

II-369 - BIOSSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL REACTIVE BLACK B POR *Saccharomyces cerevisiae* MODIFICADA POR $KMnO_4$

Bruna Assis Paim dos Santos⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bolsista de Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT.

Eduardo Beraldo de Moraes⁽¹⁾

Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professor Adjunto IV na Universidade Federal de Mato Grosso ministrando disciplinas no curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Docente do Programa de Mestrado em Recursos Hídricos da UFMT.

Ketinny Camargo de Castro⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bolsista de Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT.

Hélen Cristina Oliveira dos Reis⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Monitora acadêmica da disciplina de Microbiologia Aplicada do curso de Engenharia Sanitária Ambiental.

Aline Silva Cossolin⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Bolsista de Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Mato Grosso, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367– Boa Esperança – Cuiabá – MT – CEP:78060-900 – Brasil – Tel: (65) 3628-1219 – e-mail: bruna.santos_assis@hotmail.com

RESUMO

O setor industrial têxtil é um dos principais contribuintes na contaminação dos recursos hídricos devido ao lançamento de efluentes contendo elevada carga orgânica e coloração. Com isso, uma das maiores dificuldades encontradas por essas indústrias está ligada ao controle e remoção dos corantes utilizados no tingimento dos produtos. Os tratamentos convencionais com processos químicos e físicos requerem diversas etapas e podem ser dispendiosos. Com isso, alternativas apostam em novos processos para a remediação de compostos perigosos como os corantes. Um processo que se destaca dentre vários na remoção de corantes de efluentes industriais é a biossorção, que se torna viável por ser altamente eficaz e apresentar baixos custos de operação. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade da levedura *Saccharomyces cerevisiae* modificada por $KMnO_4$ em adsorver o corante têxtil Reactive Black B e identificar as condições ambientais nas quais o processo de adsorção é mais eficiente. Diante dos resultados, pode-se inferir que essa levedura foi eficaz no processo de remoção do corante, confirmando sua capacidade adsorviva. As condições ideais para a descoloração foram em solução com pH 2 e 0.5 g/L de biomassa. O estudo cinético da biossorção mostrou que os dados foram mais bem ajustados pelo modelo de pseudo-segunda ordem. O processo de biossorção seguiu a isoterma de Langmuir indicando que a adsorção do corante sobre o biossorvente ocorre em uma monocamada homogênea. A capacidade máxima de adsorção do corante foi estimada em 113,64 mg/g. Diante do exposto, o tratamento da levedura com permanganato de potássio mostrou-se eficiente permitindo que esse biossorvente possa ser utilizado na remoção de corantes de soluções aquosas.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente têxtil, Corante, Levedura, Permanganato de Potássio.

INTRODUÇÃO

No âmbito da poluição da água, o setor têxtil é um grande contribuinte no que se refere a esse tipo de poluição, visto que o mesmo é responsável por cerca de 15% da água consumida pelas indústrias (QUADROS, 2005).

Uma das grandes dificuldades encontradas pelas indústrias têxteis está ligada ao controle e remoção dos corantes utilizados no tingimento dos efluentes gerados. Estima-se que cerca de 10.000 tipos de corantes são produzidos em escala industrial, sendo cerca de 30% destes disponíveis para a indústria têxtil (GUARATINI e ZANONI, 2000).

O tratamento convencional dos efluentes da indústria têxtil consiste em processos químicos e físicos que podem ser dispendiosos e requererem muitas etapas; ainda assim, por vezes não são completamente eficientes (ALMEIDA, 2013). Como alternativa, pesquisas têm apostado em tecnologias como a biorremediação e bioissorção para a remediação de compostos pegajosos como os corantes.

O processo de bioissorção tem se destacado pelo seu baixo custo e eficiência. Tal fenômeno decorre a partir de ações interfaciais com as moléculas do adsorbato que são transferidas para a superfície do adsorvente, permanecendo aí retidas (DI BERNARDO et al. 2002). O uso de bioissorventes como efetivos meios para o acúmulo de espécies poluentes é favorecido pelo amplo espectro de potenciais vias de sorção e o baixo custo na produção.

O Brasil se destaca como o maior produtor mundial de álcool etílico via processo fermentativo, utilizando-se da *Saccharomyces cerevisiae* (levedura) como o microrganismo agente da fermentação, sendo prática corriqueira nas indústrias de produção de álcool etílico a sangria do creme de levedura, que consiste em retirar parte desses microrganismos do processo fermentativo. Com isso, a *Saccharomyces cerevisiae* é uma fonte excedente da fermentação e pode ser utilizada como bioissorvente para adsorção de poluentes da água, como por exemplo, os corantes, sendo uma ótima alternativa para a descontaminação ambiental (BASÍLIO et al. 2005).

