

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

MAIARA DIAS DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO/DESSORÇÃO DE CORANTE TÊXTIL
EM BAGAÇO DE MALTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2018

MAIARA DIAS DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO/DESSORÇÃO DE CORANTE TÊXTIL
EM BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos – COPEQ – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR *Campus* Toledo, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos.

Orientador: Dr. Gilberto Da Cunha Gonçalves

TOLEDO
2018

**TERMO DE APROVAÇÃO
DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

MAIARA DIAS DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO/DESSORÇÃO DE CORANTE TÊXTIL
EM BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho apresentado como forma de avaliação para o Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Tecnologia em Processos Químicos da UTFPR, Câmpus Toledo, e aprovado pela banca examinadora abaixo. *

Prof. Dr. Gilberto Da Cunha Gonçalves
Orientador

Prof.^a Dr.^a Kelen Menezes Flores Rossi de Aguiar
Banca

Prof.^a Dr.^a Marcia Teresinha Veit
Banca

Toledo
Junho de 2018

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho, a minha mãe Elaine e minha avó Maria, que sempre me apoiaram e me deram forças para que eu pudesse enfrentar os desafios, sejam quais fossem, e assim, pudesse desenvolver este estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre estar presente em todos os momentos da minha vida, me fazendo superar desafios e me guiando no melhor caminho para garantir que eu alcance meus objetivos.

Ao meu orientador, professor Gilberto da Cunha Gonçalves, a qual sou extremamente grata pela atenção, ajuda e sugestões no decorrer das atividades e análises deste estudo. Agradeço pela paciência, dedicação e competência, sempre mostrando ser um exemplo de profissionalismo.

Aos professores da UTFPR pelo conhecimento transmitido durante toda a graduação. Aos técnicos de laboratório da UTFPR pela atenção ao decorrer dos experimentos e pela ajuda nas vezes que eu necessitei.

Gratidão aos meus pais, pelo apoio e ajuda durante esta jornada acadêmica e pela realização deste estudo, por sempre terem me aconselhado a seguir os meus objetivos e serem um exemplo de persistência e de vida.

Agradeço também a minha família por estar ao meu lado todo esse tempo me dando força, apoio e confiança. Ao meu namorado Emerson João Allig que me apoiou e me acompanhou durante todas as análises deste estudo, sempre me incentivou a levantar a cabeça e a recomeçar nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos e colegas de trabalho da Palsgaard Candon S/A, que me ajudaram de forma direta ou indireta na realização deste trabalho, principalmente a Lana e Thayse pela paciência nos dias de ansiedade e por terem torcido por mim. E em especial a Kerolin pela amizade e companheirismo desde o início da graduação.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis. (José de Alencar).

RESUMO

SOUZA, Maiara Dias de. Avaliação da adsorção/dessorção de corante têxtil em bagaço de malte. 2018. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Toledo, 2018.

A indústria têxtil cresce a cada ano e merece destaque devido à grande quantidade de efluentes gerados contendo corantes não fixados às fibras. Cerca de 30 a 40% do conjunto da carga orgânica de uma indústria têxtil, é devido a etapa de tingimento, a qual pode afetar o meio ambiente se descartado de forma incorreta. Alguns resíduos de processos industriais ou agrícolas podem ser utilizados como fontes de bioadsorventes, principalmente os disponíveis em grande quantidade e que possuem baixo custo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adsorção/dessorção de corante reativo em bagaço de malte. Os experimentos foram realizados em batelada com soluções de corante em pH 3. Foi avaliado o efeito do pH e o ponto de carga zero para o bagaço de malte pré-tratado e determinado o agente eluente para os ensaios de dessorção realizados à temperatura de 30°, 40° e 50°C. Os resultados demonstraram que soluções de corante com pH final próximo ao pH_{pcz} influenciam significativamente na adsorção, sendo que a capacidade máxima de remoção foi de 14,44 mg g⁻¹. O agente eluente escolhido foi o NaOH 0,005 mol.L⁻¹, que removeu 49,8% de corante. A dessorção ocorre de forma rápida sendo que na primeira hora de contato a porcentagem de remoção de corante foi de 47,04, 53,46 e 50,35% para as temperaturas 30, 40 e 50 °C, respectivamente. Assim, o bagaço de malte tratado demonstrou grande potencial para a utilização como bioadsorvente na remoção de corante têxtil e que o processo de dessorção mostrou-se promissor, uma vez que é possível recuperar cerca de 50% do corante adsorvido.

Palavras chave: corantes têxteis; bioadsorventes; cinética; dessorção.

ABSTRACT

SOUZA, Maiara Dias de. Evaluation of adsorption/desorption of textile dye in malt bagasse. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Toledo, 2017.

The textile industry grows every year and deserves special attention due to the large quantity of generated effluents, containing dyes, which are not fixed in the fibers. Pollution, due to dyeing, represents 30 to 40% of the total organic charge of a textile industry, which can affect the environment if discarded incorrectly. Some industrial or agricultural process residues may be used as adsorbents source, mainly those available in high amount and low cost. Therefore, the objective of this work was to evaluate and desorption of reactive dye in malt bagasse. Were performed the experiments in batch with solutions at pH 3. Was evaluated the effect of pH and zero load point for the pre-treated malt bagasse and determined the eluent for the desorption tests determined the eluent for the desorption tests performed at temperatures of 30, 40 and 50 °C. The results demonstrate that dye's solutions with final pH near the pH_{PCZ} , to influence significantly the dye adsorption, being the maximum removal capacity of 14,44 mg g⁻¹. The eluent chosen was NaOH 0.005 mol L⁻¹, which removed 49,5% of dye. Desorption kinetics occurs quickly and at the first hour of contact, the desorption percentage of 47,04, 53,46 and 50,35% for temperatures 30, 40 and 50 °C, respectively. In such a way, pre-treated malt bagasse demonstrated great potential for using like bio adsorbent in the removal of textile dye and that the desorption process was shown to be promising, since it is possible to recover about 50% of the dye.

Keywords: textile dyes; bio adsorbents; kinetic; desorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da celulose.....	20
Figura 2 – Representação esquemática do processo de obtenção do bagaço de malte a partir da cevada.....	22
Figura 3 – Estrutura química do corante têxtil RP5.....	25
Figura 4 – Aparato experimental para a impregnação do BMT.....	26
Figura 5 – Espectros característicos na região do infravermelho para BMT, BMC e RP5.....	30
Figura 6 – Determinação do pH_{pcz} do BMT. ($C_0 = 50 \text{ mg/L}$; $t = 24 \text{ h}$, $T = 30 \text{ °C}$).....	31
Figura 7 – Efeito do pH inicial da solução na eficiência de adsorção de RP5 em BMT. ($C_0 = 50 \text{ mg/L}$; $t = 24 \text{ h}$, $T = 30 \text{ °C}$, $m = 0,5 \text{ g}$).....	33
Figura 8 – Aspectos visuais do bagaço de malte pré-tratado (a) e bagaço de malte impregnado com corante (b).	34
Figura 9 – Eficiência de dessorção de BMT impregnado com corante utilizando soluções de NaOH em diferentes concentrações ($t = 24 \text{ h}$, $T = 30 \text{ °C}$, $m = 0,5 \text{ g}$, 150 rpm).....	35
Figura 10 – Eficiência de dessorção do corante em função do tempo de contato com o BMT em diferentes temperaturas. ($m = 0,50 \text{ g}$, $V = 50 \text{ mL}$, 150 rpm).....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RP5	Corante reativo preto 5 (g)
BM	Bagaço de malte (g)
BMC	Bagaço de malte (g) após o contato com corante (mg/L)
BMT	Bagaço de malte (g) após o pré-tratamento com HCl 0,001 (mol/L)
C	Concentração do sorvato em solução no equilíbrio (mg/L)
C_f	Concentração final do sorvato na solução (mg/L)
C_o	Concentração inicial do sorvato na solução (mg/L)
q_{eq}	Quantidade de sorvato retido no sorvente no equilíbrio (mg/g)
M	Massa do bagaço de malte (g)
M_{ads}	Massa de bagaço de malte com corante (g)
pH_{pcz}	pH no ponto de carga zero do adsorvente
V	Volume da solução (L)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 CORANTES TÊXTEIS.....	14
2.1.1 Corantes Reativos.....	15
2.2 EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	16
2.3 ADSORÇÃO.....	16
2.4 DESSORÇÃO	18
2.5 ADSORVENTES ALTERNATIVOS	18
2.6 BAGAÇO DE MALTE	20
2.7 ESTUDOS DA UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE COMO ADSORVENTE	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 MATERIAIS	24
3.2 ENSAIOS DE ADSORÇÃO/DESSORÇÃO	25
3.2.1 Avaliação do pH	25
3.2.2 Impregnação do material adsorvente	26
3.2.3 Caracterização do adsorvente.....	27
3.2.4 Determinação da concentração do agente eluente	28
3.2.5 Cinética de dessorção do corante	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE.....	30
4.2 AVALIAÇÃO DO pH	32
4.3 IMPREGNAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE.....	33
4.4 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO AGENTE ELUENTE.....	35
4.5 CINÉTICA DE DESSORÇÃO.....	36
5 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A produção industrial mundial tem crescido a cada ano, gerando conseqüentemente o aumento de resíduos, sendo eles sólidos, líquidos ou gasosos. Por esse motivo, observa-se a necessidade de obter maneiras de tratar de forma eficiente os contaminantes lançados ao meio ambiente (GOBI *et al.*, 2013).

Sendo assim, a ciência tem um grande desafio que é encontrar soluções viáveis para resolver a poluição ambiental, aperfeiçoando os processos utilizados comumente (SOUZA; OLIVEIRA, 2003).

