

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
ENGENHARIA AMBIENTAL

FABIANA THAIS RODRIGUES DE MORAIS FÉLIX

**ANALISAR A CAPACIDADE ADSORTIVA DA ALGAROBA (*Prosopis Juliflora*) NA  
REMOÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO**

POMBAL - PB

2019

FABIANA THAIS RODRIGUES DE MORAIS FÉLIX

**ANALISAR A CAPACIDADE ADSORTIVA DA ALGAROBA (*Prosopis Juliflora*) NA  
REMOÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título Bacharel em Engenharia Ambiental.

POMBAL - PB  
2019

F316a Félix, Fabiana Thais Rodrigues de Morais.  
Analisar a capacidade adsorptiva da algaroba (*Prosopis Juliflora*) na  
remoção do corante azul de metileno / Fabiana Thais Rodrigues de  
Morais Félix. – Pombal, 2019.  
65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia  
Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de  
Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.

"Orientação: Profa. Dra. Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira".  
Referências.

1. Tratamento de efluentes. 2. Química Ambiental. 3. Indústria. 4.  
Adsorvente. I. Oliveira, Andréa Maria Brandão Mendes de. II. Título.

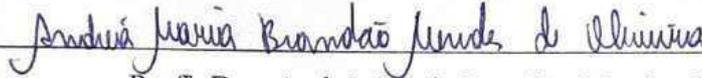
CDU 628.3(043)

FABIANA THAIS RODRIGUES DE MORAIS FÉLIX

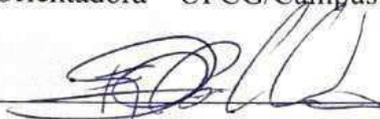
ANALISAR A CAPACIDADE ADSORTIVA DA ALGAROBA (*PROSOPIS  
JULIFLORA*) NA REMOÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO

Aprovado em 28 / 11 / 2019

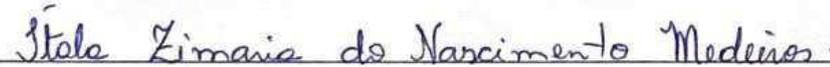
BANCA EXAMINADORA



Prof.<sup>a</sup>. Dra. Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira  
Orientadora – UFCG/Campus de Pombal – PB



Msc. Luiz Fernando de Oliveira Coelho  
Examinadora Interna – UFCG/Campus de Pombal - PB



Ítala Zimaria do Nascimento Medeiros  
Examinadora Externa – PPGE/UFCEG/Campus de Campina Grande - PB

Pombal – PB

Novembro 2019

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço em primeiro lugar a Deus, pelo dom da vida e todo o discernimento necessário para que eu pudesse chegar até aqui e por ser o meu porto seguro em todos os momentos de segurança e insegurança.*

*Aos meus pais, Francisca Rodrigues e Antônio Félix por não medir esforços para a minha formação, pela educação excelente, por me apoiar nas decisões mais difíceis e não me deixar esmorecer a cada obstáculo.*

*Ao meu irmão Fabiano Rodrigues, por todo o apoio fornecido durante a minha formação humana e acadêmica. Da mesma maneira, agradeço a todos os familiares que fizeram parte da realização desse sonho.*

*A minha orientadora Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira e ao técnico do Laboratório de Água, Luiz Fernando de Oliveira Coelho, por todo o conhecimento compartilhado e apoio durante essa caminhada, por toda a preocupação dentro e fora da universidade, vocês foram essenciais nesta reta final, muito obrigada por tudo.*

*As valiosas amigas que tive o prazer de construir, Katiane Araújo, Viviane Araújo, Joadir Damasceno, Gustavo Henrique, Gustavo Dantas, Paulo Emanuel, Makaline Rodrigues, muito obrigada por todo o carinho, preocupação, apoio, conselhos e por se manterem presentes na minha vida, vocês contribuíram significativamente para minha formação acadêmica e foram fundamentais para a realização desse sonho.*

*A todas as minhas amigas que me apoiaram durante essa caminhada, em especial a Beatriz Rabello, Priscila Lima, Hévila Gomes e Herika Gomes, agradeço principalmente a paciência, por não me deixar desistir nunca e as experiências adquiridas.*

*Por fim, agradeço ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar e a Universidade Federal de Campina Grande pela experiência como um todo.*

*A todos aqueles que influenciaram nesta caminhada. Meus sinceros agradecimentos.*

## RESUMO

Os problemas ambientais tornaram-se cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao aumento da atividade industrial que usam muita água e corantes para colorir seus produtos. Esses efluentes têxteis que são introduzidos em um curso de água são exemplos de impurezas que são caracterizadas por uma tonalidade de cor. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de remoção de Azul de Metileno de efluente por meio de adsorção em carvão ativado de Algaroba. Foi realizado a preparação e ativação do carvão vegetal, posteriormente obteve-se a caracterização do adsorvente, utilizando análises como MEV, DRX e FTIR e a determinação do tempo de equilíbrio. Por fim, verificou-se a influência da temperatura e do pH e analisou o pHPCZ. A maior taxa de remoção do corante aconteceu nos primeiros 10 minutos. Conclui-se que o adsorvente carvão de Algaroba foi eficiente na remoção do corante Azul de Metileno, apresentando boa capacidade de adsorção.

**Palavras-chave:** Tratamento de efluentes, Química Ambiental, Indústria.

## ABSTRACT

Environmental problems have become increasingly critical and frequent, mainly due to increased industrial activity that use a lot of water and dyes to color their products. These textile effluents that are introduced into a watercourse are examples of impurities that are characterized by a shade of color. Therefore, the present work aims to evaluate the efficiency of removal of methylene blue from effluent by means of adsorption on Algaroba activated carbon. The charcoal preparation and activation was performed, and the adsorbent characterization was then obtained, using analyzes such as SEM, XRD and FTIR and the determination of the equilibrium time. Finally, the influence of temperature and pH was verified and the pHPZ was analyzed. The highest dye removal rate occurred in the first 10 minutes. It was concluded that the adsorbent charcoal of Algaroba was efficient in removing the methylene blue dye, presenting good adsorption capacity.

**Keywords:** Wastewater Treatment, Environmental Chemistry, Industry..

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do Azul de Metileno .....	14
Figura 2 - Morfologia a partir da técnica de MEV com ampliação de 500 x para (a) carvão <i>in natura</i> , (b) carvão ativado .....	25
Figura 3 – Análise de DRX para: (a) algaroba não ativado e (b) algaroba ativado ...	25
Figura 4 – A técnica de FTIR para (a) algaroba não ativado, (b) algaroba ativado...	26
Figura 5 – Comparação da remoção da solução AM, em diferentes tipos de carvões e tempos de contato .....	26
Figura 6 - Comparação visual da remoção da solução AM, em diferentes tipos de carvões e tempos de contato para (a) CAQF e (b) CAQ. ....	27
Figura 7 - Comparação da remoção da solução AM, em diferentes tipos de carvões e temperaturas de contato .....	27
Figura 8 - Comparação da remoção da solução AM, em diferentes tipos de carvões e pH de contato .....	28
Figura 9 – pH <sub>pcz</sub> . ....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e limitações das distintas formas de carvão ativado no tratamento de água.....	17
Tabela 2 – Modelos cinéticos. ....	18

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM. Azul de metileno

CAG. Carvão ativado com granulometria

CAP. Carvão ativado em forma de pó

CAQ. Carvão ativado quimicamente

CAQF. Carvão ativado quimicamente e fisicamente

MEV. Microscopia eletrônica de varredura

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	13
2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	13
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1 <i>Poluição hídrica</i> .....	13
3.1.1 <i>Azul de metileno</i> .....	Error! Bookmark not defined.
3.1.2 <i>Legislação pertinente</i> .....	Error! Bookmark not defined.
3.2 <i>Tratamento Convencional e Alternativo de água</i> .....	14
3.2.1 <i>Tratamento Convencional</i> .....	15
3.3.2 <i>Alternativas de tratamento de água</i> .....	15
3.3 <i>Processo de Adsorção</i> .....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1 <i>Adsorção</i> .....	Error! Bookmark not defined.
3.4 <i>Cinética de adsorção</i> .....	17
3.5 <i>Isotermas de adsorção</i> .....	18
3.5.1 <i>Isoterma de Langmuir</i> .....	18
3.5.2 <i>Isoterma de Freundlich</i> .....	19
3.6 <i>Carvão vegetal como adsorvente</i> .....	19
3.6.1 <i>Carvão vegetal</i> .....	Error! Bookmark not defined.
3.6.2 <i>Carvão ativado</i> .....	Error! Bookmark not defined.
3.7 <i>Utilização da algaroba como biossorvente</i> .....	Error! Bookmark not defined.
4 METODOLOGIA.....	22
4.1 <i>Preparo do biossorvente – carvão vegetal</i> .....	22
4.2 <i>Ativação do carvão vegetal</i> .....	22
4.3 <i>Caracterização do adsorvente</i> .....	22
4.4 <i>Curva de calibração do azul de metileno</i> .....	23
4.5 <i>Determinação do tempo equilíbrio</i> .....	23
4.6 <i>Influência da temperatura</i> .....	23
4.7 <i>Influência do pH</i> .....	24
4.8 <i>Análise de pHPCZ</i> .....	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1 <i>Caracterização do adsorvente</i> .....	24
5.2 <i>Ensaio de adsorção</i> .....	26