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a capacidade da levedura *Saccharomyces cerevisiae* tratada com permanganato de potássio (KMnO_4) em condições ácidas, em adsorver o corante têxtil Reactive Black B e identificar as condições ambientais nas quais o processo de adsorção é mais eficiente. Também foram avaliados a cinética de adsorção do corante bem como as isotermas de equilíbrio do processo de bioissorção desse corante.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais referentes a essa pesquisa foram desenvolvidas no Laboratório de Microbiologia Sanitária e Ambiental (LAMSA), localizado no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

PREPARO DA LEVEDURA MODIFICADA

A *Saccharomyces cerevisiae*, obtida em um mercado local, foi submetida a um processo de modificação de sua parede celular por meio do tratamento com permanganato de potássio (KMnO_4). Esse tratamento foi desenvolvido por Xia et al. (2014) e consistiu na oxidação direta do fermento ao se misturar 20 g de levedura com uma solução aquosa de KMnO_4 (0,05M) em condições ácidas (pH 2,0). Esta solução foi agitada a 300 rpm por 30 min, e após, a levedura foi lavada em água destilada por três vezes, recuperada por meio da centrifugação (3600 rpm, por 15 min) e seca em estufa durante 48 h a 80 °C. Em estudo prévio efetuado no LAMSA (estudo não publicado), verificou-se que esse método é efetivo para aumentar a capacidade de adsorção de corantes pela levedura.

CORANTE

O corante aniônico Reactive Black B foi obtido na Indústria Têxtil São João (São João da Boa Vista, SP). Uma solução estoque desse corante (1,0 g/L) foi preparada e a partir desta, novas soluções com as concentrações desejadas foram obtidas. A máxima absorvância (λ_{max}) alcançada pelo corante ($\lambda = 597 \text{ nm}$) foi determinada em espectrofotômetro (Hach DR6000). A Figura 1 apresenta a estrutura química do corante Reactive Black B, sendo possível identificar o grupo azo ($-\text{N}=\text{N}-$).

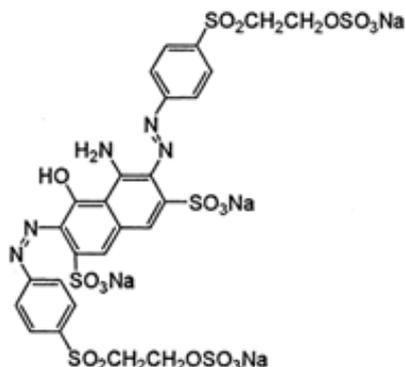


Figura 1: Estrutura química do corante Reactive Black B.

ENSAIOS DE BIOSSORÇÃO

Os ensaios de bioissorção foram conduzidos em triplicata utilizando Erlenmeyers de 250 mL nos quais continham 100 mL da solução aquosa do corante. Os frascos foram colocados em agitação constante a 150 rpm e 25 °C. Como o processo de bioissorção é influenciado por diversos parâmetros, foram avaliados a influência do pH (2, 4, 6, 8 e 10, ajustados com soluções de HCL 0,1M ou NaOH 0,1M), concentração de bioissorvente (0,5, 1,0, 1,5, 2,0, e 3,0 g/L), temperatura (25, 35 e 45°C) e concentração inicial de corante (50, 100, 150, 200, 250 mg/L).

Ao final de cada ensaio, as amostras foram filtradas em membrana de 0.45 µm para retirada da biomassa residual e realizou-se a leitura da concentração final do corante por meio de espectrofotômetro (Hach DR6000) em um comprimento de onda de 597 nm. Assim, a taxa de remoção do corante, R (%) e a capacidade de bioissorção do corante pela biomassa no equilíbrio, q_e (mg/g), foram determinados de acordo com as Equações (1) e (2), respectivamente:

$$R(\%) = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)}{B} \quad \text{equação (2)}$$

onde C_i e C_e são as concentrações do corante inicial e no equilíbrio (mg/L) e B é a concentração do bioissorvente na solução (g/L).

CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção descreve a velocidade de remoção do soluto pelo adsorvente e é um processo que depende das características físico-químicas do adsorbato, do adsorvente e da solução. Com isso, Cunha (2014) descreve que há vários modelos para descrever a adsorção de um adsorbato sobre um adsorvente. Dentre eles destacam-se o de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula.

A forma linear do modelo cinético de pseudo-primeira ordem (LAGERGREN, 1898) é apresentada na Equação (3):

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2.303} t \quad \text{equação (3)}$$

Sendo q_e (mg/g) a quantidade de corante adsorvido no equilíbrio, q_t (mg/g) a quantidade de corante adsorvido no tempo t (min) e K_1 a constante de adsorção do modelo de pseudo-primeira ordem (1/min). Para a obtenção dos valores de K_1 e do q_e é necessário plotar os valores de $\log(q_e - q_t)$ pelo t .

O modelo cinético de pseudo-segunda ordem (HO e Mckay, 1998) é representado pela Equação (4):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{equação (4)}$$

onde q_e (mg/g) é a quantidade de corante adsorvido no equilíbrio, q_t (mg/g) é a quantidade de corante removido no instante t (min), K_2 é a constante de adsorção do modelo de pseudo-segunda ordem (g/mg min). A partir da plotagem dos valores de t/q_t versus t , os parâmetros do modelo K_2 e q_e são obtidos.

