

UTILIZAÇÃO DA CASCA DE AIPIM COMO ADSORVENTE NATURAL PARA REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS

Eduarda Locatelli¹

Aline Resmini Melo²

Resumo: A indústria têxtil vem crescendo muito ao longo dos anos e o consumo do volume de água para o tingimento das fibras também, gerando uma quantidade maior de efluentes que podem estar contaminados e são prejudiciais ao ambiente aquático e aos seres humanos. Muitos estudos estão sendo feitos para que esses problemas sejam resolvidos, uma alternativa bastante econômica e eficaz é a utilização de adsorventes naturais para adsorção dos corantes. O objetivo do estudo foi avaliar a viabilidade da casca de aipim como adsorvente natural para a remoção de corantes. Esse processo foi simulado utilizando como adsorvente a casca de aipim, e o efluente foi simulado em laboratório utilizando os corantes reativos Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150 e Bezaktiv Azul S-Matrix 150. Foi analisada a cinética de adsorção da casca de aipim para os dois efluentes simulado. A área superficial específica foi de $1,430 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. O ponto de carga zero da superfície do material adsorvente foi pH próximo a 4,2. O tempo necessário para atingir o equilíbrio de remoção foi de aproximadamente 250 minutos para o corante vermelho, já o corante azul não atingiu o equilíbrio. Dentre os modelos cinéticos estudados o melhor ajuste foi o de pseudo-segunda ordem, para o corante vermelho. A utilização da casca de aipim mostrou ser uma alternativa na remoção do corante reativo vermelho, além de ser um adsorvente de baixo custo.

Palavras-Chave: Água. Corantes reativos. Adsorção. Efluentes. Indústria Têxtil.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui a maior cadeia têxtil completa do Ocidente, sendo o quarto maior produtor e consumidor de denim e o quarto maior produtor de malhas do mundo. Com 25,5 mil empresas em todo o País e 16,7% dos empregos, sua produção média têxtil é de 2,04 milhões toneladas por ano e um faturamento da cadeia têxtil e confecção de R\$185,7 bilhões (ABIT, 2020).

Por isso, a indústria têxtil destaca-se como fonte significativa de contaminação de ambientes aquáticos, resultando em efluentes com grandes quantidades de corantes (MOKHTAR et al., 2017; TEMESGEN; GABBIYE; SAHU,

¹ Graduanda em Engenharia Química. 2021-2. E-mail: locatelliduda@hotmail.com

² Professora Doutora do Cento Universitário UniSATC. E-mail: aline.melo@satc.edu.br

2018). Com isso as empresas estão tentando se aprimorar na geração e no tratamento de resíduos e efluentes. Assim, busca-se o desenvolvimento de processos que sejam mais eficientes, e que gerem uma quantidade mínima de resíduos (NUNES, 2014).

No entanto, os métodos convencionais para descontaminação de águas provenientes da indústria têxtil contendo corantes são economicamente desfavoráveis e tecnicamente complexos (CARDOSO et al., 2011). Uma das principais técnicas para a remoção do corante é o processo de adsorção, muito utilizado devido a sua eficiência, sua simplicidade de processamento, seu baixo custo, variedade de materiais potencialmente utilizáveis (ROCHA et al., 2012).

O interesse pela busca de adsorventes alternativos e de baixo custo para a remoção de corantes têxteis vem crescendo, com isso a utilização da casca de aipim, subproduto gerado no processo industrial e sem destino adequado, como possível substituinte no processo de adsorção de corante têxtil, se torna uma alternativa viável e sustentável, pois é simplesmente descartada, podendo gerar um desequilíbrio ambiental.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade da utilização da casca de aipim como adsorvente natural para a remoção dos corantes reativos Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150 e Bezaktiv Azul S-Matrix 150.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria têxtil é caracterizada como um dos setores industriais que mais utilizam água em sua produção e as características dos resíduos líquidos mudam de acordo com o tecido a ser fabricado, corante aplicado, processo de beneficiamento e equipamentos utilizados (RODRIGUES FILHO, 2012).

2.1 CORANTE REATIVO

Os corantes por apresentarem alto potencial de poluição têm chamado mais atenção em relação aos outros compostos químicos empregados no processo (ALMEIDA; DILARRI; CORSO, 2016). Os corantes são constituídos de pequenas moléculas de dois grupos funcionais principais sendo um responsável pela cor e o outro pela fixação da cor na fibra têxtil, tornando-se fixo ao tecido, em geral, por imersão em solução aquosa (OLIVEIRA, 2013).

Os corantes reativos destacam-se dentre as demais classes de corantes. Dessa forma, isso se deve ao fato deles formarem ligações fortes com as fibras têxteis. Com fibras celulósicas formam ligações covalentes, gerando boas características de solidez e brilho nos produtos, fazendo com que os corantes reativos sejam os mais utilizados principalmente para o tingimento de fibras naturais (MATOS et al., 2013; SILVA, 2017).

Um dos corantes reativos têxteis utilizados para os experimentos será o Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150. De acordo com a FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos) da CHT (2018b), este corante não é uma substância ou mistura perigosa, mas acarreta uma possível sensibilidade das vias respiratórias e efeitos irritantes. Os dados de propriedades físico-químicas do corante estão apresentados no Qd. 1.

Quadro 1: Propriedades físico-químicas do corante Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150.

Propriedade	Valor
Aspecto	Pó
Cor	Vermelho
Odor	Característico
pH	4,5 - 8,0 a 20 °C
Solubilidade	100 g/l a 20 °C

Fonte: CHC (2018b)

O outro corante será o Bezaktiv Azul S-Matrix 150. De acordo com a FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos) da CHT (2018a), este corante é uma mistura ou substância perigosa, causando sensibilidade respiratória, podendo provocar sintomas de alergia, de asma ou dificuldades respiratórias, além de provocar sensibilidade da pele, causando uma reação alérgica cutânea. Os dados de propriedades físico-químicas do corante estão apresentados no Qd. 2

Quadro 2: Propriedades físico-químicas do corante Bezaktiv Azul S-Matrix 150.

Propriedade	Valor
Aspecto	Pó
Cor	Azul
Odor	Característico
pH	5,0- 8,0 a 20 °C
Solubilidade	100 g/l a 20 °C

Fonte: CHC (2018a)

2.2 ADSORÇÃO

O processo de adsorção representa uma operação de transferência de massa do tipo sólido- fluido, na qual se aproveita a habilidade de determinados sólidos em concentrar na sua superfície certas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, que proporciona separá-las dos demais componentes dessas soluções (MEDEIROS et al., 2019).

