



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ELSON DA FONSECA SILVA

**VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA
INFLORESCÊNCIA DA MACAMBIRA**

ANGICOS/RN

2022

ELSON DA FONSECA SILVA

**VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA
INFLORESCÊNCIA DA MACAMBIRA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Joselito Medeiros de Freitas Cavalcante.

ANGICOS/RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586v Silva, Elson da Fonseca.
Viabilidade da produção de carvão ativado a
partir da inflorescência da Macambira / Elson da
Fonseca Silva. - 2022.
37 f. : il.

Orientador: Joselito Medeiros de Freitas
Cavalcante.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Carvão ativado. 2. Macambira. 3. Adsorção.
4. Azul de metileno. I. Cavalcante, Joselito
Medeiros de Freitas, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da Instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ELSON DA FONSECA SILVA

**VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA
INFLORESCÊNCIA DA MACAMBIRA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 10 de junho de 2022

BANCA EXAMINADORA

JOSELITO MEDEIROS DE

FREITAS CAVALCANTE:

87238071487

2022.06.20 15:48:53-03'00"

Prof. Dr. Joselito Medeiros de Freitas Cavalcante (UFERSA)

Orientador

**Damilson Ferreira
dos Santos**

Assinado de forma digital por

Damilson Ferreira dos Santos

Dados: 2022.06.21 10:10:35

-03'00'

Prof. Dr. Damilson Ferreira dos Santos (UFERSA)

Membro Examinador

HUGO DE PAIVA

NUNES:013196134

97

Assinado de forma digital por

HUGO DE PAIVA

NUNES:01319613497

Dados: 2022.06.20 17:23:02

-03'00'

Me. Hugo de Paiva Nunes (UFERSA)

Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me manter firme nas lutas diárias, me abençoando e me protegendo para que eu consiga todos meus objetivos.

Quero agradecer também aos pais, Edson Ferreira da Silva e Arlete da Fonseca Silva, por todo apoio, cuidados, conselhos, e por todos os carinhos nos momentos de dificuldade. Juntamente com meu irmão Antônio Mateus e todos meus parentes mais próximos, tios, tias e avós, minha eterna gratidão por estar ao meu lado.

Agradecer também a uma pessoa muito especial que entrou na minha vida, minha então companheira Maria Estella, uma mulher incrível que esteve e está presente nos meus momentos de felicidade como também de tristeza, obrigado meu amor.

Agradeço ao meu orientador Joselito Medeiros, por toda paciência e atenção, por todos os momentos que acreditou em mim e que me fez capaz de realizar este trabalho.

Por fim, quero agradecer a todos os professores da comunidade da UFERSA/Angicos, que de alguma forma acrescentou e proporcionou conhecimento na minha vida acadêmica e profissional, meu muito obrigado.

“A mais profunda raiz do fracasso em nossas vidas é pensar, ‘Como sou inútil e fraco’. É essencial pensar poderosa e firmemente, ‘Eu consigo’, sem ostentação ou preocupação.”

Dalai Lama

RESUMO

Os carvões ativados são materiais ricos em carbono com área superficial interna e com uma grande porosidade, fazendo com que sejam capazes de adsorver moléculas tanto em fase líquida como gasosa. Este trabalho tem como objetivo avaliar a potencialidade da produção de carvão ativado a partir da inflorescência de Macambira. A Macambira, bastante encontrada na região central do estado do Rio Grande do Norte, uma planta rica em carbono e possuindo uma porosidade natural, tem grande valor para ser uma fonte alternativa e renovável para a produção de carvão ativado. Foi utilizado o teste do corante de azul de metileno na concentração de 48,5 mg/L para o processo de adsorção de carvão ativado, e poder obter o conhecimento se o material é viável ou não. A ativação da inflorescência de Macambira, ocorreu por meio de tratamento térmico em temperatura de 400 °C em forno tipo vertical (Jung 815). Foi utilizado na ativação química uma solução de cloreto de zinco, na concentração de 10% m/v e na proporção de 1:5. Após os processos de pirólise e de ativação química, o carvão ativado produzido apresentou resultado positivo para a adsorção de azul de metileno, mostrando que a inflorescência de Macambira é uma matéria-prima viável para a produção de carvão ativado.

Palavras-chave: Inflorescência; Macambira; carvão ativado; azul de metileno; adsorção.