A indústria têxtil é responsável por grande parte da geração de efluentes líquidos. Sabe-se que cerca de 150 litros de água são necessários para produção de um quilo de tecido, sendo que, desse volume são descartados 88% como efluentes líquidos e 12% são perdidos por evaporação (LEÃO *et al.*, 2002). Tais valores levam a concluir que os efluentes líquidos são um dos principais aspectos a serem considerados quando se fala em impactos ambientais desse setor (TONIOLLO; ZANCAN; WUST, 2015).

Dentro do processo industrial têxtil a água pode ser utilizada nos processos de lavagem, coloração, transferência de calor, aquecimento e resfriamento. O processo de lavagem após o tingimento é o que pode causar maior impacto no meio ambiente, pois gera efluentes com insumos químicos e corantes de difícil tratamento (FERREIRA; SPANHOL; KELLER, 2009).

Existem várias possibilidades para o tratamento dos efluentes líquidos que vem sendo utilizadas e pesquisadas para resolver estes problemas como, por exemplo, a sedimentação, filtração, coagulação/ floculação, eletrocoagulação, processos oxidativos avançados e adsorção (LEICHTWEIS; MÓDENES; GERARDI, 2013).

No caso da adsorção, o processo envolve a retenção de um composto presente na fase líquida (adsorbato), no caso o corante, por uma superfície sólida (adsorvente). A grande vantagem deste processo é a possibilidade de recuperação do corante concentrado e a reutilização do adsorvente no processo (TONIOLLO; ZANCAN; WUST, 2015). O carvão ativado é um adsorvente bem conhecido para a

remoção de contaminantes, porém requer um processo adicional para sua obtenção, o que pode restringir o seu uso (COELHO, 2014).

Assim, a busca é crescente por novas alternativas de materiais que possam ser utilizados no processo de adsorção. O bagaço de malte pode ser um adsorvente com grande potencial para o tratamento de águas industriais da indústria têxtil, pois está disponível em grande quantidade e geralmente possui baixo custo.

Algumas pesquisas realizadas apresentaram resultados positivos para a adsorção com bagaço de malte, como no estudo de Piffer *et al.* (2015) que determinaram a dessorção do corante têxtil reativo azul 5G adsorvido em bagaço de malte; Helder (2016) avaliou a bioadsorção do corante têxtil preto reafix super 2R com bagaço de malte e Gonçalves *et al.* (2016) estudou a bioadsorção de corante catiônico utilizando o bagaço de malte.

Tendo em vista que o processo de adsorção com bioadsorventes têm se apresentado favorável, como demonstrado em vários estudos há uma lacuna quanto a restauração deste material por meio da dessorção. A dessorção é pouco estudada e pode vir a contribuir para a reutilização de adsorventes para o tratamento de efluentes têxteis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade de adsorção e dessorção do corante reativo azul marinho biomax BL111 em bagaço de malte.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o pH_{pzc} do adsorvente bagaço de malte pré-tratado.
- Avaliar o efeito do pH da solução de corante no processo de adsorção;
- Testar diferentes agente eluente e suas concentrações na dessorção do corante;
- Estudar o efeito da temperatura na cinética de dessorção do corante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CORANTES TÊXTEIS

O primeiro registro escrito conhecido sobre corantes naturais relata a sua utilização na China de 2600 a.C. Todos os corantes eram derivados de folhas, ramos, raízes, frutos ou flores de várias plantas e de substâncias extraídas de animais, até metade do século XIX, quando foi descoberto o primeiro corante sintético na Inglaterra (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Os corantes sintéticos são utilizados nos mais diversos tipos de aplicação, como a coloração e tingimento de materiais têxteis, couro, plástico, produtos alimentares, farmacêuticos e cosméticos. Existem mais de 100 mil corantes sintéticos disponíveis comercialmente, com características como resistência a ataques biológicos, à luz, calor e oxidação (MANU; CHAUDHARI, 2002).

Segundo Guaratini e Zanoni (2000) o processo de tingimento possui três etapas importantes: a montagem, a fixação e o tratamento final. A fixação do corante à fibra é feita através de reações químicas, da simples insolubilização do corante ou de derivados gerados e ocorre usualmente em diferentes etapas durante a fase de montagem e fixação.

Todo o processo de tintura envolve uma operação final de lavagem em banhos correntes para retirada de corante original ou corante hidrolisado não fixado à fibra nas etapas anteriores, sendo nesse processo grande parte dos efluentes gerados (SILVA; ANDRADE, 2013).

O efluente resultante de um processo de tingimento contém uma grande variedade de produtos, como agentes dispersantes, transportadores, sais, emulsionantes e compostos organometálicos contendo metais pesados (GHOREISHI; HAGHIGHI, 2003).

Segundo Soares (1998) os corantes podem ser classificados de acordo com a sua estrutura química (antraquinona, azo e etc.) ou de acordo com o método pelo qual se fixam à fibra têxtil. Geada (2006) afirma que os principais grupos de corantes classificados pelo modo de fixação à fibra são os corantes básicos, corantes ácidos,

corantes diretos, corantes a mordente, corantes sulfurosos, corantes de cuba, corantes azoicos, corantes dispersos, corantes reativos e os corantes metalizados.

Os corantes sintéticos são compostos químicos orgânicos que possuem a propriedade de absorver luz visível seletivamente. A molécula de corante é constituída por duas partes principais: o grupo cromóforo, que dá a cor ao composto, e grupos auxiliares (auxocromos), que facilitam a sua afinidade para o substrato e que são responsáveis pela fixação do corante à fibra (GEADA, 2006).

No presente estudo foi utilizado um corante têxtil reativo, que confere maior estabilidade na cor do tecido tingido quando comparado a outros tipos de corante, em que o processo de coloração se opera através de ligações de maior intensidade (GUARATINI; ZANONI, 2000).

2.1.1 Corantes Reativos

Os corantes reativos são assim chamados devido à sua capacidade de formar ligações covalentes com a fibra. Contém um grupo eletrofílico (reativo) que realiza ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas, por reações de adição ou substituição nucleofílica (SILVA; ANDRADE, 2013).

A estrutura dos corantes reativos apresenta pelo menos um agrupamento cromóforo constituído pela ligação azo (N=N), principal responsável pela cor do tingimento, por grupos sulfonados, responsáveis pela solubilidade e carácter aniônico dos corantes e por grupos reativos, como citado anteriormente (ARAUJO, 2006). Os grupos reativos mais comuns são clorotriazina e vinilsulfona (OLIVEIRA, 2009).

O carácter aniônico conferido a esses corantes, devido à presença de íons sulfonato (SO_3^-) na estrutura, permite a remoção destes por interações com adsorventes que apresentam sítios de adsorção com cargas positivas (MÓDENES, 2011).

Os corantes reativos apresentam vantagens como cores brilhantes e facilidade de aplicação (CARVALHO; FUNGARO; IZIDORO, 2010). Com isso podem ser utilizados no tingimento de fibras celulósicas com boas características de tingimento, solidez e estabilidade química (KUNZ *et al.*, 2002).

2.2 EFLUENTES INDUSTRIAIS

O desenvolvimento de tecnologia adequada para tratamento de efluentes tem sido objeto de grande interesse nos últimos tempos devido ao aumento da conscientização e rigidez das regras ambientais (HOLME, 1984).

Segundo Cavalcanti (1993) as operações de limpeza, tingimento e acabamento na indústria têxtil dão origem a uma grande quantidade de despejos. O tratamento constitui um dos maiores desafios enfrentados pelas indústrias têxteis, a fim de reduzir custos com o tratamento de seus despejos.

Nas operações do acabamento, o corante não fixado às fibras sai por lavagem e ensaboamento após o tingimento. A poluição, devido ao tingimento, é estimada em 30 a 40% do conjunto da carga orgânica de uma indústria têxtil (MARTINS, 1997).

Gomes (2009) relata, que os tratamentos de efluentes têxteis podem ser divididos em três grandes áreas: biológicos, químicos e físicos em função da natureza dos poluentes a serem removidos e ou das operações unitárias utilizadas para o tratamento.

As principais técnicas que estão sendo estudadas para descoloração das águas de rejeito envolvem principalmente processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, biodegradação (TROMBINI; OBARA-DOI, 2012).

O tratamento eficiente das águas de rejeito da indústria têxtil requer programas de investimento de longo prazo e alto custo. A implantação destes sistemas certamente requer trabalho substancial de engenharia civil com plantas de grandes áreas de construção e altos investimentos (GEADA, 2006).

2.3 ADSORÇÃO

A adsorção é um processo de separação onde uma fase fluída gasosa ou líquida é colocada em contato com uma fase particulada porosa sólida, que tem a propriedade de, seletivamente, fixar uma ou mais espécies que originalmente estavam

contidas na fase fluída. A adsorção envolve a acumulação ou concentração de substâncias na superfície interfacial ou fronteira de fases. A parte da fase fluída adsorvida designa-se por adsorvato, enquanto que a fase sólida na qual se dá a adsorção é o adsorvente (GEADA, 2006).

A adsorção física (fisissorção) ocorre como resultado de forças de van der Waals. As moléculas adsorvidas não ficam fixas em locais específicos da superfície, mas sim sujeitas a um movimento de translação dentro da interface. É caracterizada por uma energia de adsorção relativamente baixa e é favorecida por baixas temperaturas (CARDOSO, 2012).

No caso da adsorção química (quimissorção), as partículas adsorvidas não são livres de se moverem na superfície ou dentro da interface, visto que se estabelecem ligações químicas com o adsorvente, localizadas nos centros ativos deste. É caracterizada por altas energias de adsorção e favorecida, geralmente, por elevadas temperaturas (ROYER, 2008).

Entre os processos físicos existentes para a remoção de corantes de efluentes têxteis, a adsorção é, seguramente, o que tem suscitado maior interesse por associar baixos custos a elevadas taxas de remoção. Em alguns casos, por não se tratar de um método destrutivo, a adsorção possibilita a recuperação do corante sem perda da sua identidade química (DALLAGO; SMANIOTTO; OLIVEIRA, 2005).