<b>5.2.1 Isoterma de equilíbrio.....</b>	<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>26</b>
<b>5.2.2 Influência de Temperatura .....</b>		<b>27</b>
<b>5.2.3 Influência do pH.....</b>		<b>28</b>
<b>5.2.4 Ponto de carga zero (pHPCZ) e influência do pH.....</b>		<b>28</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>		<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os problemas ambientais tornaram-se cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao crescimento excessivo da população e ao aumento da atividade industrial. Nesse sentido, deve-se prestar atenção especial à contaminação das águas naturais, que no passado serviram como um desaguadouro para uma variedade de resíduos domésticos e industriais (HASSEMER *et al.*, 2012). A contaminação de um curso de água nem sempre é facilmente detectável, pois a maioria dos contaminantes não possuem evidências visualmente identificáveis. A cor é o parâmetro que mais chama a atenção pelo seu impacto visual e facilita a detecção de impurezas (COSTA; FURMANSKI; DOMINGUINI, 2015).

A indústria têxtil usa muita água e corantes para colorir seus produtos, esses efluentes têxteis que são introduzidos em um curso de água são exemplos de impurezas que são caracterizadas por uma tonalidade de cor. É difícil remover essas impurezas devido à sua complexa estrutura aromática e sua origem sintética, muitas das quais são conhecidas por serem tóxicas ou cancerígenas. A presença dessas substâncias impede a realização da fotossíntese pelas plantas aquáticas, o que leva a sérios problemas para esses ecossistemas. Portanto, deve-se evitar que ele atinja os recursos hídricos e utilizar de tecnologias que possam reduzir parcial ou completamente a poluição das fontes de água por meios físicos, químicos e / ou biológicos (MERCADO *et al.*, 2012; CHAPARRO; CABANZO; OSPINO, 2013).

Existem inúmeras referências expondo tecnologia de tratamento de água para a remoção de corantes, como o Azul de metileno (AM), na água desde técnicas físicas até biológicas. Têm sido investigadas, principalmente processos como precipitação, troca iônica, coagulação, osmose reversa e principalmente adsorção em consequência da sua eficiência com a remoção. Porém, um fator a ser considerado é a escala dos estudos e a reprodutibilidade dos mesmos em escala real, tendo em vista que muitos apesar de eficientes ainda são onerosos e por esse motivo, inviáveis. (ARAÚJO *et al.*, 2013).

Estudos com carvão ativado em pó ou granulado foram iniciados a partir da segunda metade da década de 1990, na qual houveram avanços na pesquisa na remoção de contaminantes trazendo diversos benefícios, sendo o tamanho da molécula, volume e distribuição dos poros do carvão como os principais fatores na eficiência da adsorção, o granulado tem maiores vantagens como fácil regeneração,

não formação de lodo, recomendado na presença constante dos contaminantes, e como única desvantagem tem o custo mais elevado inicialmente em comparação com o pulverizado.

O carvão vegetal é um importante subproduto da madeira obtido através de um processo conhecido como Pirólise. O tipo de madeira tem forte influência na qualidade e nas propriedades que mais se desejam no carvão de acordo com seu destino, seja ele industrial, doméstico ou comercial (FROEHLICH; MOURA, 2014). O processo de ativação do carvão pode ser químico ou físico, no qual interfere diretamente em suas características, como tamanho dos poros e a extensão da superfície do adsorvente, podendo ou não fornecer uma superfície redutora ou oxidante. Essas características proporcionam excelente poder de adsorção em compostos orgânicos, com uso para retirar contaminações presentes tanto na fase líquida quanto gasosa. A capacidade na remoção de contaminantes decorre de fatores como a matéria-prima do carvão, os modos da ativação, características do composto a ser adsorvido e as variáveis físico-químicas do meio (ALBUQUERQUE *et al.*, 2016).

A algaroba (*Prosopis juliflora*) é uma espécie vegetal abundante pertencente à família das leguminosas, não oleosa e nativa das regiões áridas da América, particularmente em áreas áridas e semi-áridas. A Algarobeira foi utilizada como alternativa para solucionar os principais problemas dessa macrorregião. Como a rápida destruição de espécies nativas de caatinga e a escassez de ração animal nos meses secos do ano, esta espécie de planta se destacou por serem utilizadas para diversos fins (madeira, carvão vegetal, melão, alimento humano etc.) apresentando valor cultural, econômico e social. A rápida disseminação da Algarobeira tornou esta planta exótica invasiva em muitas áreas e provoca um desequilíbrio no ecossistema. (OLIVEIRA, 2011; GENTIL *et al.*, 2018)

O carvão vegetal utilizando algaroba como matéria-prima foi recentemente considerado como adsorvente, oferecendo potencial excelente na remoção de metais pesados, por exemplo a prata, em águas residuais (GENTIL; MENDES, 2018). Diante disto, a presente pesquisa tem como objetivo investigar a aplicação da madeira da algaroba como material adsorvente para remediação do corante Azul de Metileno em águas para abastecimento público e a influência da concentração do adsorvente, do tempo e pH na adsorção.

## **2. OBJETIVOS**

## 2.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência de remoção de Azul de Metileno de efluente por meio de adsorção em carvão ativado de Algaroba.

## 2.2 Objetivos específicos

- Preparar e caracterizar o adsorvente;
- Modificação química e física do adsorvente;
- Relacionar as características morfológicas do material adsorvente com a taxa de retenção do corante Azul de Metileno.

## 3. REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 Corante azul de metileno na água

Cerca de 15% da poluição hídrica causada pelo lançamento de efluentes são pelas indústrias têxteis. A maioria desses efluentes descartados estão contaminados com os corantes utilizados no processo produtivo que não foram fixados à fibra. Esse problema se agrava devido aos descartes serem feitos sem um tratamento prévio e em corpos hídricos responsáveis pelo abastecimento de água dos municípios, gerando graves problemas de qualidade da água para abastecimento e elevando o custo de tratamento para a empresa de água e saneamento (SANTOS, 2019; VIANA *et al.*, 2018).

De acordo com a resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é determinado que “não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processos de coagulação, sedimentação e filtração convencionais “. Já na resolução nº 430/2011 que complementa e altera a resolução nº 357/2005, estabelecendo os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos brasileiros, não possui valores máximos para o parâmetro de cor, porém em seu artigo 8º, deixa claro que “nos efluentes é vedado a presença de poluentes orgânicos persistentes (POP's)”.

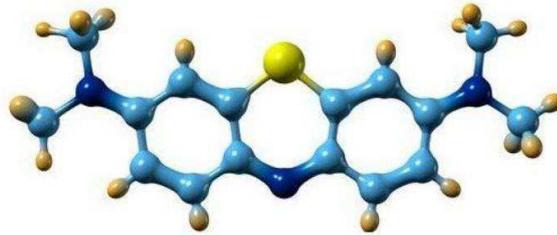
Dentro da extensão de corantes utilizados, encontra – se o Azul de Metileno, amplamente empregado na indústria, desde o tingimento do algodão, lãs, papeis e até tinturas para cabelos. Devido à sua forte adsorção em suportes sólidos, esse corante é usado como composto modelo para a remoção de corantes e contaminantes orgânicos de soluções aquosas (SOUZA, 2018).

O azul de metileno (AM) é uma substância heterocíclica aromático classificado como corante catiônico, segundo Oliveira (2012), o pesquisador Heinrich

Caro, descobriu a substância em 1876, sendo importante nos campos da biologia e química, sendo denominado de corante bacteriológico.

Ainda de acordo com Oliveira (2012, pag. 22), “A fórmula química do azul de metileno é  $C_{16}H_{18}N_3SCl$ , conforme ilustrada na Figura 1, de massa molar  $319,8 \text{ g.mol}^{-1}$ , e sua forma hidratada é  $C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$  de massa molar  $373,9 \text{ g.mol}^{-1}$ ”.

Figura 1 – Estrutura do Azul de Metileno



Fonte: Oliveira, 2012.

O AM é um composto bastante empregado como indicador orgânico e estudado devido suas aplicações em estudos de remoção de contaminantes em sistemas hídricos (SCOTTI *et al.*, 2006; LEAL *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2018).