Quanto ao modelo de difusão intrapartícula, o mesmo permite a identificação dos mecanismos de difusão. A equação 5 representa esse modelo:

$$qt = K_{id} t^{0.5} + C \quad \text{equação (5)}$$

no qual K_{id} é a constante de difusão de intrapartícula (mg/g min^{0.5}) e C é uma constante. Por meio do plot de qt por $t^{0.5}$, obtém-se os valores de K_{id} e C .

ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

O modelo de isoterma de Langmuir (LANGMUIR, 1918) admite que a adsorção máxima ocorre quando uma monocamada de moléculas da adsorbato cobre completamente a superfície das partículas do adsorvente. O modelo é representado pela equação (6):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad \text{equação (6)}$$

Em que q_e (mg/g) é a quantidade de corante adsorvido por biomassa no equilíbrio, C_e (mg/L) é a concentração de corante na solução no equilíbrio, q_{max} (mg/g) é a capacidade máxima de sorção do corante por unidade de massa de biomassa para formar uma monocamada completa na superfície e K_L é a constante de Langmuir relacionada com a afinidade dos sítios ativos e energia de adsorção (L/mg). A plotagem em um gráfico de C_e/q_e por C_e irá gerar os valores de q_{max} e K_L .

Na isoterma de Freundlich (FREUNDLICH, 1906) não há um fator que limite a saturação da superfície durante o processo de adsorção e o modelo permite a existência de uma cobertura infinita. A equação (7) demonstra o modelo:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{equação (7)}$$

Sendo que K_f ((mg/g)(mg/L)^{-1/n}) e n (adimensional) são constantes de modelo que estão relacionadas com a capacidade de adsorção e a intensidade de adsorção, respectivamente. Por meio da plotagem entre $\ln q_e$ e $\ln C_e$ tem-se os valores destas constantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

pH

Nos experimentos que avaliaram a influência do pH no processo de adsorção, constatou-se que o pH 2 apresentou melhor taxa de remoção de corante (91,8%) (Figura 2). As interações eletrostáticas entre o biossorvente e corante são influenciadas diretamente pelo pH da solução. Isso porque quando a solução

apresenta pH baixo, o adsorvente apresentará predominância de carga superficial positiva sendo favorecida a adsorção de corantes aniônicos, já em soluções básicas a carga superficial será negativa favorecendo a adsorção de cátions (MARIN, 2015). Sendo o corante Reactive Black B aniônico, a sua interação com a biossorvente tende a ser mais efetiva em pHs mais ácidos. Uma vez constatado a eficiência do pH 2 na remoção do corante, este valor foi utilizado nos experimentos seguintes. Resultados similares foi notado por Marin et al. (2015) que obteve maior eficiência na remoção do corante aniônico Azul Reativo 5 em solução de pH 1,5.

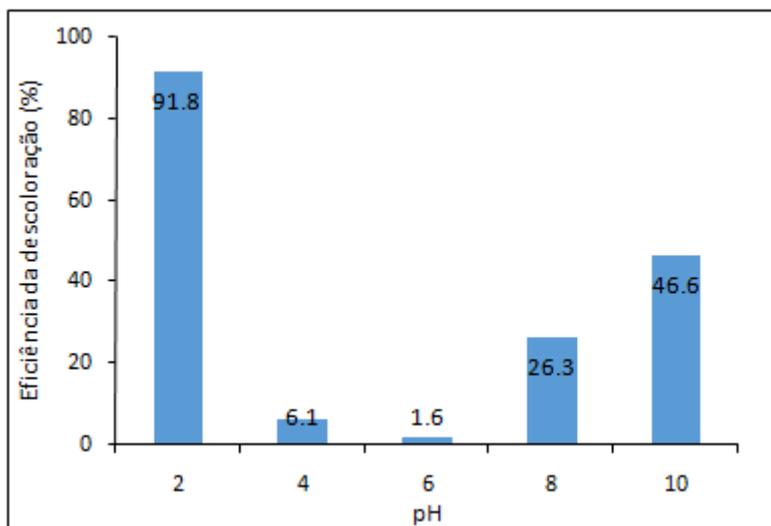


Figura 1: Influência do pH na remoção do corante Reactive Black B de solução aquosa usando *S. cerevisiae* modificada por KMnO_4 (concentração de biomassa = 1,0 g/L; concentração do corante = 50 mg/L, 25 °C).

DOSAGEM DE BIOSSORVENTE

A partir dos testes com diferentes concentrações de biossorvente foi constatado que existe uma influência expressiva da biomassa no processo de biossorção. Como pode ser notado na Figura 3, a eficiência de remoção do corante aumenta de acordo com o aumento da concentração de biossorvente, atingindo 100% de remoção do corante com 1,5 g/L. Em contrapartida, a capacidade de biossorção diminui com o aumento da concentração de biossorvente, passando de 64,7 para 16,6 mg/g quando a concentração de biomassa passou de 0,5 para 3,0 g/L. Resultado semelhante obteve Almeida (2013), que constatou que o aumento da quantidade de biomassa nas soluções testadas aumentou a taxa de descoloração.