ABSTRACT

Activated coals are carbon rich materials with internal surface area and with a large porosity, making them capable of adsorbing molecules in both liquid and gas phase. This work aims to evaluate the potential of activated coal production from the inflorescence of Macambira. Macambira, found in the central region of the state of Rio Grande do Norte, a plant rich in carbon and possessing a natural porosity, has great value to be an alternative and renewable source for the production of activated coal. Methylene blue dye test at 48,5 mg/L for the adsorption process of activated carbon, and be able to obtain knowledge whether the material is viable or not. The activation of the Macambira inflorescence occurred through heat treatment at temperature 400 °C vertical type furnace (Jung 815). A solution of zinc chloride has been used for chemical activation, at a concentration of 10% m/v and a ratio of 1:5. After pyrolysis and chemical activation processes, the activated carbon produced has given a positive result for the adsorption of methylene blue, showing that the inflorescence of Macambira is a viable raw material for the production of activated carbon.

Keywords: Inflorescence; Macambira; activated carbon; methylene blue; adsorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos poros de acordo com seu formato: (T) poro de transporte, (B) poro aberto, (C) poro fechado, (I) poro interconectado e (R) poro de conjuntos rugosos.	16
Figura 2 – Macambira (<i>Bromélia laciniosa</i>).....	22
Figura 3 – Inflorescência de Macambira.	25
Figura 4 – Material cortado e colocado dentro de uma lata de aço.....	25
Figura 5 – Forno Jung 815.	26
Figura 6 – Material obtido após a retirada do forno.....	26
Figura 7 – Material após ser passado em peneira #8.....	27
Figura 8 – Carvão a partir da Macambira e carvão ativado comercial.....	28
Figura 9 – Carvão não-ativado de Macambira.	29
Figura 10 – Carvões nos tubos de ensaio junto com a solução de azul de metileno.....	29
Figura 11 – A solução sendo filtrada.....	30
Figura 12 – Filtragem do carvão não ativado de inflorescência da Macambira.....	31
Figura 13 – Filtragem do carvão ativado de inflorescência da Macambira.	32
Figura 14 – Filtragem do carvão ativado comercial a partir da casca de coco.....	32
Figura 15 – Escala de azul de metileno para auxílio.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos poros de acordo com seu diâmetro.	15
Tabela 2 – Principais diferenças entre as adsorções física e química.....	19
Tabela 3 – Resultados obtidos.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C	Antes de Cristo.
BET	Brunauers-Emment-Teller
°C	Graus Celsius
CH ₄	Gás Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂	Gás Hidrogênio
HCl	Ácido Clorídrico
H ₃ PO ₄	Ácido Fosfórico
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
K ₂ CO ₃	Carbonato de Potássio
Kcal mol ⁻¹	Quilocaloria por Mol
KOH	Hidróxido de Potássio
m ² /g	Metro quadrado por grama
(NH ₄)HPO ₄	Fosfato Diamônico
nm	Nanômetro
ZnCl ₂	Cloreto de Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 Carvão ativado.....	14
2.1.1 Aplicações	14
2.1.2 Porosidade	15
2.1.3 Processo de produção	17
2.1.4 Processo de ativação.....	17
2.2 Adsorção.....	18
2.3 Macambira (Bromelia laciniosa)	21
3 OBJETIVOS.....	23
3.1 Objetivo geral	23
3.2 Objetivos específicos.....	23
4 METODOLOGIA.....	24
4.1 Materiais e reagentes	24
4.1.1 Materiais	24
4.1.2 Reagentes.....	24
4.2 Procedimentos	24
4.3 Teste de adsorção.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O carvão ativado é um material bastante utilizado no tratamento de água e efluentes por causa da sua capacidade de adsorção. No entanto, o custo para produzir esses adsorventes é por vezes alto, devido à origem da matéria-prima (BACCAR et. al., 2009). Somado a isso, nos processos de recuperação de adsorventes ocorrem perdas, tornando a utilização do material onerosa. Diante disso, há uma crescente procura por materiais alternativos e de baixo custo que possam ser utilizados na produção de carvão ativado (GONÇALVES, 2007; AUTA, HAMEED, 2011).