Em geral, os adsorventes são muito específicos na sua capacidade em adsorver certas substâncias em grandes quantidades, sendo que alguns fatores afetam significativamente a extensão do processo de adsorção, tais como: natureza do adsorvente, natureza do adsorvato, pH, presença de outras substâncias adsorvíveis, concentração de soluto na solução, e temperatura (GEADA, 2006).

O processo de adsorção e dessorção ocorre por um processo de transferência de massa, que pode ter diferentes interações químicas na superfície, como a existência de forças de Van der Waals do tipo íon-dipolo, dipolo-dipolo, dipolo induzido-dipolo induzido, mas sem a ocorrência de uma reação química e interações iônicas ou covalentes polares que são interações mais fortes e irreversíveis (COELHO, 2014).

2.4 DESSORÇÃO

Na maior parte da literatura, a dessorção é definida simplesmente como o inverso da sorção ou da adsorção. Porém, há pesquisadores que consideram mais razoável assumir uma posição intermediária ao definir operacionalmente a dessorção como a reversão da sorção provocada por uma solução de eletrólito cuja concentração se aproxime da força iônica comumente encontrada na solução (SOBRINHO, 2014), ou seja, a liberação de uma substância ou material entre uma superfície sólida e uma solução (FREITAS *et al.*, 2010).

A dessorção química é usada, por exemplo, para retirada dos compostos fortemente adsorvidos em carvão ativado, que possui um alto fator de retenção e também atividade catalítica. Um problema enfrentado com o uso de carvão ativado é que em atmosferas com umidade relativa do ar moderadamente alta, pode absorver água carregando outros analitos (SANTOS, 2014).

A dessorção térmica é uma técnica de separação física que utiliza o calor para aumentar a volatilidade dos contaminantes, que são removidos da matriz sólida, volatilizados e enviados, em geral, diretamente para a coluna cromatográfica para a separação. É aplicado tipicamente para determinação de compostos orgânicos voláteis, vapores de materiais sintéticos ou compostos de aromas, fragrâncias de alimentos, sendo uma técnica de alto custo e destrutiva (SANTOS, 2014).

2.5 ADSORVENTES ALTERNATIVOS

Os adsorventes alternativos podem ser polímeros naturais ou seus derivados sintéticos biodegradáveis, que contêm estruturas capazes de adsorver espécies ou atuar como permutadores de íons (COOPER, 1995).

Os tratamentos convencionais de efluentes corados incluem a coagulação/floculação, oxidação, separação por membranas e adsorção em carvão ativado. Porém, estes métodos nem sempre revelam uma eficiência significativa e

vantagens econômicas. Por este motivo, têm sido desenvolvidas e testadas novas tecnologias usando materiais alternativos de baixo custo (GEADA, 2006).

O material que apresenta maior capacidade de adsorção é o carvão ativado, devido a sua capacidade de adsorção e elevada eficiência de remoção sendo amplamente usado no tratamento de efluentes têxteis. Porém, a sua utilização é onerosa por apresentar o elevado custo do material e perdas durante o processo de recuperação do adsorvente (CARDOSO, 2012).

Em geral, um adsorvente não-convencional e de baixo custo adequado para a remoção de cor deve obedecer alguns requisitos como, eficiência na remoção de uma vasta gama de corantes, elevada capacidade e adsorção rápida, alta seletividade para diferentes concentrações de corantes (CRINI; PEINDY, 2005).

A vantagem econômica da adsorção utilizando adsorventes alternativos para a remoção de corantes conduziu à necessidade de uma maior procura de materiais mais baratos e eficazes (HO E MCKAY, 1998).

Geada (2006), afirma que cada adsorvente apresenta características físicas e químicas específicas, como porosidade, área superficial, tensão física, bem como inerentes vantagens e desvantagens para o tratamento de águas residuais.

A Tabela 1 apresenta alguns resíduos agroindustriais estudados na adsorção de corantes e suas capacidades máximas de adsorção.

Tabela 1 - Adsorção de corantes em diferentes resíduos agroindustriais

Adsorvente	Corante	Q _{máx} * (mg g ⁻¹)	Referência
Bagaço de cana de açúcar	Amarelo Reativo B2R	7,49	(ALMEIDA, 2015)
Casca de arroz	Azul Reativo 5G	10,2	(CUNHA, 2014)
	Vermelho Reativo 4B	3,34	
Casca de laranja	Vermelho Reativo BF-4G	5,24	(LIMA, 2014)
Casca de soja	Azul Reativo 5G	72,42	(HONORIO, 2014)
Mesocarpo de coco verde	Cinza Reativo BF-2R	21,9	(ROCHA <i>et al.</i> 2012)
Retalhos de madeira	Indosol Black NF1200	18	(KELM, 2018)

* Q_{máx} = quantidade máxima adsorvida por grama de adsorvente.

Fonte: autoria própria

Na tabela 1, observa-se que a casca de soja pesquisada por Honório *et al.* (2014), apresentou a maior capacidade máxima de remoção (72,42 mg g⁻¹) dentre os adsorventes apresentados na tabela, utilizando o corante azul reativo 5G. A casca de

arroz estudada por Cunha (2014), apresentou a menor capacidade máxima de remoção com apenas $3,34 \text{ mg g}^{-1}$ na remoção do corante vermelho reativo 4B. Assim, percebe-se que cada adsorvente tem uma interação diferente no processo de adsorção de um determinado corante.

2.6 BAGAÇO DE MALTE

A cerveja é uma bebida alcoólica muito consumida no mundo, sendo que em 2016 foi produzido um volume total de 190,91 bilhões de litros. Os maiores produtores de cerveja são a China (41,41 bilhões de litros), Estados Unidos (22,13 bilhões de litros) e Brasil (13,33 bilhões de litros) (KIRIN HOLDINGS, 2017).

A grande produção de cerveja gera grandes quantidades de resíduos e subprodutos (FERREIRA *et al.*, 2010). O bagaço de malte é o principal subproduto das cervejarias, em que são gerados aproximadamente 20 Kg para cada 100 L de cerveja produzida (MATHIAS *et al.*, 2014).

No trabalho de Mello *et al.* (2013) o bagaço de malte apresentou elevado teor de fibras do tipo insolúvel (61,83%), com 12,29% de celulose, 26,13% de lignina e 23,41% de hemicelulose. Na Figura 1 mostra a estrutura da celulose.

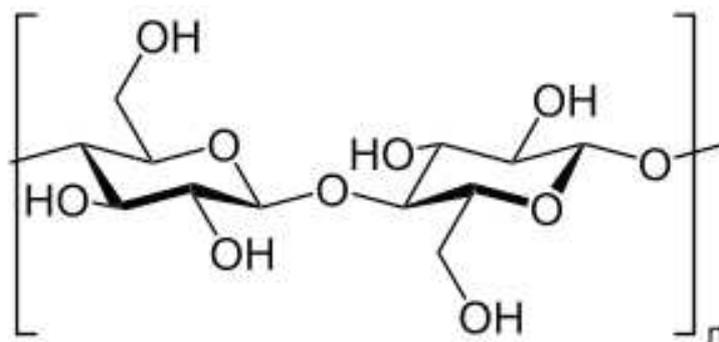


Figura 1 – Estrutura da celulose

Fonte: Autoria própria

Na figura 1, observa-se vários grupos hidroxila, assim pode-se afirmar que a interação do bagaço de malte com o corante reativo se processa diretamente, sendo

que a reação química ocorre pela substituição do grupo nucleofílico do corante pelo grupo hidroxila da celulose.

A cevada é um cereal que pertence à família das gramíneas e possui designação genética de *Hordeum*. É o cereal mais utilizado para a produção de cerveja, que para obter as características necessárias à produção de cerveja, é submetido a um processo tecnológico que o modifica, passando a ser denominado por malte (PINTO, 2013).

Segundo Pinto (2013), o grão pode ser utilizado na industrialização na composição de farinhas para panificação, substitutos de café, mas principalmente na indústria de bebidas.

Para obtenção de malte, processa-se cevada através do denominado processo de malteação, que tem por objetivo a ativação e formação enzimática que atuarão no processo de produção de cerveja agindo sobre as substâncias de reserva de grão (PORTO, 2011).

No Figura 2 é apresentado o processo de obtenção do bagaço de malte a partir da cevada. A cevada é submetida ao processo de malteação, o qual consiste de três etapas: maceração, germinação e secagem. Durante a maceração, os grãos limpos de cevada são colocados em tanques com água, até atingir um teor de umidade de 42 a 48%. Nesta etapa, o metabolismo da semente é ativado através da hidratação, induzindo a germinação. Em seguida, a cevada macerada é colocada para germinar em compartimentos apropriados que permitem a passagem de um fluxo de ar úmido através do leito de cevada. Ao término da germinação, o malte de cevada obtido é secado em uma temperatura de 40 a 60 °C até obter um teor de umidade de 4 a 5%, para evitar a contaminação microbiana e desenvolver o sabor característico do malte. Em seguida, o malte desidratado é armazenado em silos para homogeneizar seu teor de umidade (DRAGONE, 2007).

O processo cervejeiro inicia-se com a moagem do malte (cevada malteada). Após o malte moído passa pelo processo de mosturação onde os grãos moídos da cevada malteada são misturados com água e a mistura obtida é aquecida em vários níveis de temperatura. Este processo tem como objetivo promover a hidrólise enzimática dos constituintes do malte, principalmente do amido, que é convertido em açúcares fermentáveis (maltose e maltotriose) e não-fermentáveis (dextrinas). Posteriormente, é realizada uma filtração para separar a fração líquida, denominada

mosto, e a fração sólida obtida é composta pelo bagaço do malte de cevada (PINTO, 2013; DRAGONE, 2007).

