^2}	m_{eq} (mg)	k_2 (1/mg.min)	R^2	S_{R^2}
NaOH	0,83	$0,78 \pm 0,03$	$0,055 \pm 0,007$	0,93	0,004	$0,92 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,02$	0,94	0,003
KOH	0,84	$0,85 \pm 0,05$	$0,035 \pm 0,006$	0,92	0,005	$1,06 \pm 0,09$	$0,03 \pm 0,01$	0,93	0,005

3.5 Reuso do bioissorvente e recuperação do corante

Cinco ciclos de adsorção-dessorção foram realizados a fim de avaliar a possível reutilização do bagaço de uva no processo de remoção do corante Remazol Azul RR. Os resultados encontrados são apresentados na Figura 5.

Por meio dos resultados apresentados na Figura 5, verifica-se que o percentual de adsorção apresentou uma redução menos significativa que o de dessorção. No primeiro ciclo, o percentual encontrado de adsorção é de 93 %, passando para 87 % no último ciclo. Este resultado é bastante interessante, pois observou-se que ao final do quinto ciclo, a perda de massa de adsorvente foi de 28 %. Além disso, nota-se que houve um decaimento na eficiência da dessorção e espera-se que a capacidade de adsorção também diminua. A redução observada na eficiência da adsorção, pode ser atribuída a uma progressiva saturação dos sítios ativos pelas moléculas do corante e por uma possível degradação do bioissorvente devido à extremas condições de pH [12].

Após cinco ciclos de adsorção-dessorção, os percentuais de dessorção apresentaram uma diminuição de aproximadamente 25 %. Esse comportamento pode

estar associado a uma heterogeneidade na superfície do bagaço de uva, indicando a possibilidade de existir fortes interações entre as moléculas do corante e alguns locais com maior energia de ligação [16].

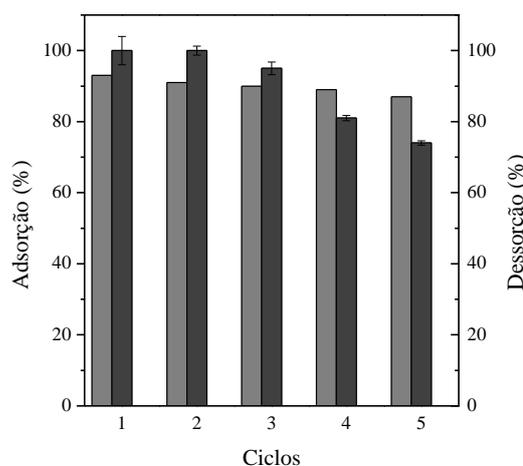


Figura 5. Avaliação da eficiência de reuso do bagaço de uva no processo de adsorção-dessorção do corante Remazol Azul RR: ■ - adsorção, ■ - dessorção.

Comparando-se o bagaço de uva utilizado neste estudo com diferentes bioissorventes encontrados na

literatura, comprova-se o seu grande potencial sortivo. A Tabela 2 apresenta um comparativo entre as capacidades de dessorção obtidas em diferentes trabalhos disponíveis na literatura. Entre os estudos apresentados, dois deles avaliaram a reutilização do biossorvente por meio de ciclos de adsorção–dessorção. O trabalho realizado com semente de abóbora [26] apresentou uma dessorção inicial de 93,5 % e, após cinco ciclos, houve um decaimento para 81,3 %. Em seus estudos com casca de toranja, Saeed, Sharif e Iqbal [30] encontraram uma dessorção de 98,25 % no primeiro ciclo, sendo reduzida para 87 % e 81 % no segundo e terceiro ciclos, respectivamente. Assim, pode-se afirmar que o bagaço de uva apresentou bons resultados, visto que sua capacidade de dessorção foi inicialmente de 100 % e reduziu para 74 % no último ciclo realizado.