A utilização do carvão ativado como um adsorvente está presente em muitos processos tecnológicos, como setores de energia, transporte, industriais e agricultura, no qual apresenta respostas positivas para a preservação do ambiente, pois atua na adsorção de resíduos químicos e gases. Portanto, o carvão ativado vem sendo considerado uma tecnologia acessível para o controle ambiental, quando se obtém esse material a partir de matérias-primas de baixo custo (MEDEIROS, 2005; FERNANDES, 2010).

Pensando em uma produção mais limpa e com a diminuição de gastos durante os processos de produção, alguns materiais agrícolas podem servir de insumo para a produção do carvão ativado, como por exemplo, fibra de juta (SENTHILKUMAAR et. al., 2005), torta de oliva (STAVROPOULOS; ZABANIOTOU, 2005), caroço e cascas de nozes (AYGÜN et. al., 2003), caule de algodão (DENG, et. al., 2011) e casca de tungue (NIEDESBERG et. al., 2012), entre outros.

Diante disso, a inflorescência da Macambira pode ser utilizada como matéria-prima na produção de carvão ativado, pois é um material renovável. Apesar de não ser é um resíduo agrícola, é um material rico em carbono e possui porosidade natural, o qual são ótimos requisitos para a produção de carvão ativado. Dessa forma, partindo-se da ideia de que a Macambira apresenta os principais requisitos para poder produzir carvão ativado, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade da produção e a potencialidade do material.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Carvão ativado

O carvão ativado é um material rico em carbono, e possui a característica de ser um material altamente poroso, o que proporciona uma área superficial de 600 a 1.200 m²/g (REINOSO, 2006), com isso, tem a capacidade de adsorver moléculas, estando na fase líquida ou gasosa, como também impurezas dentro dos seus poros (BASAL et. al., 1988).

O carvão ativado é formado basicamente por uma estrutura grafítica, em que nos vértices e bordas podem alojar diferentes elementos químicos, como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, alojando na forma de grupos funcionais. O oxigênio é o principal átomo encontrado no carvão ativado, estando na rede de carbono, aparecendo nos grupos funcionais como enóis, hidroxila, carbonila e carboxila (GUILARDUCI, et. al., 2006).

A reatividade e as propriedades de adsorção do carvão ativado estão diretamente ligadas aos grupos funcionais que aparecem na superfície do material. Diferentes estudos apontam que as interações físicas ou químicas, como também as propriedades ácido-base da superfície, é o que controlam a adsorção de compostos orgânicos no carvão ativado (GUILARDUCI, et. al., 2006).

Uma superfície de caráter ácido com propriedades para troca de ânions é a que possui muitos átomos de oxigênio, e uma superfície que apresenta característica básica com propriedades para a troca de cátions é a que possui uma pequena quantidade de átomos de oxigênio (SCHNEIDER, 2008).

2.1.1 Aplicações

Há muitos séculos, o carvão ativado era usado na forma de madeira carbonizada. Os egípcios em 1500 a.C., faziam o uso como adsorvente para fins medicinais e também como purificador. Na Índia, os antigos hindus antes de beber água filtravam usando carvão vegetal. Entre 1900 – 1901, iniciou-se uma base para a produção de carvões ativados no intuito de substituir osso carbonizados no refino do açúcar. A preparação para este carvão, partia de uma mistura de origem vegetal com alguns metais clorados ou vapor d'água em materiais carbonizados ou como também o uso de gás carbônico (ROMBALDO, 2008).

O carvão ativado possui bastante aplicações nas indústrias como adsorvente: como no tratamento de água, recuperação de metais preciosos, refino do açúcar e tendo grande eficiência em processos de desodorização do ar e purificação de líquidos ou gases (MUCCIACITO, 2009).

A causa de odores, cor, gosto ou substâncias indesejáveis em produtos, é devido a impurezas que ficam em pequenas proporções na superfície do produto. A remoção dessas impurezas ocorre no processo de adsorção, utilizando o carvão ativado. O mecanismo pela qual isso acontece é que as moléculas (as impurezas) são atraídas e retidas por forças físicas nos poros do carvão ativado. Com isso, após os procedimentos, os produtos ficam purificados e livres das referidas impurezas. O carbono puro presente no carvão ativado, exerce as chamadas forças físicas, chamadas de Van der Waals (soma de todas as forças repulsivas e atrativas, que não sejam de ligações covalentes entre moléculas ou entre a mesma molécula ou de interação eletrostática de íons), responsáveis por reter as impurezas no carvão sem que haja modificação química no produto que foi adsorvido (REINOSO, et. al., 2006).