A maior eficiência de remoção encontrada nas concentrações mais altas de biomassa pode ser atribuída ao aumento da área superficial disponível ocasionado pelo acréscimo da mesma, aumentando a quantidade de sítios ativos para o processo de adsorção. Já para a capacidade de biossorção, a sua diminuição pode estar relacionada aos sítios de adsorção que permanecem livres durante o processo de biossorção, uma vez que o número de sítios ativos aumenta com o aumento da concentração de biomassa (ROYER, 2008; BAZZO, 2015).

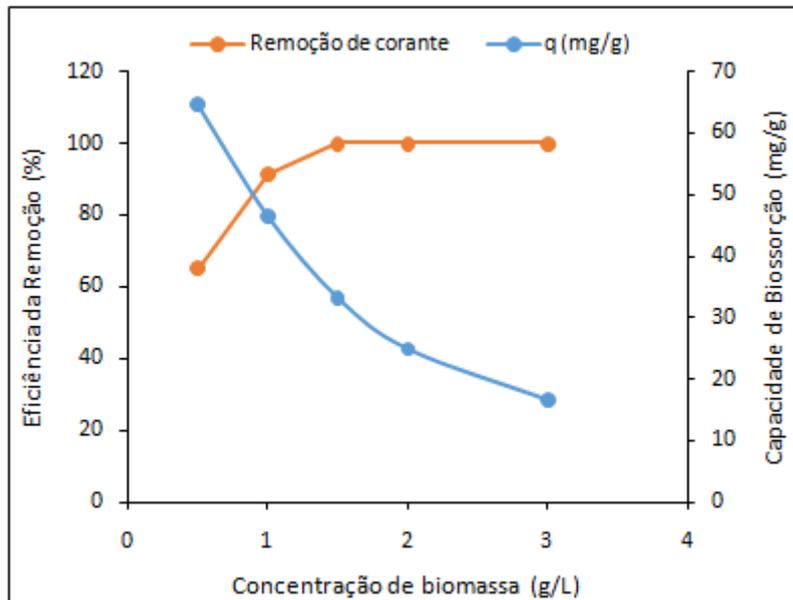


Figura 3: Influência da concentração de biomassa na remoção do corante Reactive Black B de solução aquosa (pH = 2,0; concentração do corante = 50 mg/L, 25 °C).

TEMPERATURA

A levedura apresentou eficiências de remoção similares em todas as temperaturas analisadas (Figura 4). Dessa forma, a mudança de temperatura não causou diferença significativa no processo de biossorção. Tendo em vista a não constatação na influência da temperatura, optou-se por efetuar os testes posteriores empregando a temperatura de 25 °C.

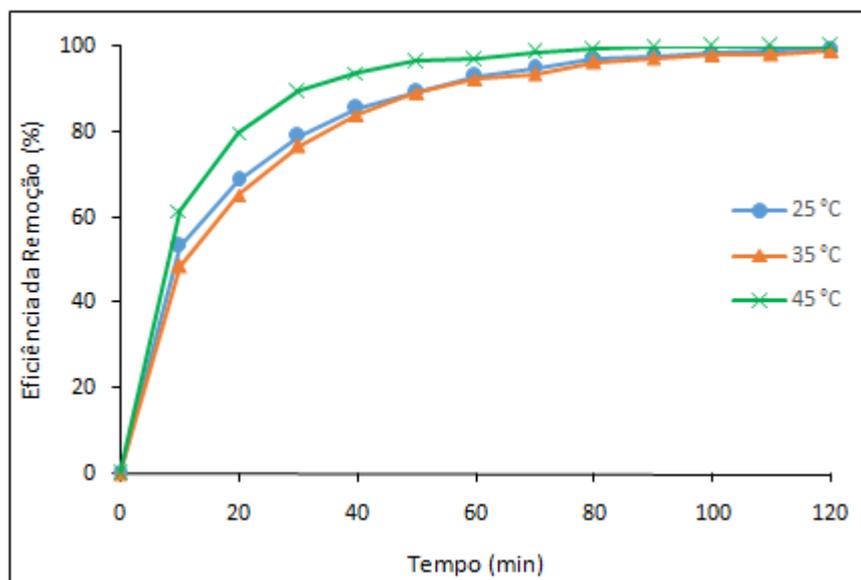


Figura 4: Influência da temperatura na remoção do corante Reactive Black B de solução aquosa usando *S. cerevisiae* modificada por KMnO_4 (pH = 2,0; concentração de biomassa = 1,0 g/L; concentração do corante = 50 mg/L).

CONCENTRAÇÃO DE CORANTE

A Figura 5 apresenta a influência da concentração do corante (50 - 250 mg/L) no processo de biossorção. Observa-se a diminuição da eficiência da descoloração à medida que a concentração utilizada de corante aumenta. No entanto, a capacidade de biossorção da levedura aumentou, alcançando 109 mg/g na concentração de 250 mg/L.