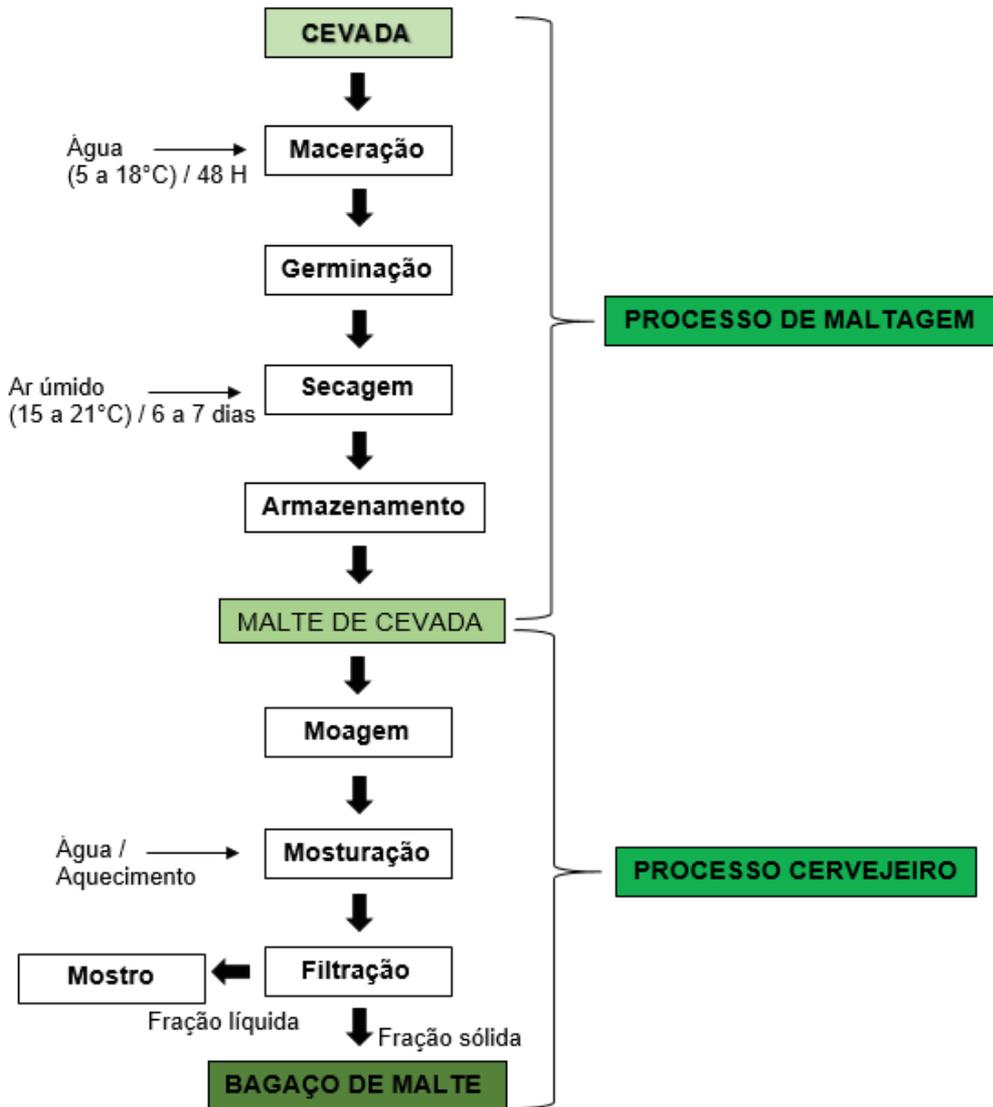


Figura 2 – Representação esquemática do processo de obtenção do bagaço de malte a partir da cevada

Fonte: Adaptado de Dragone (2007).

2.7 ESTUDOS DA UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE COMO ADSORVENTE

Alguns estudos sobre a utilização de bagaço de malte como adsorvente foram encontrados na literatura. No trabalho de Piffer *et al.* (2015) foi estudada a dessorção

do corante têxtil reativo azul 5G adsorvido em bagaço de malte, utilizando o agente eluente NaOH 1 mol L⁻¹ em diferentes temperaturas. O resultado que apresentou maior eficiência de dessorção do corante foi de 70,8% na temperatura de 50 °C com um tempo de contato de uma hora.

Helder (2016) determinou a biossorção do corante têxtil preto reafix super 2R com bagaço de malte, com soluções de corante em pH 2. Observaram que comportamento cinético foi similar para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C, em que a sorção é rápida nos primeiros instantes de contato, seguindo-se um período bastante extenso e lento até atingir o equilíbrio, com 97% de corante removido.

Gonçalves *et al.* (2016) avaliaram, a capacidade de utilização do bagaço de malte como adsorvente na remoção do corante azul de metileno e obtiveram uma capacidade máxima de adsorção de 103,01 mg g⁻¹, utilizando o adsorvente, a temperatura de 40 °C.

Zanutto e Silva (2016) avaliaram o potencial do bagaço de malte como biossorvente do corante o Amarelo Reafix B2R, com solução de corante em pH 2 e a temperatura de 30 °C. O tempo de equilíbrio foi de aproximadamente 6 horas, com uma remoção superior a 93% do corante.

Almeida *et al.* (2018) avaliaram a remoção de corante reativo usando o bagaço de malte como biossorvente em sistema batelada. O BM utilizado foi tratado com solução de HCl 0,001 mol L⁻¹, com o objetivo de melhorar a sorção de corante por esse material. O BM tratado em solução de HCl 0,001 mol L⁻¹ teve uma boa eficiência de 54% na remoção do corante e manteve a solução de corante em pH 3. Também observaram que a quantidade máxima de corante adsorvida foi de 19,41 mg g⁻¹ a 40°C, podendo ser uma alternativa na remoção de corantes em processos de tratamento de águas residuais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

A amostra bagaço de malte (BM) de origem industrial que foi utilizada nos ensaios de adsorção e dessorção do corante reativo têxtil foi doado por uma empresa cervejeira localizada na região Oeste do Paraná. Posteriormente à coleta, o BM foi seco em estufa à 105 °C e após resfriamento foi armazenado em recipiente plástico à temperatura ambiente. O BM foi preparado e tratado conforme metodologia descrita por Almeida *et al.* (2018). O BM foi submetido à várias lavagens para a remoção de materiais finos e foi seco em estufa a 105 °C por 12 horas. Para melhorar a eficiência da biossorção, o BM foi, posteriormente, tratado com solução de HCl 0,001 mol L⁻¹, recebendo a denominação de BMT.

O corante têxtil utilizado neste estudo foi fornecido por uma indústria têxtil da região Oeste do Paraná. Na Tabela 2 são apresentadas algumas propriedades do corante. Como o componente principal é o reativo preto 5, o corante foi denominado RP5. As soluções utilizadas foram preparadas a partir da dissolução do corante reativo, em água destilada, na concentração inicial de 1000 mg L⁻¹.

Tabela 2 – Características do corante têxtil utilizado neste estudo

Característica	
Nome comercial	Azul Marinho Biomax BL111
Caracterização química	Corante Reativo Azo
Componente principal	Reactive Black 5
Número de identificação CAS	17095-24-8
Fórmula molecular	C ₂₆ H ₂₁ N ₅ Na ₄ O ₁₉ S ₆
Peso molecular	991,82 g/mol
Solubilidade em água	>120 g/L (50 °C)
Valor do pH	4 (20 °C, 10 g/L)

Fonte: Adaptado de Xis-Ene Industrial Ltda.

Na Figura 3 apresenta-se a estrutura química do corante têxtil RP5.

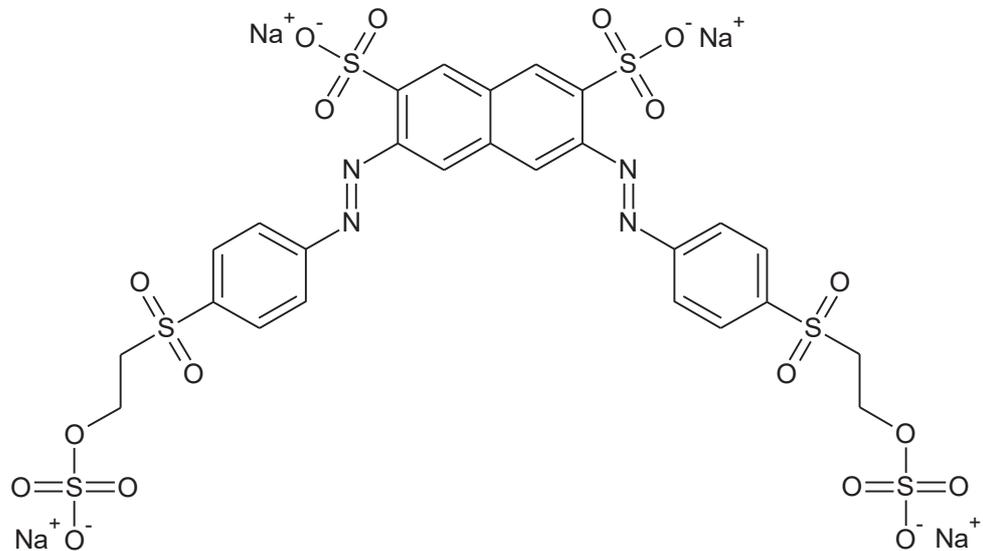


Figura 3 – Estrutura química do corante têxtil RP5.

Fonte: Autoria própria

3.2 ENSAIOS DE ADSORÇÃO/DESSORÇÃO

3.2.1 Avaliação do pH

A remoção do RP5 foi avaliada utilizando o BMT e soluções do corante na concentração de 100 mg L^{-1} , conforme Almeida *et al.* (2018), em diferentes pH (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12). Foram colocados 50 mL da solução de corante em contato com aproximadamente 0,50 g do bagaço pré-tratado seco em frascos erlenmeyer de 125 mL. Em outro frasco, colocou-se 50 mL da solução de corante sem bagaço, sendo este utilizado como parâmetro de referência. As amostras foram colocadas no shaker com temperatura ajustada a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Os erlenmeyers foram retirados após 24 horas de contato. Após separou-se com o auxílio de uma peneira com abertura de 1,41 mm (Mesh 14), a solução de corante do bagaço de malte e realizou-se a leitura da absorbância na região UV-Vis em cubeta de vidro e a medida do pH final da solução. A concentração das amostras foi determinada utilizando uma curva analítica no

comprimento de onda de 598 nm, conforme Almeida *et al.* (2018). Todos os ensaios experimentais foram realizados em duplicata.