Segundo Nascimento et al. (2014), a adsorção pode ser classificada de duas maneiras:

- Física (fisissorção): a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca podendo ser atribuída às forças de Van der Waals, que são similares às forças de coesão molecular.

- Química (quimissorção): em que envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultando em uma reação química. Isso resulta essencialmente numa nova ligação química e, por isso é bem mais forte que no caso da fisissorção.

2.2.1 Adsorventes

A aplicação de materiais adsorventes economicamente viáveis é um recurso ainda a ser grandemente explorado em processos de tratamentos de efluentes. Os materiais que são normalmente descartados na natureza, como resíduos industriais e agrícolas, podem ser reutilizados em sistemas de tratamentos, melhorando a eficiência dos mesmos e agregando valor ao rejeito industrial (PEREIRA et al., 2019).

2.2.2 Casca de aipim

Os processos agroindustriais de beneficiamento das raízes, para produção de farinha, geram enormes quantidades de resíduos sólidos e líquidos (PEIXOTO; RESCH, 2018). Os resíduos sólidos do processamento industrial do aipim são chamados de casca e bagaço (SCHWANTES et al., 2015). O resultado da pré-limpeza da casca refere-se ao principal resíduo da industrialização do aipim para produção de

farinha (MENEZES, 2011). Aproximadamente cerca de 6% dos resíduos de raízes correspondem à casca de aipim (SIVAMANI et al., 2018; SCHWANTES et al., 2015).

A casca é constituída por duas camadas externas de mais ou menos 2 mm de espessura, uma camada periférica de coloração marrom e espessura fina também conhecida como periderme e uma camada interna de espessura mais grossa, chamada de córtex (SIVAMANI; BASKAR 2014).

2.3 ADSORÇÃO EM BATELADA

As principais variáveis envolvidas nos processos de adsorção em batelada são temperatura, massa do adsorvente, concentração do adsorbato e velocidade de agitação. Esses ensaios em batelada podem ser de três formas, que são: ensaio em agitador magnético, ensaio com banho termostático agitado e ensaio em reator batelada encamisado (NASCIMENTO et al., 2014).

2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS ADSORVENTES

Neste capítulo serão abordados os parâmetros que caracterizam os adsorventes.

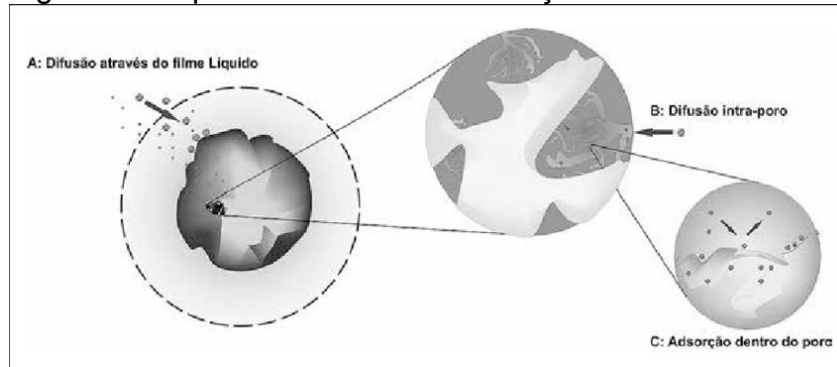
2.4.1 Ponto de carga zero

O ponto de carga zero corresponde a determinação de um valor de pH do meio em que um sólido apresenta carga eletricamente nula em sua superfície, ou seja, o número de cargas positivas é igual ao número de cargas negativas (LESSA, 2018).

3.4.2 Cinética de adsorção

A cinética da adsorção é obtida como a taxa de remoção do adsorbato na fase fluida em relação ao tempo. Esse processo envolve a transferência de um ou mais componentes presentes na massa líquida para o interior da partícula adsorvente. A cinética de adsorção pode ser conduzida por diferentes processos (NASCIMENTO et al. 2014) conforme Fig. 1.

Figura 1: Etapas da cinética de adsorção.



Fonte: Nascimento et al. (2014, p. 52)

- Transferência de massa externa (A): Relaciona-se a transferência de moléculas da fase fluida para superfície externa da partícula adsorvente;
- Difusão no poro (B): É a difusão de moléculas no fluido para o interior dos poros;
- Difusão na superfície (C): Representa a difusão das moléculas totalmente adsorvidas ao longo da superfície do poro (NASCIMENTO et al. 2014).

A capacidade de adsorção (q_e) é obtida pela quantidade de corante adsorvida pelos adsorventes. Após um determinado tempo de contato entre o adsorvente com o adsorbato ocorre o equilíbrio, onde o processo de adsorção estagna, conhecido como equilíbrio de adsorção (NASCIMENTO et al., 2014). Para utilizar os modelos cinéticos de primeira e segunda ordem é necessário a determinação da concentração de equilíbrio, dada pela Eq. (1) (ZANUTTO, 2016; SILVA, 2016):

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{m} \quad (1)$$

Onde:

q_e = Capacidade de adsorção (mg g^{-1});

C_o = Concentração inicial do adsorbato (mg L^{-1});

C_e = Concentração do adsorbato no equilíbrio (mg L^{-1});

V = Volume da solução (L);

m = Massa do adsorvente (g).

Muitos modelos cinéticos lineares são usados para descrever o mecanismo controlador do processo de adsorção, tais como reação química, controle da difusão e transferência de massa. Porém, os modelos aplicados com maior frequência são os de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem (ROCHA et al., 2012).

O modelo de pseudo-primeira ordem é a designação dada a equação de primeira ordem de Lagergren. Foi a primeira equação formulada para representar a adsorção em sistemas líquido-sólido com base na capacidade de carga do sólido. Essa equação se baseia em que a velocidade de remoção do adsorvato em relação ao tempo é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos do sólido (CRAESMEYER, 2013; RIBEIRO, 2012).

O modelo cinético de pseudo-primeira ordem linearizado é apresentado pela Eq (2) (HO; MCKAY, 1999):

$$\log(q_{ed} - q_t) = \log(q_{ed}) - \left(\frac{k_1}{2,303}\right)t \quad (2)$$

Onde:

q_{ed} = Quantidade de adsorvato adsorvido no equilíbrio (mg g^{-1});

q_t = Quantidade de adsorvato adsorvido (mg g^{-1}) no tempo (min^{-1});

k_1 = Constante de velocidade de adsorção do modelo cinético pseudo-primeira ordem (min^{-1}).

t = Tempo (min^{-1}).