Melhores resultados de remoção são obtidos em concentrações mais baixas devido à possibilidade de todas as moléculas de corante poder se ligar a superfície do biossorbente. À medida que a concentração de corante aumenta os sítios de adsorção da superfície do biossorbente se tornam saturados interrompendo o processo de biossorção (CASTRO et al., 2017).

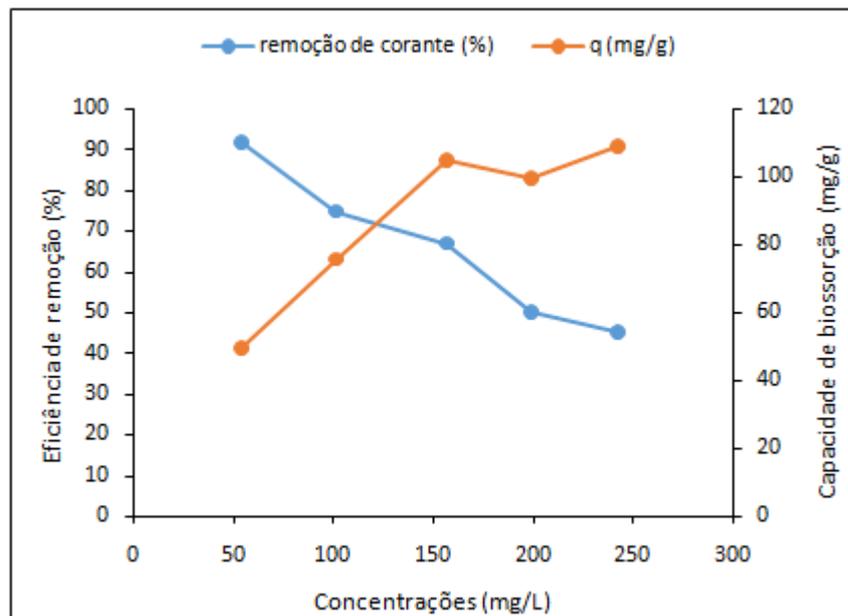


Figura 5: Influência da concentração inicial do corante na remoção do corante Reactive Black B de solução aquosa usando *S. cerevisiae* modificada por KMnO_4 (pH = 2,0; concentração de biomassa = 1,0 g/L; 25 °C).

CINÉTICA

Os modelos cinéticos designados para representar os dados do presente trabalho foram o de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e o modelo de difusão intrapartícula. As Figuras 6 a 8 demonstram a plotagem dos gráficos cinéticos em diferentes temperaturas.

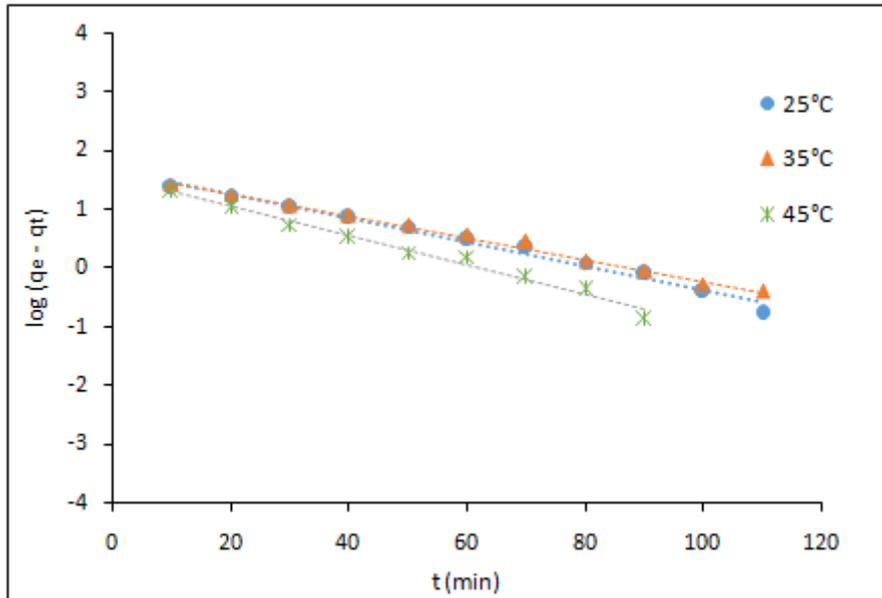


Figura 6: Modelo cinético de pseudo-primeira segunda ordem para a remoção do corante Reactive Black pela *S. cerevisiae* modificada por KMnO_4 considerando três diferentes temperaturas.