O percentual de remoção (%) do corante foi determinado pela equação (1) na qual C_o (mg /L) é a concentração inicial de corante na solução, C_f (mg/L) é a concentração final de corante na solução.

$$\% \text{ Remoção} = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100 \quad (1)$$

3.2.2 Impregnação do material adsorvente

Para o experimento de impregnação do bagaço de malte (BMT) com o RP5 foi utilizado 60,048g de adsorvente que foram adicionados em um becker contendo 950 mL de solução de corante com concentração de 966,6 mg L⁻¹ e pH 3,0, a temperatura ambiente ≈ 27 °C. O BMT foi agitado mecanicamente por 4 horas. Na Figura 4, é apresentado o aparato experimental para a impregnação do BMT. Em seguida, o BMT impregnado foi separado da solução e seco em estufa, na temperatura de 105 °C, até massa constante.



Figura 4 – Aparato experimental para a impregnação do BMT.

A medição da concentração remanescente de corante em solução foi determinada no comprimento de onda de 598 nm, conforme Almeida *et al.* (2018). A quantidade de corante adsorvida por grama de bagaço de malte (q_{eq} , mg/g) foi calculada pela equação (2):

$$q_{eq} = \frac{(C_o - C)V}{m} \quad (2)$$

Sendo que q_{eq} é a quantidade de corante removida no equilíbrio (mg/g), C_o é a concentração inicial de corante na fase líquida (mg/L), C é a concentração de corante na fase líquida no equilíbrio (mg/L), V é o volume da solução (L) e m é a massa de bagaço de malte (g).

3.2.3 Caracterização do adsorvente

As amostras de BMT foram caracterizadas pelo do ponto de carga zero, e por espectroscopia na região do infravermelho. Para a obtenção do ponto de carga zero, utilizou-se a metodologia baseada no método do “experimento dos 11 pontos” proposto por Regalbuto e Robles (2004). Em que foi colocado sob agitação 0,5 g de BMT em 50 mL de solução de HCl ou NaOH com diferentes pH iniciais (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9,10,11 e 12) pelo tempo de 24 horas. Foram realizadas leituras do pH da amostra no início e ao termino do tempo. Os ensaios foram realizados em duplicata.

A caracterização por espectroscopia no infravermelho foi feita para os seguintes materiais: BMT, BM após contato com a solução de corante (BMC) e o corante têxtil RP5. O espectro de transmitância na região do infravermelho foi adquirido em um espectrofotômetro Perkin Elmer, modelo Spectrum 65 FT-IR Spectrometer, sendo utilizado o acessório universal de transmitância total atenuada (ATR) na região de 650 a 4000 cm^{-1} .

Os aspectos visuais das amostras de BMT e BMC foram observadas utilizando um microscópio digital USB 1000x.

3.2.4 Determinação da concentração do agente eluente

Para determinar a melhor concentração a ser utilizada do agente eluente, foi analisada a eficiência de dessorção. Para isto, foi testado o eluente básico NaOH, nas seguintes concentrações: 0,001 mol L⁻¹, 0,005 mol L⁻¹, 0,01 mol L⁻¹, 0,05 mol L⁻¹, 0,1 mol L⁻¹, 0,5 mol L⁻¹. O ensaio foi realizado em triplicata em sistema batelada à temperatura 30 °C com velocidade de agitação de 150 rpm, utilizando 0,5 g de massa seca do adsorvente impregnado e 50 mL de agente eluente. Após 24 horas de agitação, foi realizada a leitura das absorbâncias das amostras em um espectrofotômetro no comprimento de onda de 598 nm. Buscando a melhor concentração do eluente NaOH a ser utilizado foi calculada a eficiência de dessorção (%) pela equação (3):

$$\% \text{ Eficiência de Dessorção} = \frac{(C_f \times V)}{q_{eq} \times M_{ads.}} \times 100 \quad (3)$$

Em que C_f (mg/L) é a concentração final de corante no eluente, q_{eq} é quantidade de corante removida no equilíbrio (mg/g), M_{ads} é a massa de bagaço de malte com corante adsorvido (g), e V é o volume de eluente (L).

3.2.5 Cinética de dessorção do corante

Para realizar esta parte do experimento foi utilizado o melhor agente eluente, determinado no item 3.2.4. Foi avaliado a influência da temperatura e tempo de contato necessário para a dessorção do bagaço de malte. O experimento foi realizado em três temperaturas distintas, sendo 30 °C, 40 °C e 50 °C com rotação de 150 rpm, 0,50 g de massa seca do adsorvente e 50 mL de solução do agente eluente, em sistema batelada. Na cinética de dessorção foram retiradas amostras em intervalos

de tempos pré-estabelecidos, entre 15 min e 22 h. Os ensaios foram realizados em duplicata. Ao separar o adsorvente do eluente foi quantificada a concentração de corante desorvido presente na fase fluida, como descrito no item 3.2.1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE

Na Figura 5, é apresentado os espectros característicos na região do infravermelho do BMT, BMC e o RP5. Nesta análise o objetivo foi caracterizar o corante, a biomassa, e identificar os grupos funcionais.

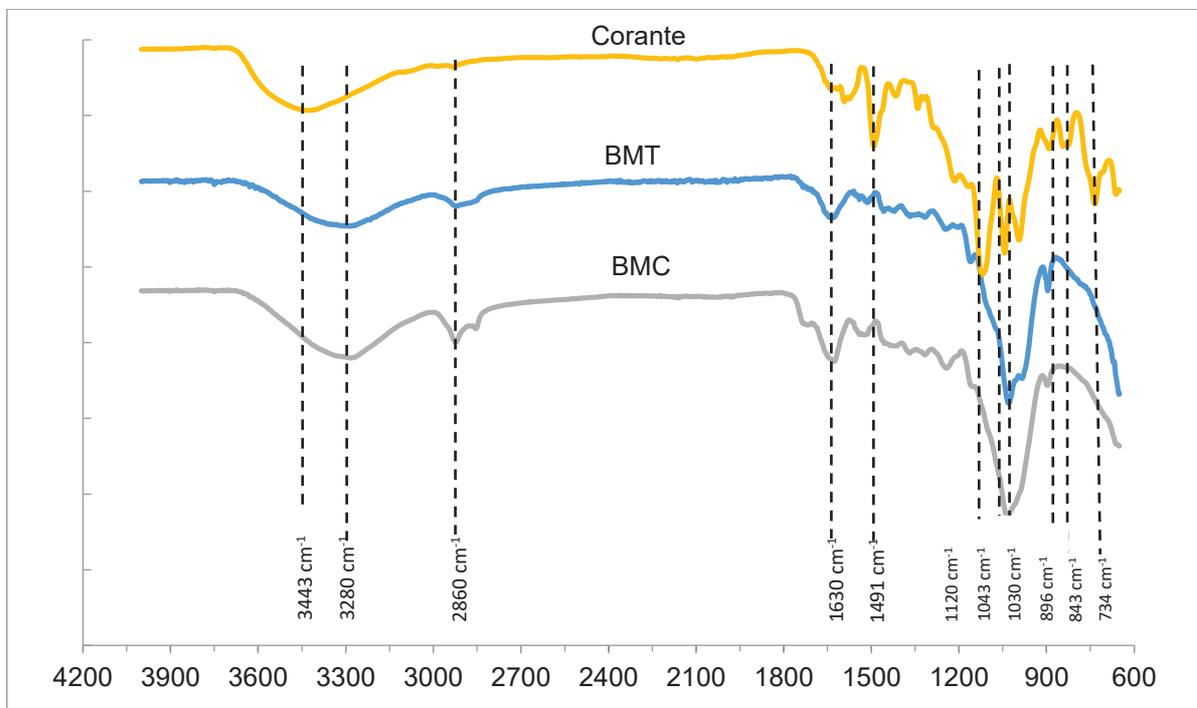


Figura 5 – Espectros característicos na região do infravermelho para BMT, BMC e RP5.

O espectro que contém o RP5 apresenta a banda de 3443 cm^{-1} que indica presença de O-H. A banda na região de 1491 cm^{-1} pode ser explicada pela presença de C=C das vibrações de núcleos aromáticos. A presença de anéis aromáticos com deformação angular orto-substituídos e para-substituídos são representados pelos picos na região de 734 cm^{-1} e 843 cm^{-1} , respectivamente. A banda forte em 1120 cm^{-1} é atribuída a absorção de C-N e na região de 1043 cm^{-1} está o grupo S=O (sulfóxido) (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2000).

Os espectros do BMT e do BMC apresentam bandas intensas na região de 3280 cm^{-1} indicando a presença de grupos OH que apresentam vibração de deformação axial nos átomos de hidrogênio ligados ao oxigênio. Enquanto as bandas fracas na região de 2860 cm^{-1} são atribuídas à deformação axial do grupo C – H de carbonos primários e secundários. As bandas na região de 1630 cm^{-1} que correspondem a C=O (amidas) com intensidade um pouco mais forte para o BMC. As bandas fortes na região de 1030 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento do C – O no espectro do BMT e do BMC. Já na região de 896 cm^{-1} é possível identificar estiramento do C – H, com maior intensidade no espectro de BMT (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2000). Com isso observou-se que não houve grande variação entre os espectros característicos na região do infravermelho do BMT e BMC.