Os resultados encontrados comprovam a eficiência na reutilização do biossorvente, o que diminui os custos do processo de adsorção e contribui para um menor descarte do resíduo. Entretanto, faz-se necessário estudar um destino adequado para o bagaço de uva quando sua aplicação não for mais eficaz. Devido à literatura escassa, poucas soluções foram encontradas para este tipo de resíduo. Mall et al. (2006) [20] obtiveram um poder calorífico de 22,28 MJ/kg para a biomassa utilizada em seus estudos de dessorção de corantes, sendo proposto a utilização do biossorvente como combustível de caldeiras. Ferreira (2014) estudou a aplicação de macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes e sugeriu dois destinos para a biomassa: compostagem e incineração, de acordo com os parâmetros ambientais exigidos [31].

O corante dessorvido também necessita de uma destinação correta para que não haja a contaminação dos corpos hídricos. Porém nos estudos de dessorção encontrados na literatura não foram sugeridas soluções de destinação adequada. Comparando-se as análises de UV-visível do corante antes da adsorção e ao fim da dessorção, apresentadas na Figura 6, nota-se que não houve modificação entre os espectros. Desta forma, acredita-se que o corante dessorvido pode ser empregado novamente no processo de tingimento, mas são necessários estudos mais aprofundados de caracterização deste efluente gerado.

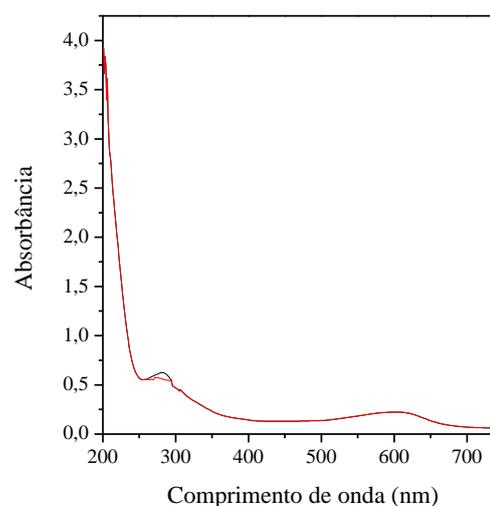


Figura 6. Espectro UV-visível do corante Remazol Azul RR: — antes da adsorção e — depois da dessorção.

Tabela 2. Comparativo da dessorção (%) de diferentes corantes utilizando diversos biossorventes com suas respectivas condições experimentais de concentração inicial de corante ($C_{inicial}$), pH e concentração do biossorvente ($C_{biomassa}$).

Biossorvente	Corante	$C_{inicial}$ (mg/L)	$C_{biomassa}$ (g/L)	pH	Dessorção (%)	Referência
Bagaço de uva	Remazol Azul RR	100	1,0	12	100	Este estudo
Caule de abacaxi	Básico Azul 3	N.D.	1,5	10	80,0	[25]
	Vermelho Congo			4	30,0	
Semente de abóbora	Alaranjado de Metila	300	1,67	N.D.	93,5	[26]
Casca de laranja	Direto Vermelho 79	20	0,8	8	82,5	[27]
	Direto Amarelo 217			8	64,5	
Palha de alho	Direto Vermelho 80	100	4,0	11	61,23	[28]
Resíduo de maracujá	Azul de Metileno	25	10,0	N.D.	100	[29]
Resíduo de café	Remazol Azul RN	100	1,0	10	90,0	[12]
	Básico Azul 3G			2	94,0	
Casca de toranja	Violeta Cristal	100	20,0	N.D.	98,25	[30]
	Preto Ácido 26		1,0	93,16		
Pinha	Verde Ácido 25	50	2,0	12	97	[13]
	Azul Ácido 7		2,0	98		

N.D. Não determinado.

4. Conclusão

Estudos de dessorção são importantes para avaliar a possibilidade de recuperação do corante e reutilização do adsorvente, reduzindo os custos do processo de adsorção e minimizando o descarte do material carregado de corante. O bagaço de uva utilizado neste estudo apresentou resultados bastante satisfatórios na dessorção do corante Remazol Azul RR. Foi possível verificar que a dessorção do corante aniônico é eficaz utilizando-se NaOH e KOH como eluentes em concentração de 5 mM. Os ensaios realizados para avaliar o reuso do biossorvente comprovaram o grande potencial do bagaço de uva, visto que ao final de cinco ciclos de adsorção-dessorção a capacidade de adsorção não foi alterada, embora a dessorção não tenha sido completa. De modo geral, pode-se afirmar que o bagaço de uva apresenta um alto potencial em processos de adsorção de corantes.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à UNESCO, ao Iparque, ao IDT e ao Laboratório de Reatores e Processos Industriais pela infraestrutura e apoio para realização desta pesquisa.