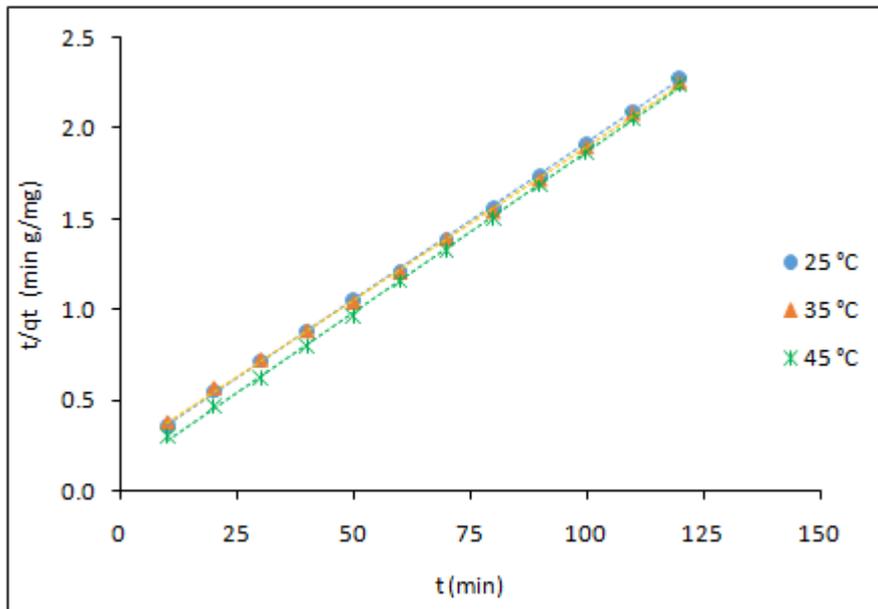


Figura 7: Modelo cinético de pseudo-segunda ordem para a remoção do corante Reactive Black pela *S. cerevisiae* modificada por KMnO_4 considerando três diferentes temperaturas.

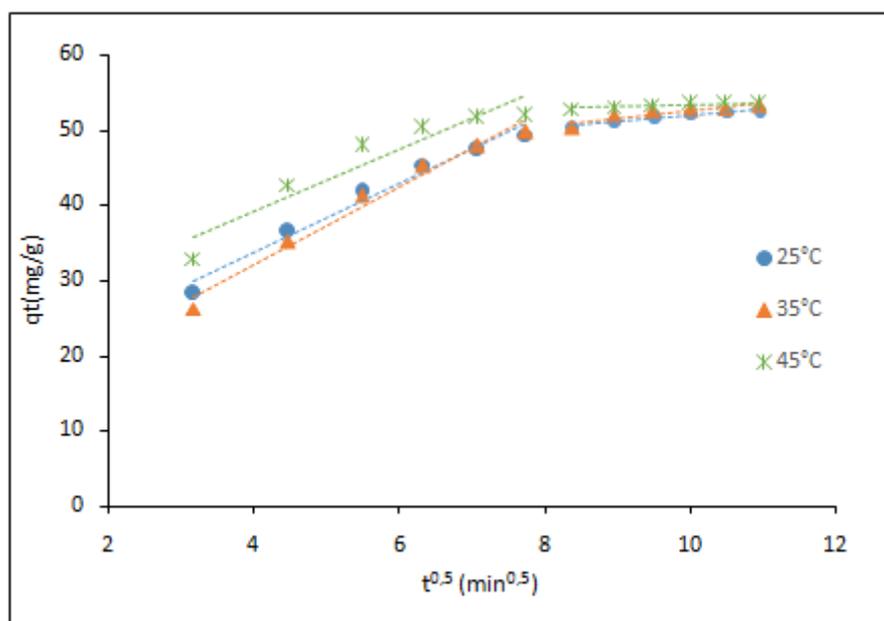


Figura 8: Modelo cinético de difusão intrapartícula para a remoção do corante Reactive Black pela *S. cerevisiae* modificada por $KMnO_4$ considerando três diferentes temperaturas.

Os parâmetros calculados para os modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e de difusão intrapartícula estão listados na Tabela 1. Percebe-se que apesar do modelo de pseudo-primeira ordem gerar um bom ajuste ($R^2 > 0,98$ para todas as temperaturas, Figura 6), os valores experimentais (q_e 52,57, 53,23, 53,8 mg/g para 25°C, 35°C e 45°C, respectivamente) não estão de acordo com aqueles calculados (Tabela 1). Por outro lado, o modelo de pseudo-segunda ordem gerou melhores ajustes ($R^2 > 0,99$ para todas as temperaturas, Figura 7) e as capacidades de bioadsorção (q_2) estimadas pelo modelo também foram próximas às adquiridas pelos experimentos. No caso do modelo de difusão intrapartícula, os resultados são mostrados em duas etapas (Tabela 2), onde os coeficientes de correlação estiveram entre 0,85 e 0,98 e os valores C foram diferentes de zero, indicando que a difusão intrapartícula não é o único mecanismo de adsorção (Figura 8). Assim, infere-se que o processo de adsorção é controlado pela adsorção superficial e difusão intrapartícula.

Tabela 1: Parâmetros cinéticos estimados para os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem para a adsorção do corante Reactive Black B em *S. cerevisiae* modificada por $KMnO_4$.

T (°C)	Pseudo-primeira ordem			Pseudo-segunda ordem		
	K_1 (l/min)	q_1 (mg/g)	R^2	K_2 (g/mg min)	q_2 (mg/g)	R^2
25	0,05	46,64	0,9828	0,002	57,80	1,0000
35	0,04	32,45	0,9870	0,0014	59,17	0,9995
45	0,07	32,45	0,9870	0,003	53,76	0,9995

Tabela 2: Parâmetros cinéticos estimados para o modelo de difusão intrapartícula para a adsorção do corante Reactive Black B em *S. cerevisiae* modificada por $KMnO_4$.