Os adsorventes, em geral, desenvolvem cargas na interface sólido-líquido devido à dissociação ou adsorção de íons da solução. A caracterização dessas cargas é importante no que se refere às aplicações dos materiais como adsorventes. A faixa de pH em que as cargas superficiais líquidas do adsorvente são nulas é referida como Ponto de Carga Zero do adsorvente (MARIN *et al.*, 2015). A Figura 6, mostra os resultados observados para os valores do pH final e o pH inicial. Verifica-se que o pH final permanece constante no intervalo de pH inicial de 3 a 9 no qual o BMT atua como uma solução tampão. Assim, o pH_{PCZ} encontrado para o BMT foi de 3,07.

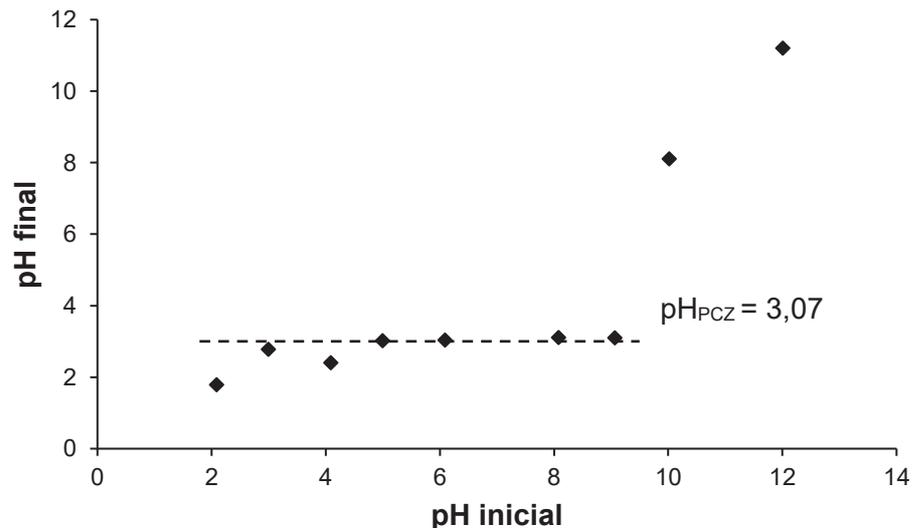


Figura 6 – Determinação do pH_{PCZ} do BMT. ($C_0 = 50\text{ mg/L}$; $t = 24\text{ h}$, $T = 30\text{ }^\circ\text{C}$)

Segundo Ribeiro *et al.* (2011), quando um material sólido entrar em contato com uma solução líquida com pH abaixo do pH_{PCZ} , a superfície é carregada positivamente e um grande número de ânions é adsorvido para balancear as cargas positivas. Em soluções aquosas com um pH mais alto do que o pH_{PCZ} , a superfície é carregada negativamente adsorvendo cátions.

Conforme a análise do pH_{PCZ} , tem-se que em meio ácido, $pH < 4$ a superfície do adsorvente é carregada positivamente. AlDegs *et al.* (2000) afirma que como a superfície do adsorvente possui cargas positivas em pH menores que 4, existe alta atração eletrostática entre a superfície positivamente carregada do adsorvente e o corante aniônico, o que explica o fato da adsorção do corante ser favorecida em pH inferior a 4.

4.2 AVALIAÇÃO DO pH

Segundo Mall *et al.* (2006), alterações no pH podem afetar o processo de adsorção por meio da dissociação de grupos funcionais presentes nos sítios ativos do adsorvente, interferindo nos íons presentes na solução. Dessa forma, é necessário conhecer a influência que este parâmetro exerce sobre o processo de adsorção de corantes.

Na Figura 7 é demonstrado a adsorção do corante em função do pH inicial da solução. Observou-se que na maioria dos experimentos o pH diminuiu para cerca de 3,0.

Os resultados mostraram que a remoção do corante foi pouco influenciada pelo pH inicial da solução. Isto pode ser explicado pelo fato de que o tratamento ácido realizado no bagaço de malte fez com que o pH final da solução de corante se mantivesse em torno de 3 para as amostras com pH inicial da solução entre 4 e 11. Estudos realizados por Almeida *et al.* (2018) demonstraram que a adsorção do RP5 é favorecida em pH ácido. As amostras que apresentaram menor remoção de corante foram as de pH inicial 5,02 e 12,00, com 89% e 57% de remoção, em que o pH final ficou acima de 4,0.

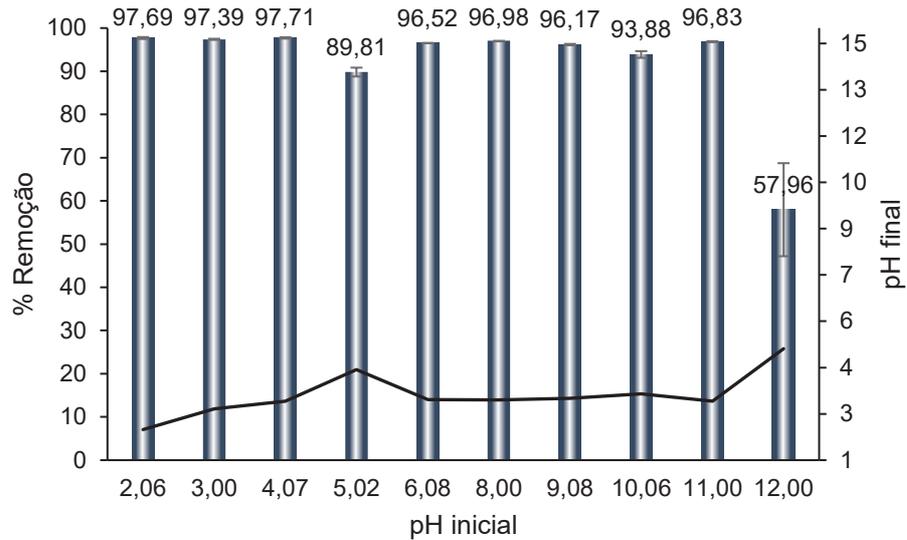


Figura 7 – Efeito do pH inicial da solução na eficiência de adsorção de RP5 em BMT. ($C_0= 50$ mg/L; $t=24$ h, $T = 30$ °C, $m= 0,5$ g)

Em estudo realizado por Borges (2006), que investigou a adsorção do corante Azul Reativo 5G em sistema batelada e utilizando como adsorvente o carvão ativado, os resultados mostraram que o pH 7,25 foi o mais favorável à adsorção. Entretanto, na pesquisa realizada por Módenes *et al.* (2011) sobre a utilização da macrófita *Egeria densa* na biossorção do corante Azul Reativo 5G em processo batelada as melhores condições de operação foram obtidas para pH igual a 1.

Dessa forma, pode-se afirmar que a melhor condição de pH da solução, quando analisadas para o mesmo corante, depende do tipo de adsorvente empregado no processo.

Comparando-se o valor obtido do pH_{PCZ} do BMT com o pH da solução do corante, acredita-se que a adsorção ocorra exatamente pela atração de grupos aniônicos do corante em relação à carga superficial positiva do material sólido.

4.3 IMPREGNAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos para o experimento de impregnação do bagaço de malte com corante. Pode-se observar que o percentual de

remoção do corante foi de 94,5% e que a quantidade de corante adsorvida no BMT foi de $14,4 \text{ mg g}^{-1}$. Este valor foi próximo à capacidade máxima de adsorção do mesmo corante ($18,42 \text{ mg g}^{-1}$) para o BMT a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ reportado por Almeida *et al.* (2018).

Em trabalho realizado por Piffer e Veit (2015), foi encontrado o valor $8,49 \text{ mg g}^{-1}$ para a quantidade de corante removida no equilíbrio, utilizando o BM como adsorvente e o corante têxtil Azul 5G reativo, em concentração inicial de $454,83 \text{ mg L}^{-1}$. O maior valor de Q_{eq} encontrado no presente trabalho pode ser atribuído à utilização de uma maior concentração inicial de corante, bem como ao tratamento ácido realizado na biomassa.

Tabela 3 – Impregnação do bagaço de malte com o corante têxtil RP5.

Parâmetro	Valor
Massa de BMT (g)	60,04
pH da solução	3,00
Volume de Solução (L)	0,95
Concentração inicial (mg L^{-1})	966,6
Concentração final (mg L^{-1})	53,55
% Remoção	94,46
Q_{eq} (mg g^{-1})	14,44

Na Figura 8 é apresentado o aspecto visual obtida por microscópio digital do bagaço de malte pré-tratado e do bagaço de malte impregnado com corante.



Figura 8 – Aspectos visuais do bagaço de malte pré-tratado (a) e bagaço de malte impregnado com corante (b).

Na Figura 8 (a) BMT seco antes da adsorção do corante é composto basicamente pela casca de grãos de cevada. Na Figura 8 (b) BMT após a adsorção do corante. Apresenta uma mudança na coloração causada pela fixação do corante ao material.

4.4 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO AGENTE ELUENTE

Na Figura 9 são apresentadas as eficiências de dessorção do corante impregnado no BMT usando soluções de NaOH em diferentes concentrações. Verificou-se que a água destilada e a solução de NaOH com concentração de $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ não foram eficientes, removendo apenas 1,25 e 1,65%, respectivamente. Assim podemos observar que a dessorção é favorecida em soluções com pH alcalinos.

Os resultados mostram que não houve grande variação na porcentagem de dessorção das amostras com concentrações de 0,05, 0,1 e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, obtendo-se os valores de 54,5, 54,2 e 55,6%, respectivamente. Porém estas amostras apresentaram variação na coloração, adquirindo uma coloração esverdeada devido a alcalinidade da solução. Com isso detectou-se um processo de hidrólise da lignina presente no BMT, não sendo viável a utilização destas concentrações como agente eluente.