2.1.2 Porosidade

Três parâmetros fundamentais para determinar as propriedades dos carvões ativados são: área superficial total, o tamanho e a distribuição dos poros. A metodologia descrita por Brunauer-Emmett-Teller (BET) pode ser utilizado para determinar a área superficial total. Fazendo-se o uso da isoterma de adsorção de nitrogênio gasoso, por meio de um Porosímetro (SILVA, 2009).

O desempenho do carvão ativado é determinado pela avaliação de sua porosidade. As características na estrutura do material é que define as diferenças no processo de adsorção. A União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC (1982) estabelece uma classificação para porosidade, observada na Tabela 1 (ANGIN et. al., 2013).

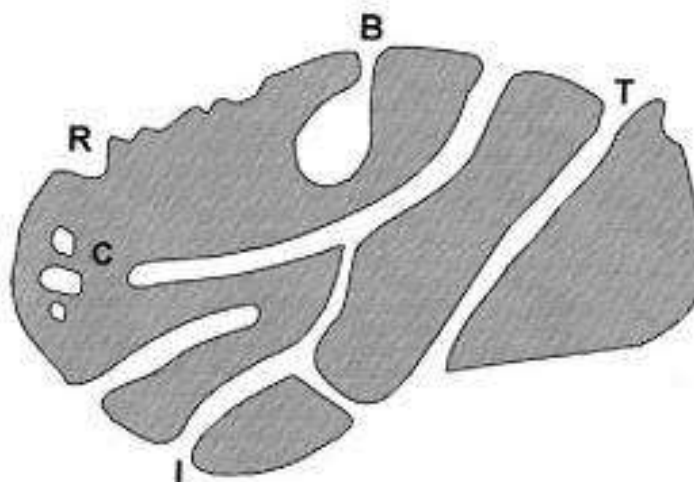
Tabela 1 - Classificação dos poros de acordo com seu diâmetro.

Dimensão dos Poros	Classificação
Diâmetro < 2nm	Microporos
Diâmetro entre 2 e 50 nm	Mesoporos
Diâmetro > 50 nm	Macroporos

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os poros são também determinados pela sua forma. Os buracos em materiais sólidos podem ser classificados como poro aberto ou fechado; um poro aberto, corresponde a buracos que se liga com a superfície externa do material e, um poro fechado, corresponde a um buraco fechado. Se um poro aberto permite o fluxo de um fluido, é chamado de poro de transporte, podendo apresentar ramificações que não contribuem para o fenômeno de transporte. Os principais formatos dos poros em um material sólido podem ser vistos na Figura 1 (ROUQUEROL et. al., 2014).

Figura 1 – Classificação dos poros de acordo com seu formato: (T) poro de transporte, (B) poro aberto, (C) poro fechado, (I) poro interconectado e (R) poro de conjuntos rugosos.



Fonte: ROUQUEROL, 2014.

Os carvões ativados são materiais ricos em carbono e porosos, na qual apresentam uma forma microcristalina não grafítica, que passaram por um processo para aumentar seus poros internamente. Após o processo de ativação, o carvão apresenta uma porosidade interna semelhante a uma rede de túneis que se ramificam em canais menores e assim sucessivamente (CLAUDINO, 2003; AVELAR et. al., 2010).

O processo de ativação no carvão ativado tem como objetivo aumentar a área superficial, de modo que aumente sua porosidade. O intuito da ativação é o controle das características básicas do material como, a resistência mecânica, a área superficial, a porosidade, entre outros.

2.1.3 Processo de produção

Segundo Reinoso (2006), quase todos os materiais que apresentam um grande teor de carbono, podem ser ativados. As matérias-primas que podem ser utilizadas na produção de carvão ativado, devem ser lignocelulósicas e constituídas basicamente por celuloses (composto orgânico natural que apresenta 40% ou mais de carbono) e lignas (macromoléculas contidas nos tecidos vegetais).

O processo de produção de carvão ativado consiste em duas etapas: a primeira seria a carbonização da matéria-prima e em seguida a ativação do carvão, por meio químico ou físico (BORGES et. al., 2003).