O modelo de pseudo-segunda ordem fundamenta-se na capacidade de adsorção do adsorvente e considera o comportamento cinético da adsorção (MELO, 2012). Segundo Craesmeyer (2013), a equação de pseudo-segunda ordem descreve a quimissorção que envolve as forças de valência através do compartilhamento ou troca de elétrons entre o adsorvente e o adsorvato. As Eq. (3) e (4) são as principais, não-linear e linearizada, respectivamente (HO; MCKAY, 1999):

$$\frac{t}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e^2} + k_2 t \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Onde:

t = Tempo de equilíbrio (min);

q_e = Quantidade de adsorvato adsorvido no equilíbrio (mg g^{-1});

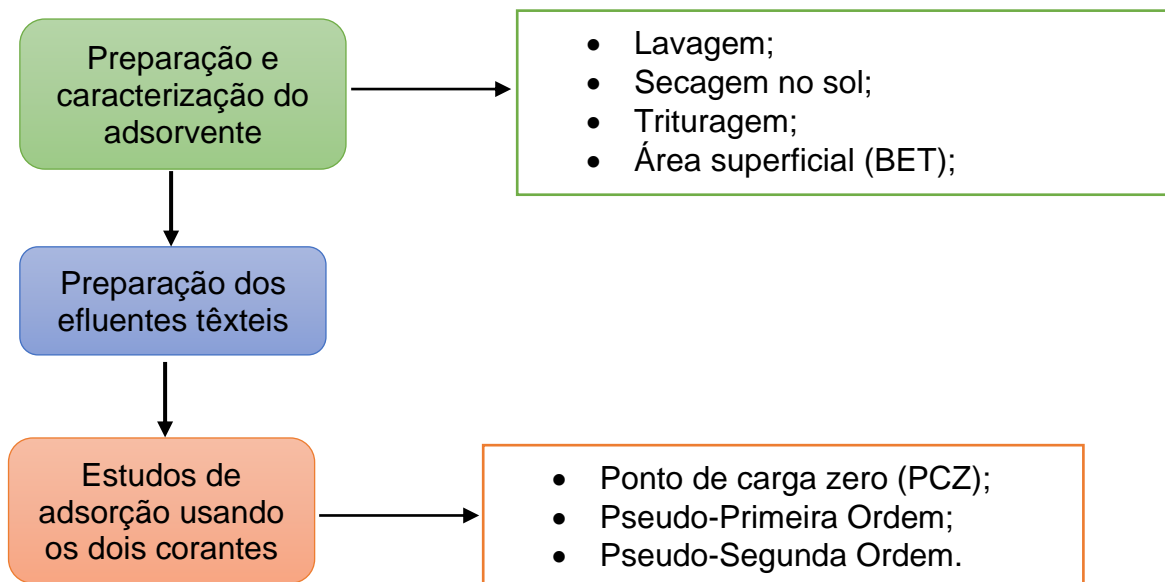
q_t = Quantidade de adsorvato removido no tempo t (mg g^{-1});

k_2 = Constante da taxa de adsorção de pseudo segunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo, serão apresentados os materiais, reagentes e equipamentos que foram empregados nesse trabalho, assim como a metodologia utilizada para realizar o estudo da adsorção dos corantes reativos Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150 e Bezaktiv Azul S-Matrix 150 na casca de aipim. A Fig. 2 apresenta o fluxograma do procedimento experimental que foi realizado.

Figura 2: Procedimento experimental.

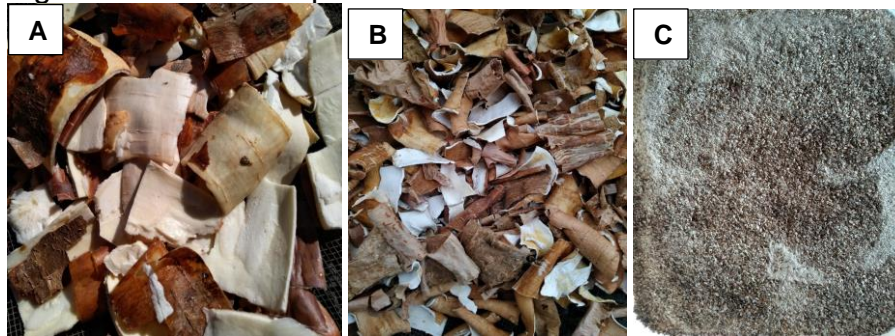


Fonte: Do autor (2021)

3.1 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

A casca de aipim que foi utilizada nos experimentos foi fornecida por uma agricultora, do município de Treviso, localizado no Estado de Santa Catarina. Inicialmente a casca de aipim foi lavada com água corrente para remoção de areia, restos de amido e detritos em geral (A), secas ao sol por 48 horas (B), trituradas em um triturador de milhos/grãos e peneiradas a fim de obter uma granulometria mais homogênea, assim como reduzir ao máximo a presença da parte mais escura da casca de aipim (C), conforme Fig. 3.

Figura 3: Casca de aipim.



Fonte: Do autor (2021)

A área superficial da casca de aipim foi determinada pelo método de BET (iniciais dos pesquisadores Brunauer, Emmett e Teller), que consiste na determinação da porosidade através da técnica de adsorção de nitrogênio em baixas temperaturas. Utilizou-se o equipamento da marca Quantachrome, modelo Quadrasorb Evo, com o software de processamento QuadraWin. O gás adsorvente utilizado foi o gás nitrogênio 5.0. Essa análise foi realizada pelo LACAMI (Laboratório de Caracterização Microestrutural), no CTSATC (Centro Tecnológico da Satc).

3.2 CARACTERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS EFLUENTES TÊXTEIS

Os corantes reativos utilizados foram o Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150 e o Bezaktiv Azul S-Matrix 150 que foram adquiridos de uma lavanderia localizada em Siderópolis-SC.

O efluente foi simulado em laboratório, apenas com água destilada e corante, a solução foi preparada na concentração de $0,4 \text{ g L}^{-1}$, (CASTRO, 2019; SILVA

2019). Para caracterizar os efluentes sintéticos, foram medidas a cor aparente, turbidez e absorvância através da utilização do espectrofotômetro UV/VIS modelo Spectroquant® Pharo 100. Também foi realizada a medição do pH, através de um pHmetro de bancada modelo Quimis®.

3.3 ESTUDOS DE ADSORÇÃO

Os ensaios de adsorção foram realizados no Laboratório de Fenômenos de Transferência e Operações Unitárias II, do Curso de Engenharia Química da UniSatc, no qual contém uma bancada de adsorção em batelada, balança analítica, pHmetro de bancada modelo Quimis® e um espectrofotômetro UV/VIS modelo Spectroquant® Pharo 100. E para a realização do processo de adsorção em batelada foi utilizado o banho termostático de bandeja agitada (tipo Dubnoff), para 10 erlenmeyers.