Segundo Leal *et al* (2012), o AM é altamente estudado em função do conhecimento existente das bandas de absorção em diferentes espécies (monômeros, protonadas etc.) para regiões do espectro (NEUMANN *et al.*, 2000; BRADY, 1996; LEAL *et al.*, 2012). Segundo Borges (2014), o composto AM apresenta corpulento na região de absorção do UV-visível ( $\lambda_{max}=665\text{nm}$ ).

Em função das características do AM, o índice de metileno tem como habilidade, possibilitar que o carvão ativado possa adsorver moléculas, cuja área superficial seja superior a  $1,5 \text{ nm}$  (DI BERNARDO, 2017; BISCOLA, 2019).

### 3.2 Tratamento Convencional e Adsorção com tratamento alternativo

Os processos de tratamento físico são baseados nos processos de separação de fases (sedimentação ou decantação, filtração, centrifugação e flotação), transição de fase (destilação, evaporação e cristalização), transferência de fase (extração e adsorção de solvente) e processos de separação molecular, isto é, processos baseados no uso de membranas seletivas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa e diálise). Alguns tratamentos químicos incluem floculação de coagulação em combinação com métodos de flotação, filtração, eletroflotação e oxidação convencional (ozônio, cloro). Estes são métodos que foram estudados para tratar águas com poluentes. Geralmente está associado a um tipo

diferente de tratamento, seja físico ou químico, e muitos deles são extensivamente estudados. (FURLAN, 2008).

### **3.2.1 Tratamento Convencional**

Segundo Pádua (2006) o tratamento de água para abastecimento envolve o emprego de diferentes operações e processos unitários para adequá-la aos padrões de qualidade definidos pelos órgãos de saúde e agências reguladoras. As exigências de qualidade da água evoluíram e prosseguem, em processo contínuo acompanhando os avanços do conhecimento técnico e científico. Da segunda metade do século XIX, o tratamento d'água teve como objetivo central a clarificação e a remoção de organismos patogênicos. Porém, principalmente a partir do século XX, o desenvolvimento agrícola e industrial impôs intensa produção e uso de novas substâncias químicas, implicando necessidade de desenvolvimento e emprego de técnicas de tratamento mais específicas e/ou complexas.

Assim, as tecnologias convencionais de tratamento, visando a clarificação e desinfecção da água, foram sendo aprimoradas, incorporando novas técnicas ou variantes, tais como a flotação, a filtração direta, a filtração em múltiplas etapas, além do emprego de novos desinfetantes. O desafio da remoção de substâncias químicas, impôs o emprego/desenvolvimento de outras técnicas de tratamento como a adsorção em carvão ativado, a oxidação, a precipitação química e a volatilização, e de processos de separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) (PÁDUA, 2009)

### **3.3.2 Adsorção como alternativa de tratamento de água**

A adsorção é um processo de transferência de massa em que as substâncias presentes na fase líquida são adsorvidas ou acumuladas na fase sólida e, portanto, removidas do líquido. Os processos de adsorção são usados no tratamento da água potável para remover compostos causadores de sabor e odor, produtos químicos orgânicos sintéticos, produtos orgânicos formadores de cor e subprodutos da desinfecção. Componentes inorgânicos, incluindo alguns componentes perigosos, como perclorato, arsênico e alguns metais pesados, também são removidos por adsorção. Reações com CAG, um adsorvente comum, também podem ser usadas para decolorar a água potável. O componente adsorvido na superfície é referido como adsorvido, e o sólido ao qual o componente é adsorvido é chamado de adsorvente. Durante o processo de adsorção, as espécies dissolvidas são transportadas por difusão para os grânulos adsorventes sólidos porosos e depois adsorvidas na

superfície interna estendida do adsorvente. As espécies dissolvidas são concentradas na superfície sólida por reação química (quimisorção) ou atração física (adsorção física) na superfície (CRITTENDEN *et al.*, 2012).

Segundo Ruthven (1984), a adsorção física envolve apenas forças intermoleculares do tipo van der Waals, relativamente fracas, e a quimisorção envolve essencialmente a formação de uma ligação química entre a molécula de sorbato e a superfície do adsorvente. A adsorção física é o fenômeno mais comum nos processos de separação porque a dessorção do material aderente é mais fácil devido à natureza fraca das interações sólido-líquido.

Muitas pesquisas no campo da tecnologia de tratamento de águas residuais são baseadas no processo de adsorção devido à sua alta eficiência no tratamento e na remoção de poluentes. Ferreira *et al.* (2019) examinou a remoção do tratamento para o efluente do biodiesel produzido a partir de óleo de soja e sebo bovino e obteve os melhores resultados correspondente à de uma hora de contato no carvão ativado e atingiu 73% da remoção de poluentes, além da redução de 403 UC (unidades coloridas) e 5,54 UT (unidades de turbidez).

Testes de adsorção com a serragem de MDF, composta basicamente por celulose, lignina e hemicelulose, foram realizados para ver viabilidade na remoção de efluentes têxteis. O corante vermelho (catiônico) teve maior interação com a serragem de MDF que o corante azul (aniônico). A serragem tratada com NaOH apresentou um aumento de quase 50% na capacidade máxima de adsorção, se comparada com a serragem in natura, e diferentemente do esperado, o tratamento ácido não diminuiu a eficiência da adsorção do corante vermelho. A adsorção do corante azul sofreu maior influência do pH da solução do que do tratamento da serragem (MONTANHER; FARIAS; DALPASQUALE, 2019).

Segundo Guerra (2012) para o tratamento, dois tipos de carvão ativado são comumente usados: carvão ativado na forma de pó (CAP) e granular (CAG). A Tabela 1 mostra as principais vantagens e desvantagens do uso de ambos os tipos de carvão. As seções a seguir fornecem mais informações sobre cada tipo de carvão.

Tabela 1 - Vantagens e limitações das distintas formas de carvão ativado no tratamento de água.

	Tipos de carvão ativado	
	Granular	Em pó
Vantagens	Regeneração	Menor custo inicial comparado ao CAG
	Recomendado na presença de contaminantes	Possibilidade de alteração da dosagem e emprego sazonal
Desvantagens	Maior custo comparado ao CAP	Dificuldade de regeneração
		Eventual dificuldade de disposição do lodo
		Eventuais super dosagens quando aplicado na captação ou na unidade de mistura rápida

Fonte: Snoeying e Summers (1990, apud GUERRA, 2012, p. 37).

### 3.3 Cinética de adsorção

De acordo com Vidal et al. (2014), a cinética de adsorção é expressa como a taxa de remoção da adsorção na fase líquida ao longo do tempo, que envolve a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma massa líquida externa para o interior da partícula adsorvente que deve migrar através dos macroporos para as regiões mais internas desta partícula. Em princípio, a cinética de adsorção pode ser realizada por vários métodos:

- Transferência de massa externa: corresponde à transferência de moléculas da fase líquida para a superfície externa da partícula adsorvente por meio de uma camada líquida que circunda a partícula;
- Difusão de poros: É causada pela difusão de moléculas no fluido para os poros;
- Difusão de superfície: corresponde à difusão de moléculas completamente adsorvidas ao longo da superfície do poro.

Os modelos cinéticos são representados por equações matemáticas usadas para descrever o perfil de adsorção de solutos por meio de sólidos, o que permite conhecer mais sobre o processo de adsorção. No Quadro 2 estão apresentados os

modelos cinéticos e uma breve descrição do comportamento adsorptivo característico (ZEFERINO; FREITAS, 2013).

Tabela 2 – Modelos cinéticos.

Modelos	Pseudo-primeira ordem	Pseudo-primeira ordem
Equação	$\log(q_{max} - q_t) = \log q_{max,calc} - \frac{K_1}{2,303} \times t$	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \times q_{máx,cal}^2} + \frac{1}{q_{máx,cal}} \times t$
Características	Adsorção pela ocupação de um sítio ativo do adsorvente	Adsorbato ocupa adsorvente por dois sítios ativos

Fonte: Adaptada por Zeferino; Freitas, 2013.

### 3.4 Isotermas de adsorção

Isotermas de adsorção são curvas de equilíbrio de fase que mostram a quantidade de gás ou soluto que é adsorvido ou dessorvido por um sólido em equilíbrio a uma temperatura constante. Essa curva é geralmente plotada como um gráfico da concentração de fase adsorvida em função da concentração da fase fluida ou da pressão parcial do gás. A isoterma toma forma de acordo com a porosidade do impacto das adsorções e, a partir daí, é ajustada com modelos de isotermas matemáticas empiricamente pré-definidos, a curva experimental para o modelo matemático e, assim, é obtido o método de adsorção. As isotermas de equilíbrio de adsorção indicam como o adsorvente adsorve efetivamente o soluto e se a eficiência de separação necessária pode ser alcançada fornecendo uma estimativa da quantidade máxima de soluto adsorvendo o adsorverá e se o adsorvente para regeneração de águas residuais é economicamente viável (VIGNOLA, 2011).