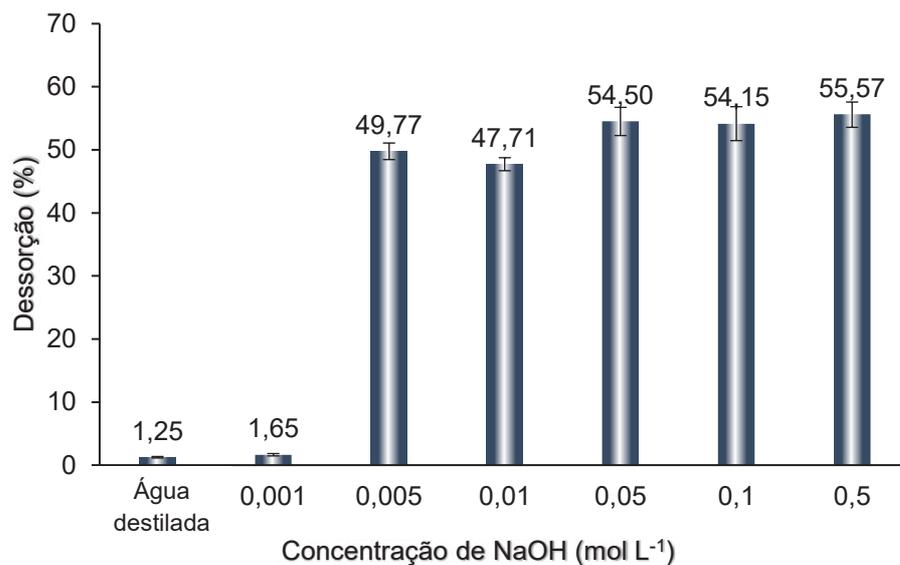


Figura 9 – Eficiência de dessorção de BMT impregnado com corante utilizando soluções de NaOH em diferentes concentrações ($t = 24 \text{ h}$, $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $m = 0,5 \text{ g}$, 150 rpm).

As soluções de NaOH com concentração 0,005 e 0,01 mol L⁻¹ mostraram bons resultados de remoção (49,5 e 47,5% de corante, respectivamente) sem causar mudança de cor na amostra.

Em trabalho realizado por Piffer e Veit (2015), que estudou a adsorção e dessorção do corante reativo azul BF-5G em bagaço de malte, o melhor eluente foi o NaOH 1 mol L⁻¹, com eficiência de dessorção de 38,54%.

A partir destes resultados utilizou-se a solução de NaOH com concentração de 0,005 mol L⁻¹ como agente eluente nos ensaios cinéticos, uma vez que foi possível obter uma boa eficiência de dessorção utilizando uma menor concentração, sendo mais viável economicamente.

4.5 CINÉTICA DE DESSORÇÃO

A temperatura é um dos parâmetros que mais influenciam nas relações de equilíbrio, uma vez que afeta a agitação das moléculas do sistema, interferindo também nas forças de atração e repulsão entre o adsorvato e o adsorvente (MARIN, 2015).

Portanto, com o objetivo de avaliar o tempo necessário para se alcançar o equilíbrio no processo dessorção do corante, foram realizados testes cinéticos de dessorção em batelada. Na Figura 10 é demonstrado a variação da concentração do corante RP5, em função do tempo de contato com o BMT em diferentes temperaturas.

Com este experimento notou-se que a extração do corante ocorre de forma rápida sendo que na primeira hora de contato, o % de dessorção foi de 47,04, 53,46 e 50,35% para as temperaturas 30, 40 e 50 °C, respectivamente. O equilíbrio de dessorção do corante foi obtido a partir de 8 horas de contato com o eluente nas três temperaturas.

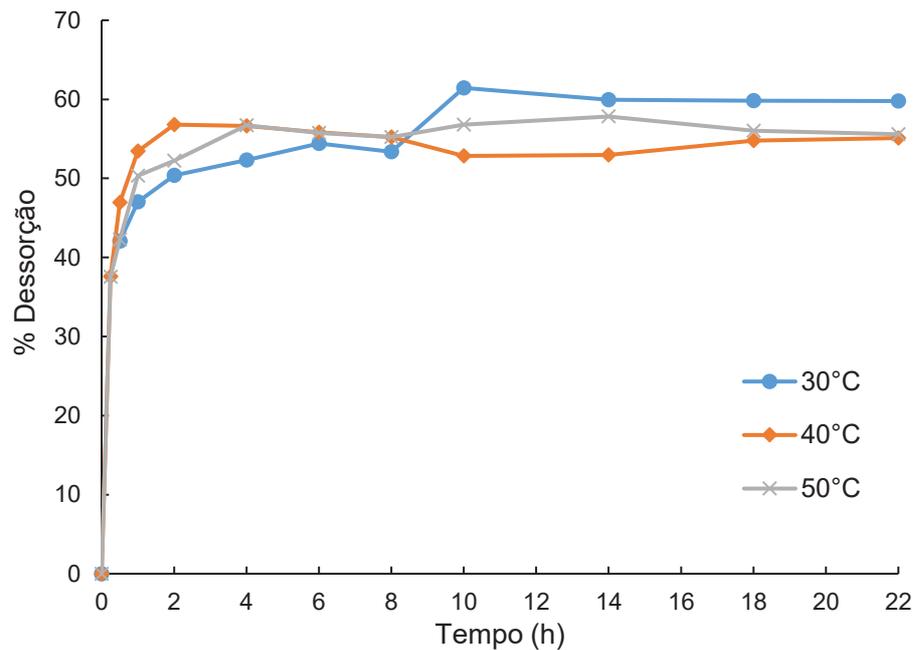


Figura 10 – Eficiência de dessorção do corante em função do tempo de contato com o BMT em diferentes temperaturas. (m = 0,50 g, V = 50 mL, 150 rpm)

Observou-se que a quantidade removida após 22 h de contato foi de 57,53, 51,19 e 54,01% em 30, 40 e 50 °C, respectivamente. Assim, um aumento na temperatura resultou em um pequeno decréscimo na quantidade de corante dessorvida.

Piffer *et al.* (2015), estudou a dessorção do corante têxtil reativo azul 5g adsorvido em bagaço de malte nas temperaturas de 30 °C, 40 °C e 50 °C e observaram que a eficiência de dessorção foi crescente, sendo que na temperatura de 50 °C a remoção de corante foi maior, com cerca de 70,8 % em uma hora de contato.

Gobi (2013) testou as temperaturas de 25 °C, 35 °C e 45 °C na cinética de dessorção da casca de soja utilizando o corante reativo 5G e observou que o equilíbrio foi de aproximadamente em 100 minutos, para as três temperaturas, obtendo uma eficiência de dessorção de 59,23 %.

Fiorentin (2009), avaliou a dessorção do corante reativo 5G em efluentes da indústria têxtil com bagaço de laranja e obteve bons resultados, sendo que, em pH 10 e temperatura de 25°C, obteve-se uma redução de corante no bagaço de 97%.

5 CONCLUSÕES

Neste estudo, o bagaço de malte, um subproduto da indústria cervejeira, foi avaliado como material adsorvente para o corante têxtil RP5 em ensaios de adsorção e dessorção.

O bagaço de malte foi pré-tratado com solução de HCl 0,001 mol L⁻¹ resultando em um biossorvente com um pH_{pcz} de 3,07. Essa característica permitiu realizar os experimentos de adsorção em pH ácido, no qual a adsorção do corante é favorecida. No experimento de impregnação, o BMT obteve uma capacidade de remoção de 14,44 mg g⁻¹.

Para o experimento de dessorção o agente eluente escolhido foi a solução de NaOH 0,005 mol L⁻¹ (pH inicial = 12,07), que obteve remoção de 49,5% do corante adsorvido no BMT.

No estudo cinético de dessorção, a extração do corante ocorre de forma rápida sendo que na primeira hora de contato, o % de dessorção foi de 47,04, 53,46 e 50,35% para as temperaturas 30, 40 e 50 °C, respectivamente. Em oito horas de contato com o eluente atingiu-se o equilíbrio nas três temperaturas, sendo a quantidade removida após 22 h de contato foi de 57,53, 51,19 e 54,01% em 30, 40 e 50 °C, respectivamente. Portanto, um aumento na temperatura resultou em um pequeno decréscimo na quantidade de corante dessorvido.

Assim, o bagaço de malte tratado demonstrou grande potencial para a utilização como biossorvente na remoção de corante têxtil e que o processo de dessorção mostrou-se promissor, uma vez que é possível recuperar cerca de 50% do corante adsorvido. Ensaios de ciclos de adsorção/dessorção tornam-se necessários para verificar a viabilidade do uso do BMT em processos industriais de tratamento de efluentes têxteis que contenham este corante.

REFERÊNCIAS

AL-DEGS, Y.; KHRAISHEH, M.A.M.; ALLEN, S.J.; AHMAD, M. N. Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent. **Water Research**. vol 34, p. 927- 935, 2000.

ALMEIDA, N. K. S. *et al.* **Remoção de corante reativo usando o bagaço de malte como bioissorvente em sistema batelada**. In: 12º Encontro Brasileiro de Adsorção. Gramado, 2018.

ALMEIDA, Lariana N. B. **Remoção do corante amarelo reativo B2R utilizando bagaço de cana-de-açúcar**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grosso, 2015.

ARAUJO Fabiana V. F.; YOKOYAMA Lígia; TEIXEIRA Luiz A. C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H₂O₂/UV. **Quím. Nova** v. 29 n.1 p. 11-14. São Paulo, Jan. 2006.

BORGES, E. R. **Remoção do corante reativo azul 5G através de processo de separação por membranas e adsorção com carvão ativado**. Dissertação de mestrado em engenharia química. Universidade Estadual de Maringá. Paraná, 2006.

CAVALCANTI, José E. W. A, **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo, CETESB, 1993.

CARDOSO, Natali F. **Adsorção de corantes têxteis utilizando bioissorventes alternativos**. 2012. 120 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CARVALHO, Terezinha E. M; FUNGARO, Denise A; IZIDORO, Juliana C. Adsorção do Corante Reativo Laranja 16 de Soluções Aquosas por Zeólita Sintética. **Quím. Nova**. São Paulo, v. 33, n. 2, p. 358-363, 2010.