3.3.1 Ponto de carga zero

Para a determinação do ponto de carga zero foi realizado o método potenciométrico. O procedimento consistiu na análise de pH de 10 soluções de 50 ml de KCl 0,1 M, com pH inicial (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11) nos erlenmeyers, os pH foram ajustados com soluções de 0,1 M de HCl e 0,1 M de NaOH e acréscimo de 0,4 g do adsorvente, pelo período de 12 horas de contato. A determinação do pH foi pelo pHmetro modelo Quimis® (SILVA 2019; RIBEIRO, 2012).

3.3.2 Cinética de adsorção

No estudo da cinética de adsorção foram utilizadas soluções de corante com o pH determinado através do ponto de carga zero. Para a condução dos ensaios, foram adicionados 0,4 g de casca de aipim em 50 mL da solução dos corantes Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150 e Bezaktiv Azul S-Matrix 150, as amostras foram submetidas à agitação constante de 180 rpm e temperatura de 30 °C em intervalos de tempo de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340 e 360 minutos (SILVA, 2019; ALMEIDA, 2015).

Alíquotas das amostras foram coletadas nos intervalos de tempo pré-estabelecidos e as leituras realizadas em espectrofotômetro. Sendo possível construir

a curva cinética de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem para determinar parâmetros de equilíbrio (SILVA, 2019; ALMEIDA, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das etapas laboratoriais, foi possível analisar e interpretar os resultados obtidos, que são apresentados neste capítulo.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

A área superficial foi determinada pelo método (BET), e os resultados são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1: Dados da análise por BET.

Análise		Unidade
Área superficial - BET	1,430	$\text{m}^2 \text{g}^{-1}$
Volume total de poros	0,003405	$\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$
Raio médio de poros	47,6118	Å
Diâmetro médio dos poros	95,2236	Å

Fonte: Do autor (2021)

Observa-se que a área superficial específica da casca de aipim foi de $1,430 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ apresentando valores extremamente baixos como no caso de Mangottiri et al. (2016) que obtiveram uma área superficial de $0,0897 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ da casca de aipim, percebe-se que ocorre divergência entre os valores, mas é considerado válido pois a diferença da área superficial é pequena. Para Rabelo (2018) e Reis (2013), quando a área superficial é baixa significa que a proporção adsorvida é pequena e isso são características de materiais não porosos, valor esperado para materiais lignocelulósicos.

O diâmetro médio de poros apresentou um valor de $95,2236 \text{ Å}$, e segundo a IUPAC (1985), indica que a casca de aipim possui em sua maioria a presença de microporos, a qual considera microporos materiais com diâmetro inferior a 200 Å .

Conforme Rombaldo (2015) o volume total de poros para a fibra de juta *in natura* foi de $0,003 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$, caracterizando o material de baixa área superficial e volume de poros praticamente nulo.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES SINTÉTICOS

Fez-se a preparação dos efluentes sintéticos dos corantes Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150 e Bezaktiv Azul S-Matrix 150 com água destilada, conforme Fig. 4.

Figura 4: Efluentes têxteis.



Fonte: Do autor (2021)

Após a preparação dos efluentes, fez-se a caracterização dos efluentes sintéticos através do espectrofotômetro UV/VIS modelo Spectroquant® Pharo 100 e pHmetro modelo Quimis®, os resultados são descritos na Tab. 2.

Tabela 2: Resultados da caracterização dos efluentes.

CORANTE AZUL		CORANTE VERMELHO	
Padrão analisado	Resultado	Padrão analisado	Resultado
Cor	1230 Hazen	Cor	1105 Hazen
Absorbância	3,450	Absorbância	3,090
Turbidez	>100 Fau	Turbidez	>100 Fau
Absorbância	4,500	Absorbância	4,500
pH	6,35	pH	6,52

Fonte: Do autor (2021)

Segundo a Fundação Nacional da Saúde (FUNASA, 2014), a cor pode ser provocada por materiais dissolvidos, sendo considerada também a análise de partículas suspensas, sendo que varia de acordo com cada corante, como mostra a Tab. 2, que o corante vermelho possui a cor menor que do corante azul. Já a absorbância é a capacidade de absorver luz, e conforme a Tab. 2, quanto menor a cor, menor também será a absorbância, sendo que a primeira absorbância é

relacionada a cor e a segunda a turbidez.

4.3 ESTUDOS DE ADSORÇÃO

4.3.1 Ponto de Carga Zero (PCZ)

Na Fig. 5 observa-se a representação gráfica da variação do ΔpH em função do pH inicial para a determinação do PCZ da casca de aipim.

Figura 5: Resultados do Ponto de Carga Zero.



Fonte: Do autor (2021)

Através da análise do gráfico observa-se que o pH do ponto de carga zero é em torno de 4,2, sendo bem próximo do encontrado por Silva (2019), que foi de 5,0. Ainda de acordo com Silva, o valor encontrado corresponde a faixa de pH em que as cargas superficiais da casca de aipim são nulas. Abaixo desse valor o material apresenta carga superficial positiva favorecendo a adsorção de ânions e acima a superfície está carregada negativamente, o que favorece a adsorção de cátions.

4.3.2 Cinética de adsorção

Foram construídas as curvas analíticas dos corantes reativos Bezaktiv Vermelho S-Matrix 150 e Bezaktiv Azul S-Matrix 150, com o pH obtido no ponto de carga zero e no intervalo de concentração de 0,10 a 0,70 g L⁻¹. A medida da

absorbância utilizada foi realizada em um espectrofotômetro UV/VIS modelo Spectroquant® Pharo 100. As equações da reta obtidas e os seus respectivos coeficientes de determinação estão descritos na Tab. 3.

Tabela 3: Resultados das curvas.

Corante	Equação da Reta Linear	R ²
Vermelho	$y = 0,1496x - 0,0567$	0,9835
Azul	$y = 0,1387x - 0,0573$	0,9947

Fonte: Do autor (2021)

Após as curvas analíticas construídas, iniciou-se os testes de adsorção da casca de aipim para os corantes vermelho e azul que foram colocados no banho termostático, conforme Fig. 6.

Figura 6: Soluções no banho.



Fonte: Do autor (2021).