A carbonização do material precursor (pirólise) é um tratamento térmico realizado sob a ausência de gás redutor ou oxidante, e em uma temperatura acima de 400 °C. Na pirólise, a preparação do material ocorre com a extração de gases leves e componentes voláteis, como por exemplo, CO, CO₂, CH₄ e H₂ resultantes da decomposição térmica da matéria orgânica com eliminação de espécies não carbônicas e produzindo uma massa fixa de carbono (CRUZ-JUNIOR, 2010).

Os principais parâmetros que irão definir o rendimento e qualidade do carvão produzido são a temperatura final, taxa de aquecimento, o fluxo de gás de arraste e a natureza da matéria-prima utilizada (CLAUDINO, 2003; MOHAN & PITTMAN, 2006).

2.1.4 Processo de ativação

O processo de ativação tem a finalidade de aumentar a área superficial e consequentemente a porosidade, bem como também a criação de mais poros do material precursor. Este processo ocorre após o processo de pirólise do material (carbonização). Pretende-se no processo de ativação, ter controle das propriedades básica do material (atividade química da superfície, distribuição de poros, área superficial específica, resistência mecânica, etc.) conforme a configuração no qual o material será aplicado. A ativação pode ser feita por meio de dois modos: ativação química ou ativação física, ou ainda combinado (REINOSO, 2006).

- Ativação física: consiste na eliminação de impurezas, como os voláteis, com a finalidade em obter uma estrutura constituída basicamente por carbono. Neste meio de ativação, o material é submetido a reações com vapores de água, dióxido de carbono (CO_2) ou em uma mistura desses dois gases a temperaturas superior a $800\text{ }^\circ\text{C}$, após a carbonização, em que as moléculas se ligam fracamente ao material e não alterando as características físicas (CLAUDINO, 2003).
- Ativação química: a matéria-prima é introduzida em um agente ativante, dentre os mais utilizados são sais, ácidos e bases, como por exemplo, ácido fosfórico (H_3PO_4), hidróxido de potássio (KOH), cloreto de zinco (ZnCl_2), ácido sulfúrico (H_2SO_4), fosfato diamônico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), carbonato de potássio (K_2CO_3), e após a impregnação do agente ativante o material precursor é submetido ao processo de pirólise, podendo ocorrer os processos de ativação e de pirólise juntos (ANGIN et. al., 2013). Na ativação química, são utilizadas temperaturas próximas aos $600\text{ }^\circ\text{C}$, com grande eficiência na produção de carvão quando comparada a ativação física; com isso, esse modo de ativação possui vantagens, como temperaturas mais baixas no processo, simplicidade e menor tempo de ativação, desenvolvimento da estrutura porosa e o rendimento da ativação tende a ser maior (AÇIKYILDIZA et. al., 2013; ANGIN et. al., 2013).

Devido às condições dos processos de carbonização e de ativação, como também a origem da matéria-prima utilizada na produção, o carvão ativado terá diferentes características em sua estrutura, na textura e nas suas propriedades superficiais. Além da área superficial interna e porosidade bem desenvolvida, a distribuição dos tamanhos dos poros é uma das mais importantes propriedades que influenciam diretamente no processo de adsorção. Na carbonização ocorre a decomposição da matéria-prima e consequentemente a formação de gases voláteis e resíduos sólidos (carvão) com poros (BOENHORFF, 1980; MULLER, 2008).

2.2 Adsorção

O processo de adsorção é espontâneo, onde as moléculas percorrem e ficam retidas nas superfícies de um sólido, devido a existência de interações nessas superfícies. A adsorção é um dos fenômenos físicos mais utilizados nos estudos de sólidos porosos (SCHETTINO et. al., 2007). A adsorção é um fenômeno físico-químico, no qual o soluto é retirado de uma fase

gasosa ou líquida e transferido para a superfície de uma fase sólida. Portanto, em processos de adsorção, determinamos o sólido de adsorvente, como por exemplo: carvão vegetal, carvão ativado, argilas ativadas, alumina, etc.; e o líquido ou o gás que está sendo adsorvido é determinado como adsorvato (VIEIRA, 2009).

A adsorção é bastante utilizada na remoção de poluentes para a separação de gases na indústria, recuperação de vapores de solventes valiosos, remoção de odores em esgotos, cozinhas e sanitários, secagem de gases, remoção de contaminantes em efluentes industriais, entre outras aplicações (SCHNEIDER, 2008).