Nos processos de adsorção, geralmente é preferível escolher equações que tenham a propriedade de serem facilmente linearizáveis e, portanto, estimar graficamente os parâmetros por coeficientes angulares e lineares das retas resultantes da linearização dos dados experimentais. Os modelos mais usados são Langmuir e Freundlich (GUERRA *et al.*, 2008).

#### 3.4.1 Isoterma de Langmuir

No ano de 1918, Irving Langmuir propôs um modelo empírico de isoterma que modela a cobertura em monocamada da superfície de adsorção. Este modelo pressupõe que a adsorção máxima ocorra em locais de adsorção estruturalmente homogêneos específicos dentro das forças adsorvente e intermolecular diminua rapidamente com a distância da superfície de adsorção. A equação não linear do

modelo isotérmico de Langmuir é expressa como:  
Eq(1)

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

Onde,

$C_e$  - a concentração de equilíbrio da toxina na solução (mg / L);

$q_e$  - o valor adsorvido da toxina na concentração de equilíbrio (mg / g);

$q_m$  - a capacidade máxima de adsorção (mg / g);

$K_L$  - o constante de ligação de Langmuir que está relacionada à energia de adsorção.

### 3.4.2 Isoterma de Freundlich

O modelo isotérmico de Freundlich está relacionado à adsorção multicamada, superfície heterogênea e interação entre moléculas adsorvidas. A forma não linear da equação de Freundlich é dada por

$$Eq (2) \quad q_e = K_f C_e^{1/n}$$

Onde,

$K_f$  = constante de Freundlich que representa a capacidade de adsorção e a força da ligação de adsorção;

$q_e$  = quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente (mg/g);

$C_e$  = concentração do soluto de equilíbrio (mg/L);

$n$  = o fator de heterogeneidade que representa a distribuição da ligação. Os valores de  $n$ , entre 1 e 10, indicam adsorção favorável. Freundlich (1906, apud SARAVANAN e RAVIKUMAR, 2012, p. 539)

$C_e$  = concentração do soluto de equilíbrio (mg/L);

### 3.6 Carvão vegetal como adsorvente

O carvão vegetal é um importante subproduto da madeira obtido através de um processo conhecido como Pirólise. De acordo com o tipo de carvão vegetal a ser produzido, levando em consideração o seu uso, seja ele industrial, doméstico ou comercial, as características da madeira têm forte influência na qualidade e propriedade. O Brasil faz uso do carvão vegetal na produção industrial e a tendência atual é de que a demanda aumente nos próximos anos, devido principalmente ao aumento das áreas de reflorestamento e por ser uma fonte de energia renovável (FROEHLICH; MOURA, 2014).

A utilização de espécies arbóreas exóticas vem ganhando destaque no cenário nacional frente ao setor de produção de energia. No Nordeste, algumas espécies bastante conhecidas mostraram potencialidade energética bem satisfatória, a exemplo do Eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e da algaroba (*Prosopis juliflora*) (SILVA *et al.*, 2018).

A Algaroba (*Prosopis juliflora*) é uma espécie vegetal abundante, sobretudo nas áreas áridas e semiáridas, pertence à família das leguminosas, não oleaginosas, nativa das regiões secas das Américas. É aproveitada para diversas utilizações (madeiras, carvão vegetal, estacas, álcool, melação, alimentação animal e humana), tornando-se, por conseguinte, cultura de valor econômico e social (Oliveira, 2011).

A algaroba introduzida na década de quarenta no Nordeste do Brasil como alternativa para resolver grandes problemas dessa macro-região, como a depredação acelerada das espécies nativas da caatinga e a escassez de alimentos para os animais nos meses secos do ano, encontra-se atualmente disseminada em praticamente todas as regiões geo-ambientais do Semi-Árido Nordestino. A rápida expansão da algaroba, fez com que em muitas áreas essa planta exótica seja caracterizada como invasora, provocando desequilíbrio no ecossistema. Tendo em vista, a utilização da Algaroba como matéria prima neste trabalho como forma de amenização para esses problemas ambientais e que a sua utilização como carvão ativado não é encontrado na literatura.

Os materiais formadores de carvão ativado vegetal têm como características básicas celulose e lignina.

- A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais e o mais abundante composto orgânico da natureza. Nos vegetais superiores, aparece, principalmente, sob forma de fibras, ao lado de outros componentes fundamentais e acidentais. As hemiceluloses, juntamente com a celulose, formam a fração da

madeira denominada holocelulose. São os principais polissacarídeos não celulósicos da madeira, estando associados à lignina e a celulose. Ocorrem ao longo de toda a parede celular, desde a lamela média até a camada S3 da parede secundária. Entretanto, o seu teor é maior nas camadas S1 e S3 e menor em S2 (Fonsêca,2011; Trugilho et al., 2009).

- A lignina é um polímero natural proveniente da condensação desidrogenativa de três álcoois precursores: trans-coníferos, trans-sinapílico e p-cumarílico, que conferem rigidez à parede celular e funcionam como um composto de ligação entre a celulose e a hemicelulose, além de contribuírem para a formação de uma estrutura resistente a impacto, compressão e dobra (MORAIS et al., 2005). A lignina apresenta natureza aromática e tridimensional, com alto peso molecular, que tem como base estrutural unidades de fenil-propano ligadas a grupos metoxílicos e hidroxílicos, dependendo do tipo de madeira (Fonsêca,2011; Trugilho et al., 2009). Segundo Petterson (1984), a lignina se apresenta como o componente mais hidrofóbico da madeira, atuando como material cimentante ou adesivo entre as fibras, além de conferir dureza e rigidez à parede celular.

Os carvões ativados são materiais de carbono poroso que têm uma forma não-grafítica microcristalina e sofreram um processo para aumentar a porosidade interna. Uma vez ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores, e assim sucessivamente (WINTER et al., 2016). Eles têm sido amplamente empregados na adsorção devido à sua versatilidade , eficiência e baixos custos operacionais . Atualmente, são realizados estudos para desenvolver metodologias que promovam a mudança de polaridade de suas superfícies, aumentando suas especificidades e poder de adsorção. Muitos precursores de carvão ativado são obtidos a partir de resíduos industriais (VARGAS et al., 2011).

Embora muitos métodos de ativação química e atmosfera inerte na produção de carvões ativados sejam eficientes, nota-se que há um déficit em relação à produções de carvões que não necessitem de nenhum tratamento prévio antes e após a carbonização. Salienta-se também a necessidade de testar materiais in natura, avaliando sua capacidade adsorptiva, gerando um ganho importante em relação aos custos de produção de adsorventes eficientes. Além desses fatores, as condições experimentais para a aplicação do processo de adsorção, devem ser consideradas, tais como: pH, temperatura, tempo de contato, agitação e presença

de compostos que competem pelos mesmos sítios de adsorção, as quais podem dificultar ou favorecer o procedimento e perturbar diretamente na eficiência de remoção (WERLANG et al., 2013).

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Preparo do bissorvente – carvão vegetal**

A amostra da algaroba (*Prosopis juliflora*) foi seca em estufa por 24 horas para atingir o teor ideal de umidade de cerca de 30%. Posteriormente, a pirólise no forno mufla foi realizada a uma temperatura máxima de 417 ° C, gradualmente alcançada com intervalos crescentes de 30 minutos / 50 ° C. Após a pirólise, o carvão foi macerado com pistilos de porcelana e depois peneirados, coletando-se a fração de material com diâmetro menor que 250 µm.

### **4.2 Ativação do carvão vegetal**

A ativação foi conduzida através de adaptação do método de ativação proposto por SCHETTINO JR (2004). Onde, foram desenvolvidas duas amostras de carvão: A primeira, apenas com a ativação química, denominada como CAQ e a segunda contendo a ativação química e a física, CAQF. Para a ativação química do CAQ e CAQF foi utilizado como solução o NaOH na concentração de 7,5 mol.L<sup>-1</sup>, a uma proporção mássica de 1:3 (carvão:NaOH), na qual, o carvão e a solução ativante foram misturados. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas em agitador térmico tipo SHAKER por um período de 2 horas à uma temperatura de 50 °C e 140 rpm, sendo posteriormente, secas em estufa por 18 horas à uma temperatura de 180 °C.