T (°C)	Difusão intrapartícula					
	Primeira etapa			Segunda etapa		
	K_{id} (mg/g min ^{0.5})	C (mg/g)	R^2	K_{id} (mg/g min ^{0.5})	C_2 (mg/g)	R^2
25	4,58	15,33	0,9742	0,83	43,69	0,9299
35	5,15	11,52	0,9761	0,99	42,62	0,8581
45	3,86	25,18	0,9502	0,15	50,30	0,9265

ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

As isotermas de adsorção são equações matemáticas que expressam a relação de equilíbrio entre a quantidade de soluto adsorvido (q_e) e a concentração de adsorbato que permanece na solução (C_e) a uma dada temperatura (DIAS et al., 2001).

Alguns modelos foram propostos para descrever os dados de equilíbrio de adsorção, dentre eles cita-se o de Langmuir e Freundlich. As Figuras 9 e 10 mostram os gráficos plotados para cada modelo bem como a Tabela 3 que apresenta os valores dos parâmetros calculados e coeficientes lineares de correlação (R^2).

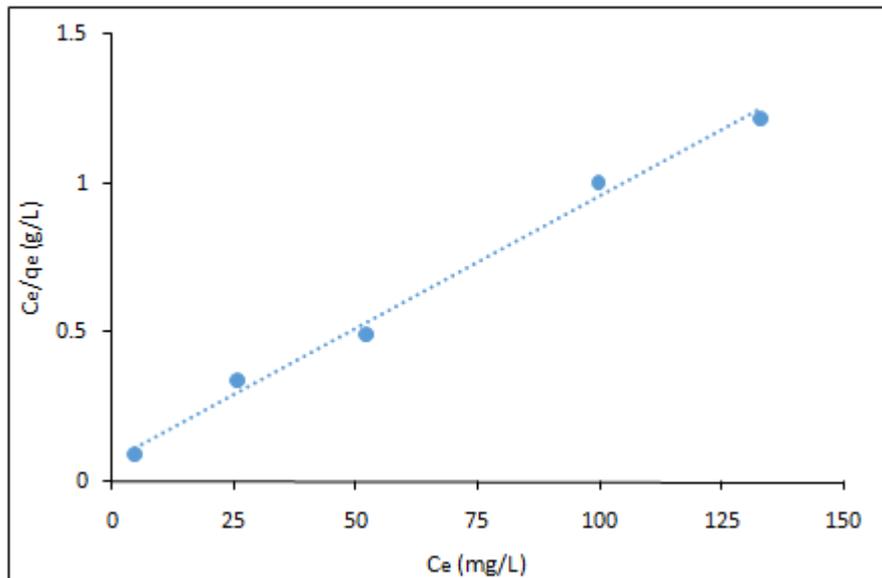


Figura 9: Modelo de isoterma de Langmuir para o processo de adsorção do corante Reactive Black B em *S. cerevisiae* modificada por $KMnO_4$.

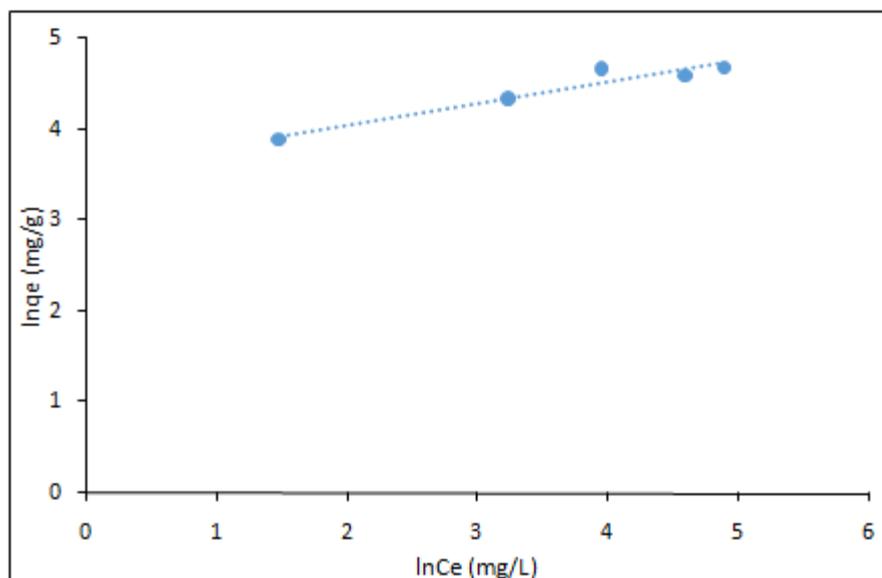


Figura 10: Modelo de isoterma de Freundlich para o processo de adsorção do corante Reactive Black B em *S. cerevisiae* modificada por $KMnO_4$.