COELHO, Gustavo F. *et al.* Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas. **Journal of Agronomic Sciences**. Umuarama, v.3, n. especial, p.291-317, 2014.

COOPER, Peter. Colour in Dyehouse Effluent. **Society of Dyers and Colourists**, The Alden Press, Oxford, 1995.

CRINI G., PEINDY H.N. **Adsorption of C.I. Basic Blue 9 on cyclodextrin-based material containing carboxylic groups.** *Dyes and Pigments*, 70, 204-211, 2005.

CUNHA, Bruna S. **Utilização de bioissorventes alternativos na remoção de corantes têxteis.** 2014. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

DALLAGO Rogério M; SMANIOTTO Alessandra, OLIVEIRA Luiz C. A. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova.** Erechim, v. 28, p. 3, 433-437, 2005.

DRAGRONE, Solange I. M. **Aproveitamento integral de subproduto da indústria cervejeira em processos químicos e biotecnológicos.** 2007. 175 f. Tese de doutorado - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2007.

FIORENTIN, L. D. **Remoção de Corante de Efluentes da Indústria Têxtil Utilizando Processos com Membranas e Adsorção em Bagaço de Laranja.** Tese de Doutorado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 163p. 2009.

FERREIRA, Denise D M; SPANHOL, Greicy K; KELLER, Jacqueline. **Gestão do processo têxtil: Contribuições à sustentabilidade dos recursos hídricos.** In: V congresso nacional de excelência em gestão. Niterói, 2009.

FERREIRA, I.M.P.L.V.O. *et al.* Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications. **Trends Food Sci. Technol.** V. 21, p. 77-84, 2010.

FREITAS, Isabel C. V. *et al.* Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isotermas de Freundlich e Langmuir. **Agropecuária Técnica.** Areia, v. 31, n. 2, p. 153-163, 2010.

GEADA, Oriana. M. R. N. D. **Remoção de corantes têxteis utilizando resíduos agrícolas da produção de milho.** 2006. 137 f. Tese de Mestrado em Engenharia Ambiental - Faculdade de Engenharia na Universidade do Porto, Cidade do Porto, 2006.

GOBI, F. P. *et al.* **Dessorção do corante comercial azul 5G a partir da adsorvente casca de soja.** In: 5º Simpósio de Engenharia Química. Anais do SEQ. v. 1, n 1. p. 93-108. Maringá, 2013.

GONÇALVES, C. *et al.* **Biossorção de corante catiônico utilizando o bagaço de malte.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Fortaleza, 2016.

GHOREISHI S.M., HAGHIGHI R. Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment of non-biodegradable textile effluent. **Chemical Engineering Journal**, v. 95, p. 163-169, 2003.

GOMES, Luana M. **Estudo da Otimização do Processo Fenton para o Descoramento de Corantes Azo.** 2009. 106 f. Dissertação de mestrado – Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

GUARATINI, Cláudia C. I. ZANONI, Maria V. B. **Corantes têxteis.** Quím. Nova. Araraquara, v. 23, n. 1, p. 71-78, Jan. 2000.

HELDER, Rafael M. **Biossorção do corante têxtil preto reafix Super 2R com bagaço de malte.** Dissertação de Mestrado – Instituto Politécnico de Bragança – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança, 2016.

HONORIO, J. F. *et al.* **Adsorção do corante reativo azul BF-5G em casca de soja: parâmetros de processo e isotermas.** In: 10º Encontro Brasileiro sobre Adsorção. Guarujá, 2014.

HOLME, J.; **Developments in the Chemistry and Technology of Organic Dyes**; J. Griffiths Ed.; Blackwell Scient. Publ; Oxford, 1984.

HO Y.S., MCKAY G. The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solution by sphagnum moss peat. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 76, p. 822-827, 1998.

KIRIN HOLDINGS, 2017. Global Beer Production by Country in 2016. Kirin Beer University. Report. August 10. Disponível em: https://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2017/0810_01.html. Acesso em: 05 jun. 2018.

KELM, M. A. P. *et al.* **Remoção de corante azo através de adsorção com carvão produzido por gaseificação de retalhos de madeira.** In: 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção. Gramado, 2018.

KUNZ, Airton *et al.* Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Quim. Nova**, Vol. 25, N. 1, p. 78-82, 2002.

LEÃO, Mônica M. D. *et al.* **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas.** 1. ed. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, Editora Segrac, 2002.

LEICHTWEIS, Wilian. A; MÓDENES, Aparecido. N; GERARDI, Claudinéia. **Levantamento dos Dados Cinéticos de Adsorção do Corante Amarelo Reativo BF 3R Utilizando Pseudocaule de Bananeira (*musa sp*).** In: 3º Encontro Paranaense de Engenharia e Ciência. Toledo, 2013.

LIMA, Hugo H. C. **Estudo do efeito de adsorvente alternativo de casca de laranja pera rio (*Citrus sinensis L. osbeck*) na adsorção de corante têxtil vermelho reativo BF-4G.** 2014. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MALL, Indra D.; SRIVASTAVA, Vimal C.; AGARWAL, Nitin K. Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash – kinetic study and equilibrium isotherm analyses. **Dyes and Pigments**. V.69, p. 210-223, 2006.

MANU B., CHAUDHARI S. Anaerobic decolorisation of simulated textile wastewater containing azo dyes. **Bioresource Technology**, v. 82, p. 225-23, 2002.

MARIN, Pricila *et al.* **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.

MARTINS, G. B. H. **Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de Santa Catarina.** 1997, 138 p. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

MATHIAS, Thiago R. S; MELLO, Pedro P. M; SÉRVULO, Eliana F. C. Solid wastes in brewing process: A review. **Journal of Brewing and Distilling**, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2014.

MELLO, Léa R. P. F; VERGÍLIO, Renata M; MALI, Suzana. **Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira.** In: Anais do III Simpósio

de Bioquímica e Biotecnologia. BBR: Biochemistry and Biotechnology Reports v. 2, n. 3, p. 191-194, 2013.

MÓDENES, Aparecido N. *et al.* **Utilização da macrófita egeria densa na biosorção do corante reativo 5g.** Engevista, v. 13, n. 3, p.160-166, dez. 2011.

OLIVEIRA, Cintia S. **Estudo cinético e termodinâmico da interação de corantes aniônicos com escamas do peixe Piau (*Leporinus elongatus*).** 2009. 113 f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009.

PIFFER, H. H. *et al.* **Estudo da dessorção do corante têxtil reativo azul 5g adsorvido em bagaço de malte.** In: 11º Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3. São Paulo, 2015.

PIFFER, H. H; VEIT, M. T. **Ciclos de adsorção/dessorção de corante têxtil a partir de um resíduo da indústria cervejeira.** I Encontro Anual de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2015.

PINTO, Ana R. M. **Avaliação do Processo de Secagem no Fabrico de Malte.** 2013. 81 f. Dissertação de Mestrado, (Pós-graduação em Engenharia Alimentar – Processamento de Alimentos) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.

PINTO, Rodrigo B. **Remoção do corante têxtil preto de remazol B de soluções aquosas usando adsorventes a base da casca de pinhão.** 2012. 82 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio grande do Sul – Instituto de Química. Programa de Pós-Graduação em Química, Porto Alegre, 2012.

PORTO, Paula D. **Tecnologia de fabricação de malte: uma revisão.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

REGALBUTO, J.R., ROBLES, J. **The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation,** University of Illinois, Chicago, 2004.

RIBEIRO, G. A. C. *et al.* **Casca de arroz in natura e tratada com ácido nítrico como adsorventes para remoção do corante têxtil violeta brilhante remazol.** In: 51º Congresso Brasileiro de Química, São Luís, 2011.

ROCHA, Otidene. R. S *et al.* Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo bf-2r. **Quim. Nova.** Recife, V. 35, N. 7, p.1369-1374, 2012.

ROYER, Betina. **Remoção de corantes têxteis utilizando casca de semente de *Araucária Angustifolia* como biossorvente.** 2008. 68 f. Tese de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SANTOS, Gil L. G. **Desenvolvimento e aplicação de método de dessorção química para determinação de BTEX em ar ambiente de postos de combustíveis utilizando cromatografia a gás.** 2014. 155 f. Tese do Programa de Pós-Graduação em Química - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SILVA, Alex B. C; ANDRADE, Ricardo M. F. **Remoção de cor de uma solução com corante têxtil por adsorção e oxidação por processo fenton.** 2013. 65 f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SILVERSTEIN, Robert M; WEBSTER, Francis X; KIEMLE, David J. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**, 6^a. ed. LTC Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 2000.

SOARES, José L. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas.** 1998. 84 f. Dissertação Mestrado em Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

SOBRINHO, Guilherme A. N. **Estudo da sorção e da contribuição da troca iônica na dinâmica do ¹³⁷cs em solos altamente intemperizados.** 2014. 101 f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, 2014.

SOUZA, Roberto R. OLIVEIRA, José R. **Biodegradação de efluentes contendo corantes utilizados na indústria têxtil.** In: Artigo apresentado no Seminário de pesquisa FAP-SE, Sergipe, 2003.

TONIOLLO, Michele; ZANCAN, Natália. P; WUST, Caroline. **Indústria têxtil: sustentabilidade, impactos e minimização.** In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre, 2015.

TROMBINI, Rosana B; OBARA-DOI, Suely. M. Remoção de cor e análises físico-química de efluentes de indústrias têxteis tratados com *Ganoderma spp.* **Revista F@pciência**, Apucarana, v.9, n. 12, p. 101 – 122, 2012.

XIS- ENE INDUSTRIAL LTDA. **Ficha de Segurança Sobre Produto Químico – FISPQ.** Disponível em: <www.hi-techquimica.com.br> Acesso em: 12 mar. 2018.

ZANUTTO, Adriane; SILVA, Bruna C. **Avaliação do bagaço de malte como biossorvente do corante amarelo reafix B2R.** 2016. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.