Após a impregnação e secagem do carvão com a solução ativante, apenas para o CAQF foi realizado o tratamento térmico de ativação em uma mufla com uma temperatura máxima de 400 °C, sendo a mesma atingida em intervalos crescentes de 30 minutos/50 °C. Em seguida, as ambas as amostras foram colocadas em Becker na proporção de 100 g de carvão para 8 litros de água deionizada e homogeneizadas em agitador térmico tipo SHAKER por um período de 20 minutos a uma temperatura de 25 °C e 120 rpm. Por fim, realizou-se processo de lixiviação por filtração a vácuo, utilizando cerca de 500 ml de água deionizada para aproximadamente 4g de carvão com filtros de papel qualitativos sendo, por fim, secas em estufa por 4 horas à uma temperatura de 105 °C.

### **4.3 Caracterização do adsorvente**

A caracterização foi realizada em laboratórios especializados a partir das técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Difratomia de Raios-X (DRX), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). Esses procedimentos foram executados com o material *in natura*, e após a ativação química. Visto que, a ativação física foi de interesse científico ocorrido após a caracterização do adsorvente.

#### **4.4 Curva de calibração do azul de metileno**

Pesou-se 1g de azul de metileno em pó, e diluiu-se em 1L de água deionizada em um balão volumétrico para a obtenção da solução de estoque de 1000 mg/L. Posteriormente a solução foi filtrada em um filtro a vácuo, ligado a um kitassato com filtro de porcelana acoplado, e um papel de filtro. A partir da solução de 1000 ppm, foi preparada uma solução de trabalho de 200 mg/L para facilitar a diluição e diminuir o erro durante a confecção da curva de calibração. O comprimento de onda trabalhado foi o 624 nm, e as concentrações de azul de metileno foram de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 mg/L. A análise foi executada em triplicata.

#### **4.5 Determinação do tempo equilíbrio**

Foi realizada variando-se o tempo de agitação de contato efetivo entre o adsorvato e o adsorvente. Para determinação do tempo de equilíbrio, 0,5 g do biossorvente foi colocado em um Erlenmeyer com 20 mL da solução de 20 mg/L de azul de metileno. O tempo de agitação foi de 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40 minutos, 1, 2, 3, 12 e 24 horas, onde os Erlenmeyers foram colocados em um agitador térmico tipo SHAKER, sob velocidade de 120 rpm e temperatura de 30 °C. Após atingido o limite de tempo, a solução foi imediatamente filtrada, e medida utilizando um espectrofotômetro em comprimento de onda de 624 nm. A partir daí foi definido o tempo de equilíbrio.

#### **4.6 Influência da temperatura**

Para a análise, colocou-se 0,5 gramas do biossorvente em um Erlenmeyer com 20 mL da solução de 20 mg/L de azul de metileno. O tempo de agitação foi determinado a partir da isoterma de equilíbrio tanto para o CAQ como o CAQF, variando nas temperaturas de 30 °C, 40 °C e 50 °C onde os Erlenmeyers foram colocados em um agitador térmico tipo SHAKER, sob velocidade de 100 rpm. Após atingido o limite de tempo, a solução foi imediatamente filtrada e para determinação da concentração residual do corante azul de metileno, foi realizada uma análise utilizando um espectrofotômetro em comprimento de onda de 624 nm.

#### **4.7 Influência do pH**

Na influência do pH na adsorção, foram preparadas soluções com 0,5 gramas do biossorvente em um Erlenmeyer com 20 mL da solução de 20 mg/L de azul de metileno. O tempo de agitação e temperatura foram determinados de acordo com análises anteriores para o CAQF e CAQ, variando as soluções em uma faixa de pH de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Onde os Erlenmeyers foram colocados em um agitador térmico tipo SHAKER, sob velocidade de 100 rpm. Após atingido o limite de tempo, a solução foi imediatamente filtrada e para determinação da concentração residual do corante azul de metileno, foi realizada uma análise utilizando um espectrofotômetro em comprimento de onda de 624 nm.

#### **4.8 Análise de pHPCZ**

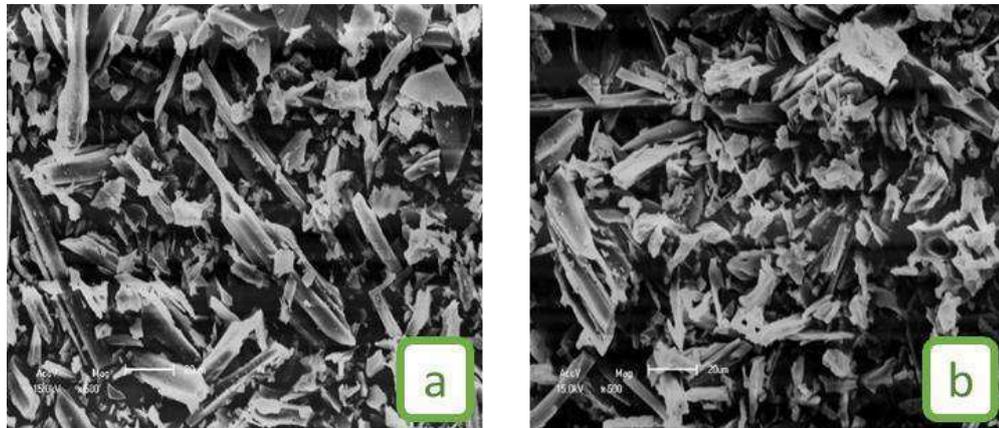
Para o procedimento adiciona-se 20 mg do adsorvente em 20 ml de solução aquosa de NaCl 0,1 mol.l-1, sob 12 diferentes condições de pH inicial (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), ajustados com soluções de HCl ou NaOH 0,1 mol.L-1 e 0,01 mol.L-1. Após 24 horas de equilíbrio em banho termostático, sob agitação de 100 rpm, a 25 °C, as soluções são filtradas e o pH final da solução anotado.

### **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.1 Caracterização do adsorvente**

A morfologia do carvão de Algaroba (*Prosopis juliflora*) foi investigada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Como mostrado na Figura 2, a análise MEV do carvão *in natura* mostrou um material com uma estrutura porosa de grãos fibrosos e tubulares. Após a ativação química do carvão, é observada uma alteração em sua estrutura, com mais sítios ativos e com uma estrutura porosa mais organizada disponível para adsorção.

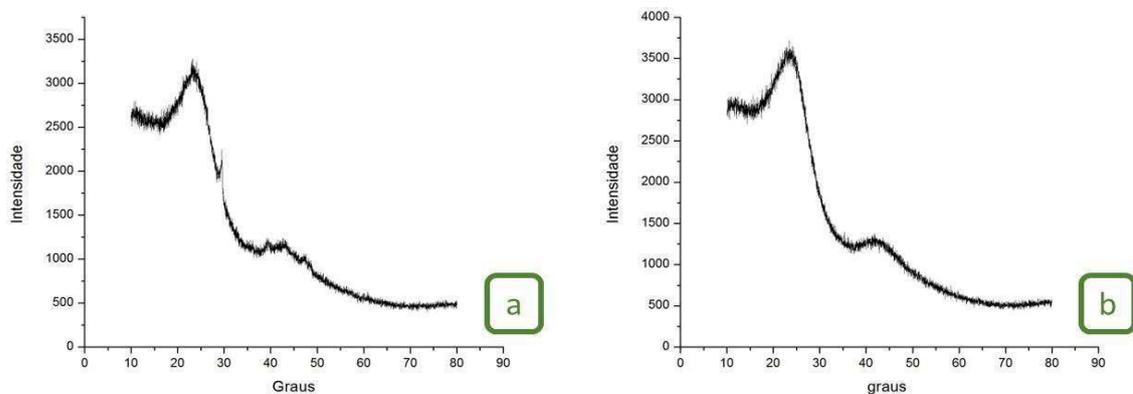
Figura 2 - Morfologia a partir da técnica de MEV com ampliação de 500 x para (a) carvão *in natura*, (b) carvão ativado.



Fonte: Própria (2019).

Mediante a organização dos picos nos Difratomogramas de raios-X (DRX) na Figura 3, da amostra de Algaroba não ativada e ativada quimicamente, os compostos resultantes das reações químicas que ocorrem durante o processo de ativação podem ser identificados.

Figura 3 – Análise de DRX para: (a) algaroba não ativado e (b) algaroba ativado.