Os fatores que devem ser analisados para realizar o processo de adsorção são: natureza do adsorvente, do adsorbato e as condições de adsorção. O que influencia na capacidade de adsorção de um determinado material é a sua área superficial específica, presença, tamanho e distribuição de poros, teor de cinzas, densidade e a natureza de grupos funcionais presentes na superfície (FERNANDES, 2008).

Existem dois meios de adsorção, a física e a química, a diferença entre elas está nas forças que cada uma exerce e a intensidade de ligação entre as moléculas do adsorvente e as moléculas adsorvidas (ALBUQUERQUE-JUNIOR, 2002).

A adsorção física, as forças presentes entre o adsorbato e o adsorvente são um pouco fracas, se assemelhando às forças de atração que ocorre em condensação de vapores. Este tipo de adsorção, essas forças são também chamadas de forças de Van der Waals. A adsorção química, também chamada de quimissorção, ocorre da seguinte forma: os elétrons são transferidos ou compartilhados entre a superfície do adsorvente e o adsorbato, com isso, forma-se uma ligação química entre eles. Portanto, essa interação é mais forte que a adsorção física (DI BERNARDO e DANTAS, 2002; MULLER, 2008).

As principais diferenças entre adsorção química e adsorção física está presente na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais diferenças entre as adsorções física e química.

Adsorção Física	Adsorção Química
Causada por forças de Van der Waals	Causada por forças eletrostáticas e ligações covalentes

Não há transferência de elétrons	Há transferência de elétrons
Calor de adsorção = 2 – 6 Kcal mol ⁻¹	Calor de adsorção = 10 – 200 Kcal mol ⁻¹
Fenômeno geral para qualquer espécie	Fenômeno específico e seletivo
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção	A camada adsorvida só é removida por aplicação de vácuo e aquecimento a temperatura acima da adsorção
Formação de multicamadas abaixo da temperatura crítica	Somente há formação de monocamadas
Acontece somente abaixo da temperatura crítica	Acontece também a altas temperaturas
Lenta ou rápida	Instantânea
Adsorvente quase não é afetado	Adsorvente altamente modificado na superfície

Fonte: Revista Química Nova, vol. 24, Nº 6, 808-818, 2001.

Com o carvão ativado ocorre principalmente adsorção física. As moléculas gasosas possuem menos graus de liberdade no estado adsorvido em comparação ao estado livre, com isso, sua entropia diminui durante o processo de adsorção, mas é um processo espontâneo e reversível. Para que as moléculas do adsorbato sejam distribuídas em equilíbrio entre a superfície do sólido e a fase gasosa, depende da temperatura e pressão do gás que está sendo adsorvido (DI BERNARDO e DANTAS, 2002; MULLER, 2008).

A força motriz para que haja a migração dos componentes de uma fase para a outra é a diferença de concentrações entre o seio do fluido e a superfície do adsorvente. Geralmente o adsorvente é composto por partículas que são acomodadas em um leito fixo por onde passa a fase fluida continuamente até que não tenha mais transferência de massa. Como o adsorbato concentra-se na superfície do adsorvente, quanto maior é essa superfície maior será sua capacidade de adsorção. Por esse motivo, geralmente os adsorventes são sólidos e bastante porosos (FERNANDES, 2010).

2.3 Macambira (*Bromelia laciniosa*)

A Macambira é uma planta endêmica do nordeste brasileiro. Pertencente à família das Bromélias, pode ser encontrada em afloramentos rochosos e nas áreas preservadas da caatinga. Essa bromélia é muito relevante no nordeste devido à escassez de períodos chuvosos, sendo usada na alimentação de animais em períodos de estiagem, e até sendo utilizada na alimentação de humana por causa da sua capacidade de suportar grandes períodos de seca (SÁ, 2016).

A Bromélia laciniosa possui suas folhagens finas podendo chegar ao comprimento de um metro, possui raízes finas e superficiais, características de plantas que se desenvolve em terras áridas. A Macambira se alimenta do ar presente na atmosfera, possuindo umidade suficiente que garanta sua sobrevivência durante longos períodos de seca. Esta espécie pode ser encontrada em diversas cores, podendo variar do verde claro, verde escuro, verde cinza, e até mesmo em roxo escuro (FARIAS et. al., 2011). A Macambira apresenta um caule que possui forma cilíndrica onde suas folhas estão distribuídas entorno do seu caule. O tamanho da planta é variado e possui um fruto numa baga que tem cerca de 3 a 5 centímetros de comprimento e o diâmetro que varia de 10 a 20 milímetros. Quando madura as bagas apresentam uma cor amarela lembrando um cacho de banana (ANGELIM, 2007).