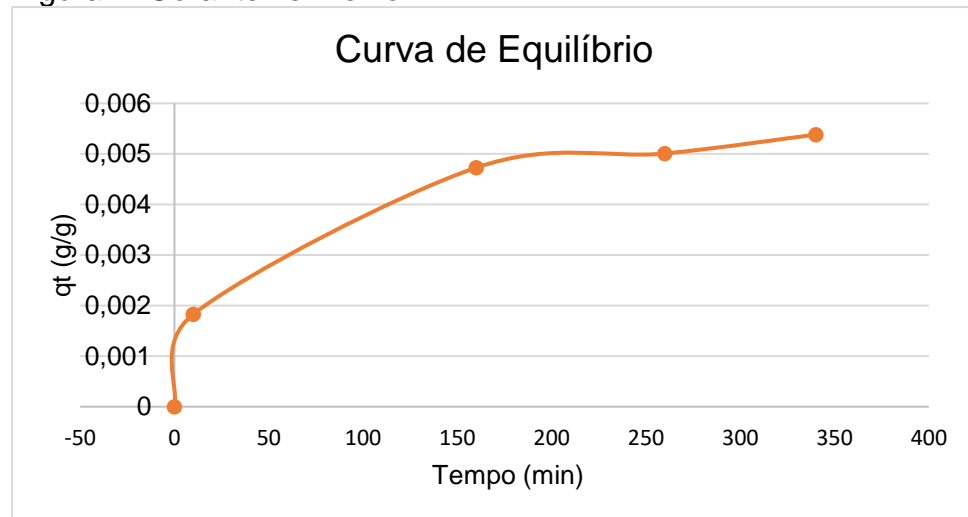
Cada alíquota dos corantes reativos com a casca de aipim foram retiradas nos tempos pré estabelecidos e construído gráficos para determinar seu equilíbrio conforme Fig. 7 e Fig. 8. Esses gráficos representam a cinética obtida em pH 4,2 (definido como ótimo para os ensaios de adsorção), em função do tempo de contato e das quantidades adsorvidas.

Na Fig. 7 observa-se que o tempo necessário para o sistema entrar em equilíbrio foi em torno de 250 minutos para o corante vermelho, já na Fig. 8 para o corante azul, percebe-se que não entrou em equilíbrio, como visto na Tab. 2, há uma grande diferença da cor do corante vermelho para o corante azul. Foi feito um estudo no qual foi utilizado um tempo maior que 350 minutos, mas mesmo assim não foi

atingido o equilíbrio.

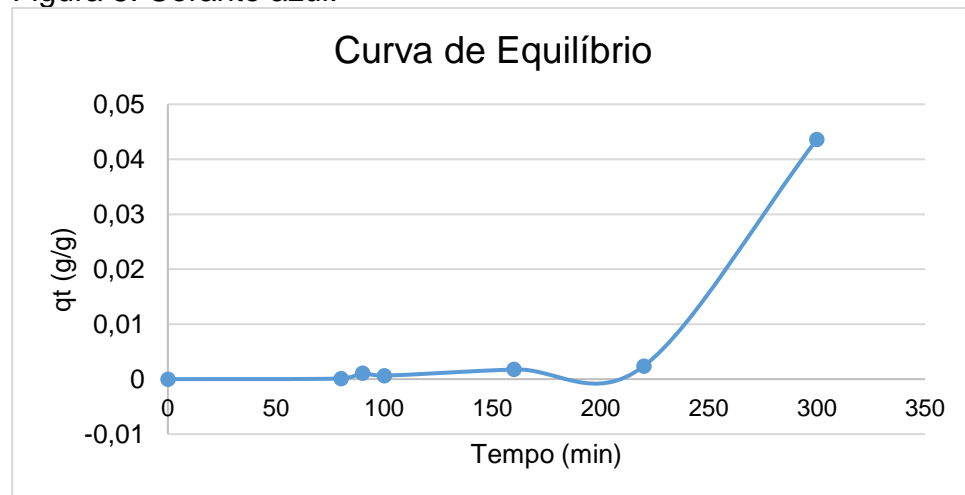
Além da determinação do tempo de equilíbrio para cada corante, fez-se ainda o estudo cinético, apenas para o corante vermelho, já que o azul não entrou em equilíbrio, obtendo-se as equações de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem com os resultados experimentais.

Figura 7: Corante vermelho.



Fonte: Do autor (2021)

Figura 8: Corante azul.

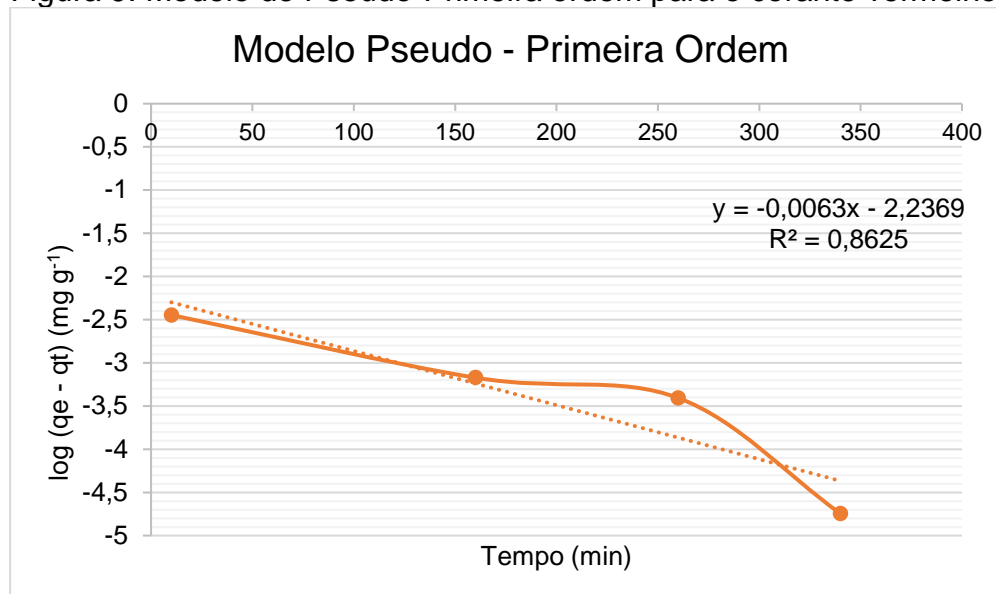


Fonte: Do autor (2021)

4.3.3 Pseudo-Primeira Ordem

A Fig. 9 apresenta o modelo de pseudo-primeira ordem que foi construído seguindo a Eq. (2).

Figura 9: Modelo de Pseudo-Primeira ordem para o corante vermelho.



Fonte: Do autor (2021)

A Tab. 4 apresenta os parâmetros referentes ao modelo cinético de pseudo-primeira ordem, tais como: concentração inicial (C_i), quantidade adsorvida (q_e), quantidade adsorvida experimentalmente (q_{exp}), constante da velocidade (k_1) e coeficiente de determinação linear (R^2).

Tabela 4: Parâmetros do corante vermelho.