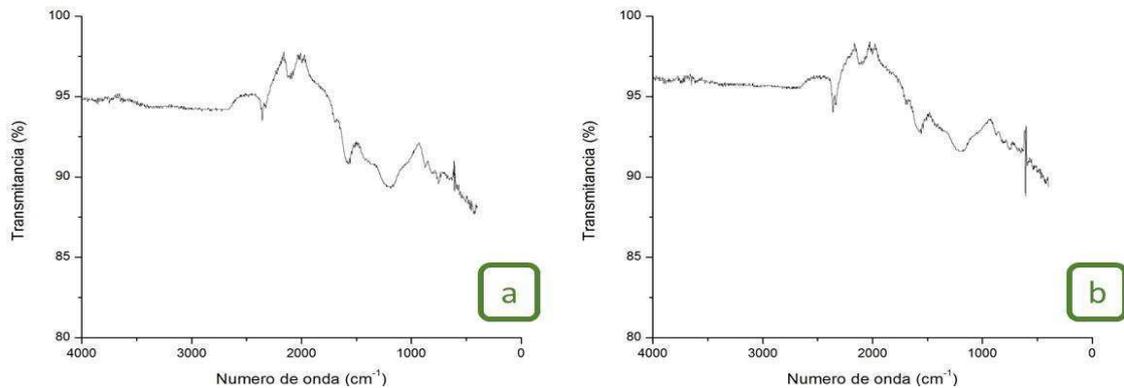


Fonte: Própria, (2019).

Os difratogramas de raios X demonstram-se semelhantes com picos na faixa entre 15 e 35 graus, com um pico amplo em 26 graus, característico do quartzo e outros picos menos intensos, mas indicando alguma cristalinidade. A análise de DRX é consistente com o fato de que os carvões podem ter o maior teor de cinzas.

A Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), na Figura 4, permitiu a confirmação dos espectros característicos do material orgânico. As bandas principais que caracterizam a algaroba estão na faixa de 1636  $\text{cm}^{-1}$  correspondente à deformação do OH, a deformação do CH<sub>2</sub> encontra-se na faixa de 1410  $\text{cm}^{-1}$  e na faixa de 1340  $\text{cm}^{-1}$  a deformação de OH.

Figura 4 – A técnica de FTIR para (a) algaroba não ativado, (b) algaroba ativado.



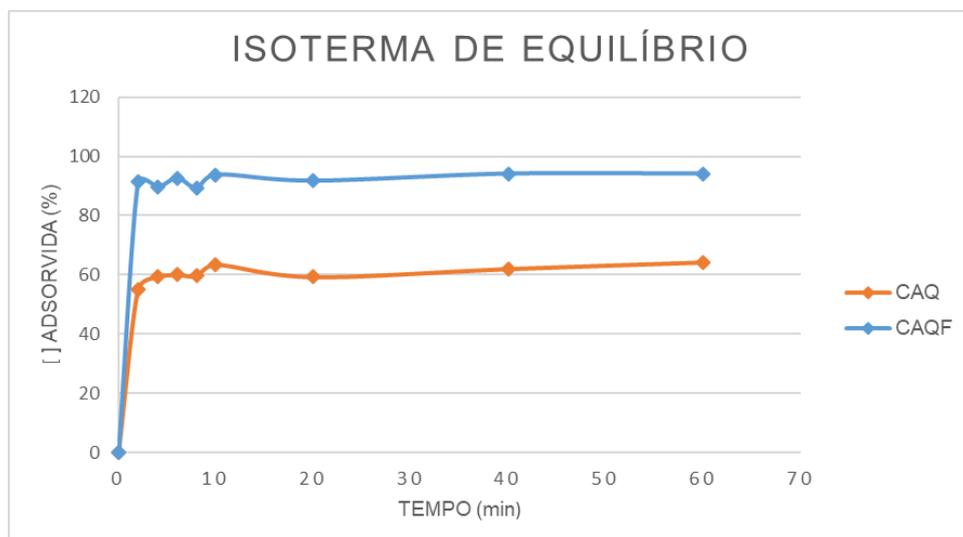
Fonte: Própria, (2019).

## 5.2 Ensaios de adsorção

### 5.2.1 Isoterma de equilíbrio

A maior taxa de remoção do corante aconteceu nos primeiros 10 minutos. Os resultados mostram remoções entre 89,47 e 94,15% para o CAQF e entre 55,05 e 64,32% para o CAQ apenas nesse período de contato. O processo é rápido inicialmente e o biossorvente continua removendo o corante no decorrer do tempo, entretanto, numa proporção de aumento bem inferior, ocasionada pela baixa disponibilidade de sítios de adsorção já ocupados. Assim, tem-se uma remoção inicial rápida e a necessidade de um tempo de contato maior para que a adsorção ocorra com valores de retenção superiores aos mencionados. Sendo assim, o tempo de equilíbrio encontrado em termos de custo-benefício é 10 minutos, tempo usado para realização das análises da influência da temperatura e do pH.

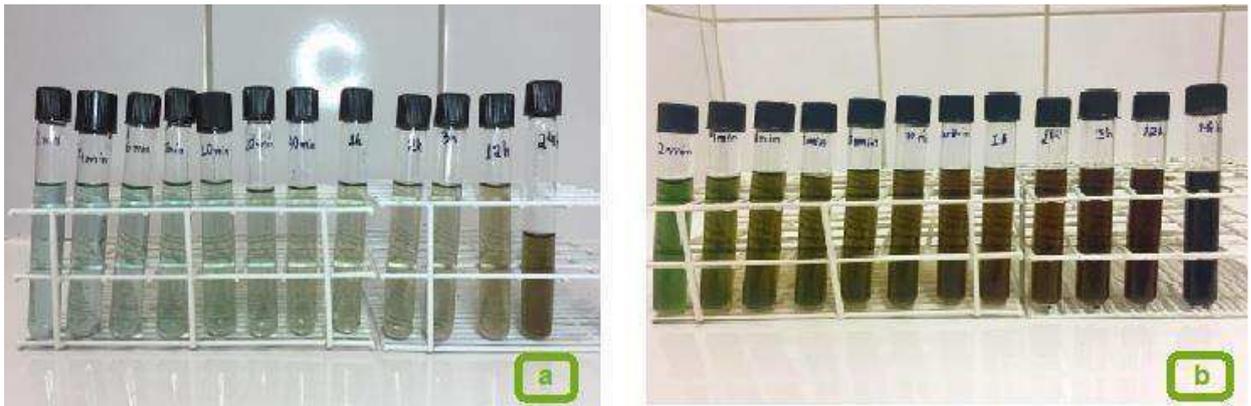
Figura 5 – Comparação da remoção da solução AM, em diferentes tipos de carvões e tempos de contato.



Fonte: Própria, (2019).

É possível observar ainda que o CAQF apresentou maior constância e maior poder adsorvente. Acredita-se que o tratamento térmico tenha tornado a estrutura do bioissorvente mais estável, possibilitando maiores sítios ativos e conseqüentemente maior eficiência na remoção. Isso pode ser visualizado através da Figura 6 que manifesta a degradação da coloração na remoção do azul de metileno.

Figura 6 - Comparação visual da remoção da solução AM, em diferentes tipos de carvões e tempos de contato para (a) CAQF e (b) CAQ.

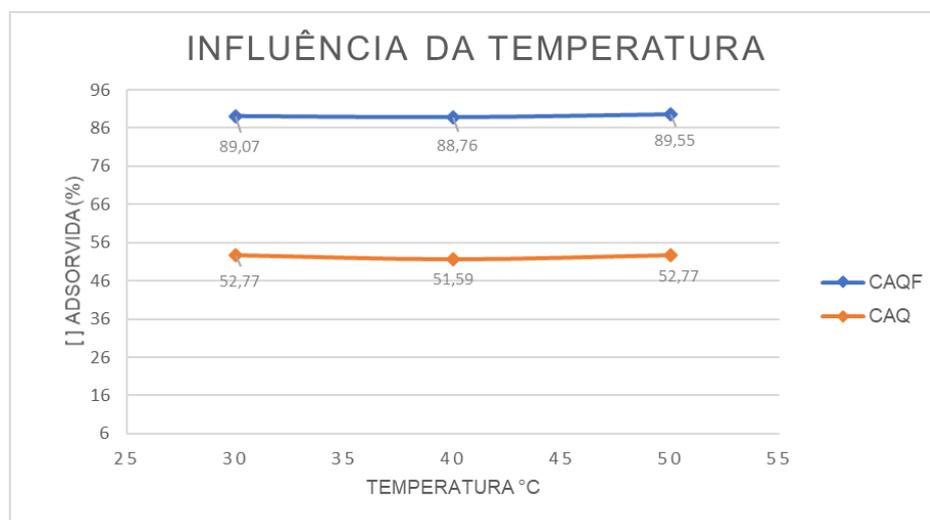


Fonte: Própria, (2019).

### 5.2.2 Influência de Temperatura

A temperatura não provocou grande influência na taxa de adsorção para as duas ativações, com taxa de remoção variando entre 88,76 e 89,55 % para o CAQF, e entre 52,77 e 51,59% para o CAQ, o que favorece trabalhar na temperatura ambiente, como expresso na Figura 7.

Figura 7 - Comparação da remoção da solução AM, em diferentes tipos de carvões e temperaturas de contato.