6. Referências

- [1] A. Kunz, P. Peralta-Zamora, S.G.d. Moraes, N. Durán, Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis, *Química Nova* 25 (2002) 78-82.
- [2] A. Bhatnagar, M. Sillanpää, Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review, *Chemical Engineering Journal* 157 (2010) 277-296.
- [3] A.W.M. Ip, J.P. Barford, G. McKay, Reactive Black dye adsorption/desorption onto different adsorbents: Effect of salt, surface chemistry, pore size and surface area, *Journal of Colloid and Interface Science* 337 (2009) 32-38.
- [4] V.M. Esquerdo, T.R.S. Cadaval, G.L. Dotto, L.A.A. Pinto, Chitosan scaffold as an alternative adsorbent for the removal of hazardous food dyes from aqueous solutions, *Journal of Colloid and Interface Science* 424 (2014) 7-15.
- [5] D. Sana, S. Jalila, A comparative study of adsorption and regeneration with different agricultural wastes as adsorbents for the removal of methylene blue from aqueous solution, *Chinese Journal of Chemical Engineering* 25 (2017) 1282-1287.
- [6] D. Inthorn, S. Singtho, P. Thiravetyan, E. Khan, Decolorization of basic, direct and reactive dyes by pre-treated narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia* Linn.), *Bioresource Technology* 94 (2004) 299-306.
- [7] R.A. Fideles, G.M.D. Ferreira, F.S. Teodoro, O.F.H. Adarme, L.H.M. da Silva, L.F. Gil, L.V.A. Gurgel, Trimellitated sugarcane bagasse: A versatile adsorbent for removal of cationic dyes from aqueous solution. Part I: Batch adsorption in a monocomponent system, *Journal of Colloid and Interface Science* 515 (2018) 172-188.
- [8] A.A. Azzaz, S. Jellali, H. Akrou, A.A. Assadi, L. Bousselmi, Dynamic investigations on cationic dye desorption from chemically modified lignocellulosic material using a low-cost eluent: Dye recovery and anodic oxidation efficiencies of the desorbed solutions, *Journal of Cleaner Production* 201 (2018) 28-38.
- [9] M.P. Rosa, Remoção de cor de meios aquosos utilizando resíduo da indústria vinícola como biossorvente, *Curso de Engenharia Química, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017*, pp. 69.
- [10] A.P.d. Oliveira, A.N. Módenes, M.E. Bragião, C.L. Hinterholz, D.E.G. Trigueros, I.G. de O. Bezerra, Use of grape pomace as a biosorbent for the removal of the Brown KROM KGT dye, *Bioresource Technology Reports* 2 (2018) 92-99.
- [11] V. Rizzi, F. D'Agostino, P. Fini, P. Semeraro, P. Cosma, An interesting environmental friendly cleanup: The excellent potential of olive pomace for disperse blue adsorption/desorption from wastewater, *Dyes and Pigments* 140 (2017) 480-490.
- [12] G.Z. Kyzas, N.K. Lazaridis, A.C. Mitropoulos, Removal of dyes from aqueous solutions with untreated coffee residues as potential low-cost adsorbents: Equilibrium, reuse and thermodynamic approach, *Chemical Engineering Journal* 189-190 (2012) 148-159.
- [13] N.M. Mahmoodi, B. Hayati, M. Arami, C. Lan, Adsorption of textile dyes on Pine Cone from colored wastewater: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies, *Desalination* 268 (2011) 117-125.
- [14] F. Temesgen, N. Gabbiye, O. Sahu, Biosorption of reactive red dye (RRD) on activated surface of banana and orange peels:

- Economical alternative for textile effluent, *Surfaces and Interfaces* 12 (2018) 151-159.
- [15] V.N. Duarte, ESTUDO DA CADEIA PRODUTIVA DO VINHO EM SANTA CATARINA: CARACTERÍSTICAS E ESTÁGIO ATUAL, 2013 13 (2013) 16.
- [16] E. Daneshvar, A. Vazirzadeh, A. Niazi, M. Kousha, M. Naushad, A. Bhatnagar, Desorption of Methylene blue dye from brown macroalgae: Effects of operating parameters, isotherm study and kinetic modeling, *Journal of Cleaner Production* 152 (2017) 443-453.
- [17] M.F.D.d. Oliveira, Remoção de corantes têxteis em solução aquosa utilizando bentoita natural e organofílica, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015, pp. 88.
- [18] A.P.S. Immich, A.A. Ulson de Souza, S.M.d.A.G. Ulson de Souza, Removal of Remazol Blue RR dye from aqueous solutions with Neem leaves and evaluation of their acute toxicity with *Daphnia magna*, *Journal of Hazardous Materials* 164 (2009) 1580-1585.
- [19] M. Arami, N.Y. Limaee, N.M. Mahmoodi, N.S. Tabrizi, Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent: Equilibrium and kinetic studies, *Journal of Colloid and Interface Science* 288 (2005) 371-376.
- [20] I.D. Mall, V.C. Srivastava, G.V.A. Kumar, I.M. Mishra, Characterization and utilization of mesoporous fertilizer plant waste carbon for adsorptive removal of dyes from aqueous solution, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 278 (2006) 175-187.
- [21] S. Wang, Z. Li, C. Lu, Polyethyleneimine as a novel desorbent for anionic organic dyes on layered double hydroxide surface, *Journal of Colloid and Interface Science* 458 (2015) 315-322.
- [22] I. Guerrero-Coronilla, L. Morales-Barrera, E. Cristiani-Urbina, Kinetic, isotherm and thermodynamic studies of amaranth dye biosorption from aqueous solution onto water hyacinth leaves, *Journal of Environmental Management* 152 (2015) 99-108.
- [23] V.S. Munagapati, D.-S. Kim, Adsorption of anionic azo dye Congo Red from aqueous solution by Cationic Modified Orange Peel Powder, *Journal of Molecular Liquids* 220 (2016) 540-548.
- [24] R. Ahmad, R. Kumar, Adsorption of Amaranth Dye onto Alumina Reinforced Polystyrene, *CLEAN – Soil, Air, Water* 39 (2011) 74-82.
- [25] S.-L. Chan, Y.P. Tan, A.H. Abdullah, S.-T. Ong, Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of a new potential biosorbent for the removal of Basic Blue 3 and Congo Red dyes: Pineapple (*Ananas comosus*) plant stem, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 61 (2016) 306-315.
- [26] M.V. Subbaiah, D.-S. Kim, Adsorption of methyl orange from aqueous solution by aminated pumpkin seed powder: Kinetics, isotherms, and thermodynamic studies, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 128 (2016) 109-117.
- [27] E.-S. A.G., G. A.M., H.F. Mansour, Potential Application of Orange Peel as an Eco-friendly Adsorbent for Textile Dyeing Effluents, *Research Journal of Textile and Apparel* 17 (2013) 31-39.
- [28] F. Kallel, F. Bouaziz, F. Chaari, L. Belghith, R. Ghorbel, S.E. Chaabouni, Interactive effect of garlic straw on the sorption and desorption of Direct Red 80 from aqueous solution, *Process Safety and Environmental Protection* 102 (2016) 30-43.
- [29] F.A. Pavan, E.C. Lima, S.L.P. Dias, A.C. Mazzocato, Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste, *Journal of Hazardous Materials* 150 (2008) 703-712.
- [30] A. Saeed, M. Sharif, M. Iqbal, Application potential of grapefruit peel as dye sorbent: Kinetics, equilibrium and mechanism of crystal violet adsorption, *Journal of Hazardous Materials* 179 (2010) 564-572.
- [31] R.D.M. Ferreira, Utilização das macrófitas aquáticas *Salvinia* sp e *Pistia stratiotes* para o tratamento alternativo de efluentes contaminados por metais, *Ciências da Natureza e Conservação*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.