C_i (g L ⁻¹)	q_e (g g ⁻¹)	q_{exp} (g g ⁻¹)	k_1 (g g ⁻¹ .min ⁻¹)	(R^2)
0,4	0,005795621	0,005400000	0,01360424	0,8625

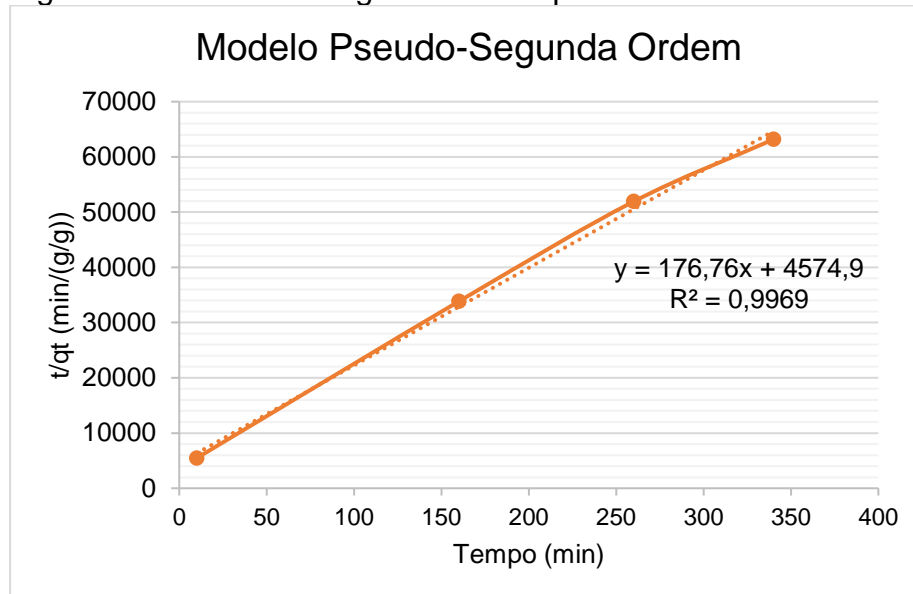
Fonte: Do autor (2021)

Os dados experimentais do corante vermelho para a casca de aipim não apresentaram um bom ajuste ao modelo de pseudo-primeira ordem, verificado por seu coeficiente de correlação (R^2) que não se aproximou da unidade.

4.3.4 Pseudo-Segunda Ordem

A Fig. 10 apresenta o modelo de pseudo-segunda ordem que foi elaborado seguindo a Eq. (4).

Figura 10: Modelo de segunda ordem para o corante vermelho.



Fonte: Do autor (2021)

A Tab. 5 apresenta os parâmetros referentes ao modelo cinético de segunda ordem, tais como: concentração inicial (C_i), quantidade adsorvida (q_e), quantidade adsorvida experimentalmente (q_{exp}), constante da velocidade (k_2) e coeficiente de determinação linear (R^2).

Tabela 5: Parâmetros do corante vermelho.

C_i (g L ⁻¹)	q_e (g g ⁻¹)	q_{exp} (g g ⁻¹)	k_2 (g g ⁻¹ .min ⁻¹)	(R^2)
0,4	0,005586849	0,005400000	0,039153413	0,9969

Fonte: Do autor (2021)

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que o corante vermelho no modelo de pseudo-segunda ordem apresentou resultados melhores quando comparado ao modelo de pseudo-primeira ordem, assim como forneceu o melhor coeficiente de correlação linear (R^2), que se aproximou muito de 1. Observa-se também uma proximidade maior da quantidade adsorvida experimentalmente (q_{exp}) com o q_e obtido no modelo de pseudo-segunda ordem, indicando que houve uma melhor adequação deste modelo aos dados obtidos, tornando-o o melhor ajuste (NASCIMENTO, 2014).

Em outros trabalhos, com adsorventes diferentes, para corante reativo o modelo de pseudo-segunda ordem também foi o que melhor se ajustou. Para o adsorvente da casca de coco, na remoção de azul reativo 19, o modelo que melhor

se adequou foi o de pseudo-segunda ordem (ISAH et al., 2015). Já para o estudo realizado por Malakootian e Heidari (2018), com pó de semente de erva *Plantago Ovata (psyllium)* na remoção do corante laranja reativo 16 com eficiência de remoção de 94% o melhor modelo que se ajustou foi o de pseudo-segunda ordem. Sendo possível constatar um bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

5 CONCLUSÕES

Devido a grande quantidade de efluentes gerados pelas indústrias têxteis buscou-se desenvolver uma alternativa para a utilização de adsorventes naturais ao invés dos sintéticos. Com a utilização do processo em batelada e dois corantes reativos observou-se o comportamento da casca de aipim quando em contato com as soluções simuladas.

Em relação a área superficial (BET), foi de $1,430 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, esse valor baixo significa que a proporção adsorvida é pequena e isso são características de materiais não porosos, valor esperado para materiais lignocelulósicos. Já o Ponto de Carga Zero encontrado foi de aproximadamente 4,2 indicando que nesse valor de pH as superfícies estão nulas.

O tempo para atingir o equilíbrio de adsorção do sistema estudado foi de 250 minutos para o corante vermelho, já que para o azul não foi possível atingir o equilíbrio. Para trabalhos futuros sugere-se que use uma concentração menor do corante azul para a realização dos testes, ou que sejam realizados outros testes, como por exemplo utilizando refrigeração, no qual consiste em adicionar o adsorvente na solução de corante e deixar na geladeira por 24 h, após isso retirar alíquotas e realizar as leituras em espectrofotômetro. Além disso, pode-se utilizar outras cores de corantes reativos, como o amarelo e o laranja.

Observou-se que o corante vermelho no modelo de pseudo-segunda ordem apresentou resultados melhores quando comparados ao modelo de pseudo-primeira ordem. Isso significa que a velocidade de remoção do adsorvato em relação ao tempo é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos do sólido.

A utilização da casca de aipim como adsorvente mostrou-se satisfatória para o corante vermelho, além de ser de fácil obtenção e economicamente viável.

Ocorreu uma pequena quantidade de adsorção, com isso mais testes devem ser realizados considerando mais variáveis e uma possível associação de dois ou mais adsorventes ou processos.

REFERÊNCIAS

ABIT, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. **Dados do setor têxtil: 2020**. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

ALMEIDA, Érica Janaina Rodrigues de; DILARRI, Guilherme; CORSO, Carlos Renato. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**, 2016. Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida 24 A, nº 1515, 13506-900, Rio Claro - SP. Disponível em: <<https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/01-a-industria-textil-no-brasil-uma-revisao-dos-seus-impactos-ambientais-e-possiveis-tratamentos-para-os-seus-efluentes.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ALMEIDA, Lariana Negrão Beraldo de. **Remoção do corante amarelo reativo b2r utilizando bagaço de cana-de-açúcar**, 2015. 65 f. TCC (Trabalho e Conclusão de Curso em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7443/1/PG_COENQ_2015_1_01.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2021.