Fonte: Própria, (2019).

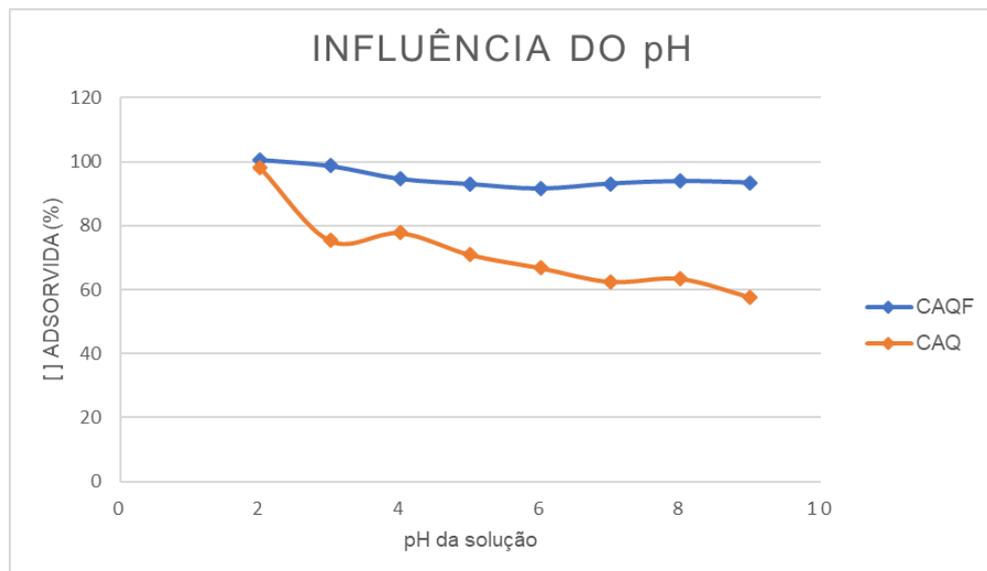
### 5.2.3 Influência do pH

As alterações no pH podem afetar o processo de adsorção por meio da dissociação de grupos funcionais presentes nos sítios ativos do adsorvente. Dessa forma, é necessário conhecer a influência que este parâmetro exerce sobre o processo de adsorção de corantes.

Para análise da influência de pH foram escolhidas as temperaturas de 50 e 30 °C para o CAQF e CAQ respectivamente, como ilustra a Figura 9, onde é possível observar que a condição mais favorável é na região ácida, por volta de pH 2 tanto para o CAQF quanto para o CAQ.

É possível observar para o CAQF uma maior estabilidade na influência do pH, como se o tratamento térmico realizado anteriormente tivesse provocado um efeito tampão, podendo trabalhar tranquilamente na região ácida e básica. O contrário é observado para o CAQ, que há um decréscimo ao longo da variação do pH.

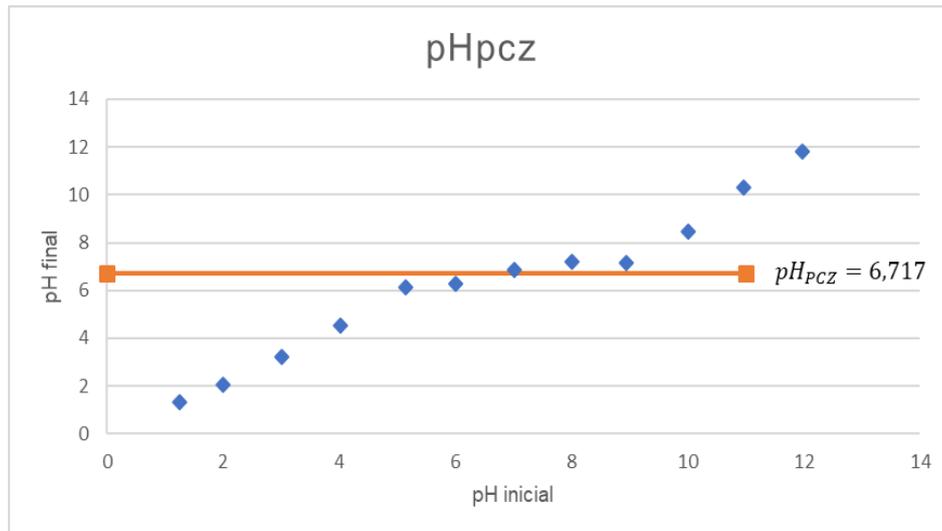
Figura 8 - Comparação da remoção da solução AM, em diferentes tipos de carvões e pH de contato.



Fonte: Própria, (2019).

### 5.2.4 Ponto de carga zero (pHPCZ) e influência do pH.

O pHPCZ do adsorvente corresponde a faixa de pH em que as cargas superficiais líquidas dos adsorventes são nulas, ou seja, quando o adsorvente se comporta como tampão. O valor do pHPCZ do carvão de nim foi obtido a partir da construção do gráfico pH inicial versus pH final da solução de azul de metileno, Figura 11. Determinou-se o pHPCZ a partir da média aritmética dos pontos em que o pH final da solução se manteve constante.

Figura 9 – pH<sub>PCZ</sub>.

Fonte: Própria, (2019).

Na faixa de pH inicial de 5 a 9 praticamente não houve variação de pH final das soluções (6,12; 6,30; 6,84; 7,19; 7,15). Sendo assim, o ponto de pH<sub>PCZ</sub> encontrado foi de 6,717.

Segundo TAGLIAFERRO et al., (2011), na faixa de pH maior que o pH<sub>PCZ</sub> a adsorção de cátions é favorável, uma vez que a carga líquida da superfície do adsorvente, nesse caso, é negativa. Enquanto isso, o pH menor que o pH<sub>PCZ</sub> favorece a adsorção de ânions, pois a carga líquida do adsorvente, nessa situação, é negativa.

Por ser um corante catiônico, espera-se que a faixa de pH para melhor adsorção do azul de metileno seja  $\text{pH} > 7,16$ . Entretanto, a melhor taxa de remoção do corante ocorreu no pH 2 para o CAQF e CAQ, com remoção de aproximadamente 100% e 98,2%, respectivamente, onde o CAQF apresentou ainda melhor eficiência de remoção entre os dois.

O comportamento apresentado está de acordo com a literatura (PEREIRA et al., 2001; MARIN et al., 2015; SILVA, 2012). O corante utilizado neste estudo possui um grupo sulfonato, responsável por seu caráter aniônico, possuindo, portanto, carga superficial negativa. De acordo com a análise do pH<sub>PCZ</sub>, tem-se que em meio ácido ( $\text{pH} < 5$ ) a superfície do adsorvente é carregada positivamente, sendo assim, segundo AlDegs et al. (2000), como a superfície do adsorvente possui cargas positivas em pH menores que 5, existe uma 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 5. O resultado obtido condiz com o

encontrado por Martins et al. (2013), Fiorentin et al. (2010) e Fagundes-Klen et al. (2012), quando pesquisaram a adsorção do mesmo corante utilizando carvão ativado, bagaço de laranja e a macrófita *Salvinia* Sp., respectivamente. Por outro lado, no estudo realizado por Borges (2006), que investigou a adsorção do corante Azul Reativo 5G em sistema batelada e em leito fixo utilizando como adsorvente o carvão ativado, os resultados mostraram que o pH 7,25 foi o mais favorável à adsorção. Além disso, 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.

## **6 CONCLUSÕES**

Neste trabalho avaliou-se dentre outras coisas o efeito do pH da solução e da temperatura do sistema. Os resultados obtidos demonstram que: o pH<sub>PCZ</sub> do adsorvente ficou entre 5 e 9; a solução com pH 2 foi a que apresentou a maior quantidade de corante adsorvido, o CAQF com aproximadamente 100% e o CAQ 98,2%, nas condições de temperatura estudadas, a quantidade de corante removida pelo adsorvente em relação ao custo benefício para uma indústria foi obtida em 30°C.

Através dos resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que o adsorvente carvão de Algaroba foi eficiente na remoção do corante Azul de Metileno, apresentando boa capacidade de adsorção. Desta forma, sugere-se que tal adsorvente pode ser utilizado com elevada eficiência na remoção do corante Azul de metileno de efluentes têxteis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M. V. C. *et al.* Remoção de cianotoxinas de água de abastecimento público por adsorção em carvão ativado. **Congresso Brasileiro de Gestão ambiental e sustentabilidade**, v. 4, p. 370-377, 2016. Disponível em: <<http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas/>>.

ARAÚJO G. R. *et al.* Descoloração do corante têxtil índigo carmine por espécies de *Aspergillus*. **Biodiversidade e água: desafios e cooperação**, Recife, v. 2, n. 1, p.1-11, 14 nov. 2013.