Tabela 3: Parâmetros dos modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich para descrever o processo biossorção do corante Reactive Black B em *S. cerevisiae* modificada por KMnO₄.

Modelo	Langmuir				Freundlich		
	$q_{máx}$ (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	R_L	K_f (mg/g)(mg/L) ^{-1/n}	n	R^2
Reactive Black B	113,64	0,122	0,9925	0,032	35,88	4,26	0,9371

Apesar dos dois resultados satisfatórios, o valor de R^2 (0,9925) do modelo Langmuir foi maior do que o do modelo de Freundlich (0,9371). Assim, o processo de adsorção é mais bem descrito por Langmuir. Logo, a adsorção do corante ocorreu como uma monocamada homogênea. A capacidade máxima de adsorção do corante foi estimada em 113,64 mg/g. Ainda por meio do modelo de Langmuir foi possível avaliar se o processo de adsorção é favorável ou desfavorável. Para isso considerou-se a constante adimensional R_L , a qual é expressa pela equação (11) (MCKAY et al. 1982):

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_i} \quad \text{equação (11)}$$

onde C_i é a concentração inicial mais alta do corante (mg/L). Como interpretação desta constante, tem-se irreversível ($R_L=0$), favorável ($0 < R_L < 1$), linear ($R_L=1$) ou desfavorável ($R_L > 1$). Portanto, para a adsorção do corante Reactive Black B em *S. cerevisiae* modificada por KMnO₄ obteve-se um valor de 0,032 indicando que o processo de adsorção é favorável

CONCLUSÕES

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* modificada por KMnO₄ se mostrou eficaz no processo de adsorção do corante Reactive Black B de solução aquosa. As condições ideais para a descoloração foram em solução com pH 2 e 0,5 g/L de biomassa. Os dados foram mais bem descritos pelo modelo cinético de pseudo-segunda ordem e o processo de biossorção seguiu a isoterma de Langmuir indicando a adsorção do corante sobre o biossorvente em uma monocamada homogênea. Estimou-se a capacidade máxima de adsorção do corante em 113,64 mg/g. Sugere-se que novos estudos sejam efetuados utilizando efluentes têxteis reais para a avaliar a capacidade biossortiva dessa levedura modifica.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo 486168/2013-1)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E. J. R. **Estudo da biorremediação dos azo corantes têxteis acid blue 161 e procion red mx-5b por fungos filamentosos em solução simples e solução binária associado a testes de toxicidade com *Lactuca sativa* e *Artemia salina***. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada). Instituto de Biociências - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP, 2013.
- BASÍLIO, M. S.; FRIESE, K.; DE LENA, J. C.; NALINI Jr., H. A.; ROESER, H. M. P.; Adsorption of As, Cu, Pb and Cr for the assessment of metal retention by two different residues from iron ore mines. **Química. Nova**, v.28, n.5, 822-828, 2005.
- BAZZO, A. **Aplicação e caracterização do caroço de abacate (*Persea americana mill*) como adsorvente na remoção de violeta cristal**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2015.
- CASTRO, K. C.; COSSOLIN, A. S.; REIS, H. C. O.; MORAIS, E. B. Biosorption of anionic textile dyes from aqueous solution by yeast slurry from brewery. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 60, p. 1–13, 2017.

5. CUNHA, B. S. **Utilização de biossorventes alternativos na remoção de corantes têxteis**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.
6. DIAS, N. M. P.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE J. C.; CAMARGO O. A. Isotermas de adsorção de cádmio em solos ácidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.229-234, 2001.
7. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. Rima Editora, 2002.
8. GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v.23, n.1, p.71-79, São Paulo, 2000.
9. HO, Y.S.; MCKAY, G. Kinetic models for the sorption of dye from aqueous solution by wood. **Process Safety and Environmental Protection**, v.76, n.2, p.183-191, 1998.
10. LAGERGREN, S. Zur theorie der sogenannten adsorption gelster stoffe. **Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar**, v.24, p.1-39, 1898.
11. MARIN, P.; BORBA, C. E.; MÓDENES, A. N. Avaliação do efeito da temperatura, ph e granulometria do adsorvente na adsorção do corante azul reativo 5g. **Engevista**, v.17, n.1, p.59-68, 2015.
12. MCKAY, G.; BLAIR, H. S.; GARDNER, J. K. Adsorption of dyes on chitin. 1. Equilibrium studies. **Journal of Applied Polymer Science**, v.27, n.8, p.3043-3057, 1982.
13. QUADROS, S. S. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecidos de algodão**. 2005. Dissertação de Mestrado - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau/SC, 2005.
14. ROYER, B. **Remoção de corantes têxteis utilizando casca de semente de Araucaria angustifolia como biossorvente**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Química, Porto Alegre/RS, 2008.
15. XIA, Y.X.; MENG, L.Y.; JIANG, Y.J.; ZHANG, Y.S.; DAI, X.X.; ZHAO, M.J. Facile preparation of MnO₂ functionalized baker's yeast composites and their adsorption mechanism for Cadmium. **Chemical Engineering Journal**, v.259, p.927-935, 2015.