CARDOSO, Natali Farias; LIMA, Eder Cláudio; PINTO, Isis Saraiva; AMAVISCA, Camila Volff; ROYER, Betina; PINTO, Rodrigo Barbosa; ALENCAR, Wagner Soares de; PEREIRA, Simone de Fátima Pinheiro. "Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution", **Journal of Environmental Management**, v. 92, pp. 1237-1247, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710004512>>. Acesso em: 21 mar. 2021.

CASTRO, Valéria Dos Santos. **Remoção de corante amarelo crepúsculo utilizando casca de arroz tratada como adsorvente**. 2019. 47f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão. 2019. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6717>>. Acesso em: 08 mai. 2021.

CHT – Brasil Química LTDA. Ficha de informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. BEZAKTIV AZUL S-MATRIX 150. 2018a.

CHT – Brasil Química LTDA. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico- FISPQ. BEZAKTIV VERMELHO S-MATRIX 150. 2018b.

CRAESMEYER, Gabriel Ramos. **Tratamento de efluente contendo urânio com zeólita magnética**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Gabriel%20Ramos%20Craesmeyer_M.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2021.

FUNASA, Fundação Nacional da Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs. 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 13 set. 2021.

HO, Yuh Shan; MCKAY, Gordon. A kinetic study of dye sorption by biosorbent waste product pith. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 25, p. 171-193, mar. 1999. Disponível em: <[https://sci-hub.se/10.1016/s0921-3449\(98\)00053-6](https://sci-hub.se/10.1016/s0921-3449(98)00053-6)>. Acesso em: 18 abr. 2021.

IUPAC (International Union of Pure and Chemistry). Reporting Physisorption data for gas solid systems with special reference to the determination of surface-area and porosity (recommendations 1984). **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619. 1985. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac198557040603/html>>. Acesso em: 01 out. 2021.

ISAH, Umar; ABDULRAHEEM, Giwa; BALA, Salisu; MUHAMMAD, Sallahudeen; ABDULLAHI, Mustapha. Estudos de cinética, equilíbrio e termodinâmica da adsorção do corante CI Reactive Blue 19 em carvão ativado à base de casca de coco. **Biodeterioração e biodegradação internacional**. v. 102, p. 265-273, ago. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830515001213>>. Acesso em: 14 set. 2021.

LESSA, Raquel Studart de Farias. **Remoção de corantes azos aniônicos por adsorção em sílica gel funcionalizada com 3- aminopropiltriétoxissilano**. 2018. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/34464/5/2018_tese_rsfllessa.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2021.

MALAKOOTIAN, Mohammad; HEIDARI, Mohammad Reza; Reactive orange 16 dye adsorption from aqueous solutions by psyllium seed powder as a low-cost biosorbent: kinetic and equilibrium studies. **Applied Water Science**. p. 1-9, out, 2018. Disponível em: <<https://d-nb.info/1174621699/34>>. Acesso em: 14 set. 2021.

MANGOTTIRI, Vasudevan; AJITHKUMAR, P. S; SINGH, R. P; NARAYANAN, Natarajan. “Mass transfer kinetics using two-site interface model for removal of Cr (VI) from aqueous solution with cassava peel and rubber tree bark as adsorbents.” *Environmental Engineering Research*, 21(2), 152–163. column using immobilized cassava peel waste biomass.” **Journal of industrial and Engineering Chemistry**,

v. 21, p. 635-643, fev. 2016. Disponível em: <<https://www.eeer.org/journal/view.php?number=772>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

MATOS, Tassya Thaiza da Silva; JESUS, Amanda Maria Dantas de; ARAÚJO, Bruno Rafael; ROMÃO, Luciana Pimenta Cruz; SANTOS, Luana Oliveira dos; SANTOS, Jandyson Machado. Application of Industrial Byproducts Removal of Dyes Reactive Textile. **Revista Virtual Química**, v. 5, p. 840–852, 2013. Disponível em: <<http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v5n5a06.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

MEDEIROS, Janaína Fernandes; BERNI, Jéssica Violin; DIÓRIO, Alexandre; SARAIVA, Allan Cavke Bergamaschi; GOMES, Maria Carolina Sérgio; PEREIRA, Nehemias Curvelo. Remoção de cor da glicerina bruta por adsorção em carvão ativado vegetal. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 2, p.440-454, mar. 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/65658>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

MELO, Diego de Quadros. **Remoção de Cu²⁺, Cd²⁺ e Zn²⁺ utilizando esferas de sílica funcionalizadas com EDTA: Estudo em batelada e coluna**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/11138>>. Acesso em: 11 abr. 2021.

MENEZES, Douglas Rodrigues Melo de. **Composição e parâmetros fermentativos da silagem da parte aérea da mandioca com adição de casca ou raiz**. 2011. 44 f. Dissertação (Mestrado em Curso de Zootecnia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1137/1/Composi%c3%a7%c3%a3o%20e%20par%c3%a2metros%20fermentativos%20da%20silagem%20da%20parte%20a%c3%a9rea%20da%20mandioca%20com%20adi%c3%a7%c3%a3o%20de%20casca%20e%20raiz.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

MOKHTAR, Nadiah; AZIZ, Edriyana Abd; ARIS, Azmi; ISHAK, Wan Mohd Faizal Wan; ALI, Noor Sadih Mohd; Biosorption of azo-dye using marine macro-alga of *Eucheuma Spinosum*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**; v. 5, n. 6, p. 5721-5731; 2017. Disponível em: <<https://sci-hub.se/10.1016/j.jece.2017.10.043>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; LIMA, Ari Clecius Alves de; VIDAL, Carla Bastos; MELO, Diego de Quadros; RAULINO, Giselle Santiago Cabral. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: UFC. 2014. 258 pp. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2021.

NETO, Armando Almeida dos Santos; Nascimento, Victor R. S.; FIGUEIREDO, Renan T.; ALSINA, Odélsia Leonor Sanchez. Avaliação da casca de mandioca como adsorvente de baixo custo para adsorção de corante: caracterização e cinética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 39, 2019, Pará. **ENEMP**. Pará: Universidade Federal do Pará, 2019. p. 5. Disponível em: <

<https://proceedings.science/enemp-2019/papers/avaliacao-da-casca-de-mandioca-como-adsorvente-de-baixo-custo-para-adsorcao-de-corante--caracterizacao-e-cinetica>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

NUNES, Amisson dos Santos. **Produção de adsorventes a partir da casca de amendoim visando a aplicação na remoção de corantes orgânicos**. 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga, 2014. Disponível em: <<http://www2.uesb.br/ppg/ppgca/wp-content/uploads/2017/11/PRODU%C3%87%C3%83O-DE-ADSORVENTES-A-PARTIR-DA-CASCA-DE-AMENDOIM-VISANDO-A-APLICA%C3%87%C3%83O-NA-REMO%C3%87%C3%83O-DE-CORANTES-.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2021.