BISCOLA, T. A. **Influência das condições de aplicação do carvão ativado pulverizado na eficiência de remoção de azul de metileno no tratamento em ciclo completo**. 2019. 112 f. Dissertação (MESTRADO) – Programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2019.

BORGES, W. M. S. **Avaliação do potencial de carvões ativados (pó e briquetados) produzidos a partir de resíduos de madeira na adsorção de poluentes**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

BRADY, V. P.; CYGAN, T. R.; NAGY, L. K. Molecular controls on kaolinite surface change. **Journal of Colloid Interface Science**. **183**, p. 356- 364,1996.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357** de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA 430** de 13 de maio de 2011. Brasília, DF, 2011.

CECHINEL, M. A. P. **Aplicação de processo adsorptivo na remoção de chumbo de efluentes petroquímicos sintéticos**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

CHAPARRO, C. V.; CABANZO, R.; OSPINO, E. M. Estudio de la adsorción de azul de metileno sobre óxido de grafeno. **Revista Colombiana de Materiales**, Colombia, v. 1, n. 5, p.131-139, out. 2013.

COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Production, Characterization and Application of Activated Carbon from Nutshell for Adsorption of Methylene Blue. **Revista Virtual de Química**, Criciúma, v. 7, n. 4, p.1272-1285, 03 mar. 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150070>.

CRITTENDEN, J. C. *et al.* **MWH Water Treatment: Principles and Design**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012. 1869 p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 3ª edição. São Carlos-SP: LDIBE, 2017.

FERREIRA, T. F. *et al.* Estudo comparativo dos processos de adsorção e foto-oxidação no tratamento do efluente de biodiesel. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p.472-482, 4 abr. 2019. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL.

FONSÊCA, C. M. B. **Estudo comparativo do potencial energético do juazeiro (*ZiziphusjoazeiroMartius*) e da algarobeira (*Prosopisjuliflora* (Sw.)Dc.) na produção de carvão no semiárido paraibano.** 2011. 59 p. Dissertação (mestrado) – Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2011.

FROEHLICH, P. L.; MOURA, A. B. D. Carvão Vegetal: Propriedades Físico-Químicas E Principais Aplicações. *Tecnologia e Tendência*, Passo Fundo, v. 9, n.1, p. 1–19, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistatecnologiaetendencias>>.

FURLAN, F. R. **Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis.** 2008. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91020/252704.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 11 set. 2019.

GENTIL, Y. L. *et al.* M. B. M. Remediação do íon cobre por carvão vegetal ativado em águas residuais. In: III CONAPESC, 2018, Campina Grande. Anais. Campina Grande: Editora Realize, 2018. v. 1, p. 01 - 09.

GENTIL, Y. L.; MENDES, A. B. O. Aplicação de um aparato de carvão ativado para o tratamento de efluentes. In: XV Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Campina Grande. Anais. Campina Grande: UFCG, 2018. v. 1, p. 01 - 17.

GUERRA, A. B. **Avaliação em escala de bancada do emprego de carvão ativado granular na remoção de microcistina - Ir na potabilização de águas eutrofizadas no semiárido nordestino.** 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

GUERRA, D. L. *et al.* Aplicação de zr/ti-pilc no processo de adsorção de cu(ii), co(ii) e ni(ii) utilizando modelos físico-químicos de adsorção e termodinâmica do processo. **Quim. Nova**, Campinas, v. 31, n. 2, p.353-359, 26 fev. 2008. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/23788/1/S0100-40422008000200031.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019.

HASSEMER, M. E. N. *et al.* Processo uv/h<sub>2</sub>o<sub>2</sub> como pós-tratamento para remoção de cor e polimento final em efluentes têxteis. **Quim. Nova**, Florianópolis, v. 35, n. 5, p.900-904, 31 jan. 2012.

LANGMUIR, I. (1918) The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum. **Journal of the American Chemical Society**, 40, 1361-1403. <http://dx.doi.org/10.1021/ja02242a004>.

LEAL, P. V. B. *et al.* Estudo da adsorção do corante azul de metileno em resíduos de babaçu. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 4: p. 166-171, 2012.  
MERCADO, E. R. A. *et al.* Remoción de azul de metileno por la microalga *Chlorella* sp. Viva. **Prospect**, Venezuela, v. 10, n. 1, p.53-60, jun. 2012.

MONTANHER, S. F.; FARIAS, L. B. N.; DALPASQUALE, M. Adsorção de corantes têxteis em serragem de MDF (Medium-Density Fiberboard). **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p.14776-14789, 2019.  
<http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n9-078>.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* parte II: Caracterização estrutural da lignina de madeira moída. *Revista Árvore*. ano/vol.29, n.3. p.471-478. **Sociedade de Investigações Florestais**. Viçosa. 2005.

NEUMANN, M. G. *et al.* Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa. **Química Nova**. 23, p. 818-824, 2000.

OLIVEIRA, N. F. Avaliação físico-química e funcional da algaroba *Prosopis juliflora* proveniente da mesorregião agreste do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

OLIVEIRA, S. P. **Adsorção do Corante Azul de Metileno em Caulinita Natural e Intercalada com Acetato de Potássio Provenientes da Região de Bom Jardim de Goiás – GO**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá 2012.

PÁDUA, V. L. (Coordenador). **Desenvolvimento e otimização de tecnologias de tratamento de águas para abastecimento público, que estejam poluídas com microrganismos, toxinas e microcontaminantes**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 392 p.

PÁDUA, V. L. (Coordenador). **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 504 p. ISBN 9788570221490

PETTERSEN, R. C. The chemical composition of wood. In: Rowell, R. (Eds.) *The chemistry of solid wood*. **Washington: American Chemical Society**, 1984, p.54-126.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption processes**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 427 p.

SANTOS, F. L. **Degradação do corante têxtil rb5 em efluente modelo via processo de fotocatalise heterogênea e foto-fenton visando o reuso de água**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SARAVANAN, R.; RAVIKUMAR, L. The Use of New Chemically Modified Cellulose for Heavy Metal Ion Adsorption and Antimicrobial Activities. **Journal Of Water Resource And Protection**, [s.l.], v. 07, n. 06, p.530-545, abr. 2012. Scientific Research Publishing, Inc., <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2015.76042>.

SCOTTI, R. *et al.* T. Azul de metileno imobilizado na celulose/TiO<sub>2</sub> e SiO<sub>2</sub> /TiO<sub>2</sub>: Propriedades eletroquímicas e planejamento fatorial. **Química Nova**, 29 (2), p. 208-212, 2006.

SILVA, I. N. *et al.* Proposta metodológica de avaliação da técnica do azul de metileno na avaliação da qualidade da água. **Holos**, v. 6, 2018.

SILVA, L. L. H. *et al.* **Características energéticas do carvão vegetal de aroeira (Myracrodruon urundeuva Allemão) e leucina (Leucaena leucocephala (Lam.) R. de Wit)**. Ciência Florestal, [s.l.], v. 28, n. 1, p.412-419, 2 abr. 2018. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831619>.

SILVA, M. N. C. *et al.* Hierarquização da eficiência de remoção de cianotoxinas por meio de adsorção em carvão ativado granular. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Belo Horizonte, v. 22, n. 4, p.691-697, 3 ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017158092>.

SOUZA, L. G. X. **Descoloração do azul de metileno por processos oxidativos avançados em um reator fotocatalítico**. 2018. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptussaligna. *Cerne*, Lavras – MG, v.2, n.1.15p. 2009.

VARGAS, A. M. M. *et al.* Adsorption of methylene blue on activated carbon produced from flamboyant pods (*Delonix regia*): study of adsorption isotherms and kinetic models *Chem. Eng. J.*, 168 (2) (2011), pp. 722-730.

VIANA, M. A. *et al.* Pegada hídrica e indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 03, n. 01, p. 061 – 068, 2018.

VIDAL, C. B. *et al.* CINÉTICA DE ADSORÇÃO. In: NASCIMENTO, R. F. et al. *Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais*. Fortaleza: Ufc, 2014. Cap. 3. p. 51-65.

VIGNOLA, F. **Aplicação de processos adsortivos para a remoção de contaminantes de efluentes petroquímicos sintéticos**. 2011. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

WERLANG, E. B. *et al.* Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, jul. 2013. ISSN2237-048X.

WINTER, C. *et al.* Activated carbons for chalcone production: Claisen-Schmidt condensation reaction. *Chemical Engineering Journal*, [s.l.], v. 303, n. 8, p.604-610, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.058>.

ZEFERINO, L. F.; FREITAS, P. A. M. Estudo cinético da adsorção do corante indigo blue (2, 2-bis-2, 3-diidro-3-oxoindolilideno) em fibras de casca de coco verde (cocos nucifera l). **Escola de Engenharia Mauá**, 2013.