OLIVEIRA, Clélia Aparecida da Silva, **Tratamento de corante têxtil por eletrólise, fotólise e fotocátalise utilizando LED UV**, 2013. 96f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Estadual de Campinas -Unicamp, Limeira, 2013. Disponível em:<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267750/1/Oliveira_CleliaAparecidaSilva_M.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

PEIXOTO, Thamires da Silva; RESCH, Sibelly. Resíduos de mandioca: um estudo sobre a destinação da massa de mandioca pelas fecularias brasileiras. **II Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)**, 2018, Naviraí-MS: Campo Grande, v. 2. p. 1-20, nov. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/view/7327/pdf_98>. Acesso em: 04 abr. 2021.

PEREIRA, Vanessa Carvalho; NASCIMENTO, Patricia Micaelle Klack de Brito do; NUNES, Chalder Nogueira; GIMENES, Marcelino Luiz; CORDEIRO, Patricia Hissae Yassue; LIMA, Liliane da Silva de; QUINÁIAA, Sueli Pércio. Remoção de alprazolam em águas contaminadas: avaliação de adsorventes alternativos. **Revista Virtual de Química**, Guarapuava, v. 11, n. 3, p. 893-908, maio. 2019. Disponível em: <<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v11n3a21.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

RABELO, Joseane. **Estudo da macrófita Typha sp como material adsorvente na remoção das espécies metálicas Cd (II), Cu (II), Cr (III) e Zn (II) em meio aquoso**. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/154887/rabelo_j_me_araiq_int.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 17 set. 2021.

REIS, Danielle Cristina Neves da Silveira Pessôa. **Importância do estudo da área superficial específica e porosidade do estearato de magnésio para o setor farmacêutico**. 2013. 71 f. TCC (Trabalho e Conclusão de Curso em Farmácia) - Instituto de Tecnologia de Fármacos, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/7720/2/25.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2021.

RIBEIRO, Geyse Adriana Corrêa. **Remoção dos corantes têxteis violeta brilhante remazol e turquesa remazol por adsorção em casca de arroz**. 2012.110 f.

Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2012. Disponível em:
<file:///C:/Users/locat/Downloads/Dissertacao%20Geyse25052012.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2021.

ROCHA, Otidene Rossiter Sá da; NASCIMENTO, Grazielle Elisandra do; CAMPOS, Natália Ferreira; SILVA, Valdinete Lins da; DUARTE, Marta Maria Menezes Bezerra. Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. **Química Nova**. vol.35 no.7 São Paulo, 2012. Disponível em:
<https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422012000700016>. Acesso em: 20 mar. 2021.

RODRIGUES FILHO, Geraldo Martins. **Adsorção do corante amarelo reativo BF4G 200% por argila esmectita**. 2012. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em:
<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15835/1/GeraldoMRF_TESE.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ROMBALDO, Carla Fabiana Scatolim. **Fibras naturais como matéria-prima para a produção de carvão ativado**. 2015. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de São Paulo, Campinas, 2015. Disponível em:
<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266024>. Acesso em: 12 out. 2021.

SCHWANTES, Daniel; JR, Affonso Celso Gonçalves; MIOLA, Alisson Junior; COELHO, Gustavo Ferreira; SANTOS, Marcelo Gonçalves dos; LEISMANN, Eduardo Ariel Volz. Removal of Cu (II) and Zn (II) from water with natural adsorbents from cassava agroindustry residues. **Acta Scientiarum technology**, v. 37, p. 409, 2015. Disponível em:
<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/26809/pdf_106>. Acesso em: 04 abr. 2021.

SILVA, Andrea Claudia Oliveira. **Estudo de adsorção do Corante Reativo Laranja 16 com Quitosana e seus Derivados**. 2017. 166 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017. Disponível em:
<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1536/1/Estudo%20de%20adsor%C3%A7%C3%A3o%20do%20corante%20reativo%20laranja%2016%20com%20quitosana%20e%20seus%20derivados.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SILVA, Bruna Cassia da. **Avaliação do Bagaço de Malte como biossorvente do corante amarelo reativo B2R**. 2016. 84 f. TCC (Trabalho e Conclusão de Curso em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016. Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7452/1/PG_COENQ_2016_2_01.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2021.

SILVA, Simone Keily Costa. **Remoção do corante têxtil c.i. reactive blue 203 utilizando casca de manihot esculenta crantz como adsorvente**. 2019. 80 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5349/1/SimoneKCS_DISSERT.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SIVAMANI, Selvaraju; BASKAR, Rajoo. Optimization of bioethanol production from cassava peel using statistical experimental design. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 34, n. 2, p.567-574, abr. 2014. Disponível em: <<https://sci-hub.se/10.1002/ep.11984>>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SIVAMANI, Selvaraju; CHANDRASEKARAN, Arun Padian; BALAJII, Muthusamy; SHANMUGAPRAKASH, Muthusamy; BANDEGHARAEI, Ahmad Hosseini; BASKAR, Rajoo. Evaluation of the potential of cassava-based residues for biofuels production. **Reviews In Environmental Science and Bio/technology**, v. 17, n. 3, p.553-570, jul. 2018. Disponível em: <<https://sci-hub.se/10.1007/s11157-018-9475-0>>. Acesso em: 05 abr. 2021.

TEMESGEN, Fikiru; GABBIYE, Nigus; SAHU, Omprakash; Biosorption of reactive red dye (RRD) on activated surface of banana and orange peels: Economical alternative for textile effluent. **Surfaces and Interfaces**. v. 12; p. 151–159; 2018. Disponível em: <<https://scihub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S246802301830021X>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ZANUTTO, Adriane. **Avaliação do Bagaço de Malte como biossorvente do corante amarelo reafix B2R**. 2016. 84 f. TCC (Trabalho e Conclusão de Curso em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7452/1/PG_COENQ_2016_2_01.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus pela saúde concedida, por me guiar e iluminar nessa jornada, aos meus pais e amigos pelo apoio nas horas mais difíceis e por não medirem esforços em me ajudar. Agradeço à minha orientadora Professora Doutora Aline Resmini Melo pela amizade, ensinamentos, dedicação e confiança em mim depositada durante todo o desenvolvimento deste projeto e por fim a UniSatc, por disponibilizar os laboratórios para que fosse possível a realização desse trabalho.