Pode-se definir inflorescência como sendo uma haste, ramos ou sistemas de ramos caulinares que produzem flores. As inflorescências são divididas em dois grandes grupos: o grupo das inflorescências racemosas, na qual esse tipo possui um eixo principal que termina em uma gema e cresce mais que os ramos laterais; e o grupo das cimosas, caracterizada por eixos que terminam em uma flor (SANTOS, s. d.; SOUSA, 2010).

Segundo Sousa (2010), a inflorescência pode ser classificada em dois tipos: a inflorescência simples, onde os ramos de primeira ordem como por exemplo: racemo, espiga, espádice, umbela, carimbo, amento, pleiocásio, e entre outros; e os de segunda ordem, que são os ramos que possui mais de uma ordem, como por exemplo: duplo racemo, dupla espiga, panícula, tirso, e entre outros. A inflorescência racemo tem como característica possuir um pêndulo simples e alongado portando flores laterais. Esse tipo de inflorescência é um único pêndulo com diversas flores aglomeradas que brotam envolta da haste. A haste tem uma estrutura semelhante à da cortiça, com uma grande porosidade aparente.

A Figura 2, mostra uma foto de uma macambira.

Figura 2 – Macambira (*Bromélia laciniosa*).



Fonte: Natureza Bela, 2011.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo a produção de carvão ativado a partir da inflorescência da Macambira, utilizando como agente ativante o cloreto de zinco, e o azul de metileno para teste de adsorção.

3.2 Objetivos específicos

- Comparar a eficiência do carvão a partir da macambira com um carvão comercial;
- Avaliar a eficiência do carvão ativado e sem o processo de ativação;
- Avaliar o uso do carvão produzido na filtragem de azul de metileno em solução aquosa.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado os materiais e equipamentos utilizados, como também os procedimentos realizados na produção de carvão ativado a partir da macambira.

4.1 Materiais e reagentes

4.1.1 Materiais

- Forno Jung 815
- Estufa
- Balança
- Tubos de ensaio
- Funil
- Papel filtro
- Balão de Erlenmeyer
- Agitador Vórtex

4.1.2 Reagentes

- Ácido Clorídrico
- Cloreto de zinco
- Azul de metileno

4.2 Procedimentos

O experimento ocorreu no Laboratório de Química, no Bloco I da UFERSA – Campus Angicos, sendo realizado em duas etapas. A primeira etapa consiste no processo de carbonização (pirólise) do material e a segunda etapa consiste no processo de ativação do material.

A primeira etapa ocorreu a coleta da matéria-prima, a inflorescência de macambira. A coleta foi feita no município de Angicos/RN, localizado na região central do estado do Rio

Grande do Norte. Ainda nesta etapa, o material coletado foi cortado em pequenos pedaços e colocado dentro de uma lata de aço. A Figura 3 mostra a inflorescência de macambira cortada sendo feita a pesagem.

Figura 3 – Inflorescência de Macambira.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 4, mostra o material cortado e colocado dentro de uma lata de aço para que ocorra o processo de pirólise.

Figura 4 – Material cortado e colocado dentro de uma lata de aço.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Após o material ser cortado e colocado dentro de uma lata de aço, a lata foi tampada e levada ao Forno Jung 815, em uma temperatura de 400 °C durante 2 horas. A Figura 5, corresponde ao forno Jung 815, usado para o processo de pirólise do material.

Figura 5 – Forno Jung 815.



Fonte: Autoria própria, 2022.

O material obtido após o processo de queima pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Material obtido após a retirada do forno.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Em seguida, o material obtido após o tratamento térmico foi moído e em seguida passado em peneira #8, afim de obter granulados menores conforme é visto na Figura 7.

Figura 7 – Material após ser passado em peneira #8.



Fonte: Autoria própria.

Ocorrido a primeira etapa, em que foi feito todo o processo de pirólise, parte-se para segunda etapa, a ativação química do material.

Parte do material peneirado foi ativado quimicamente da seguinte forma: uma amostra desse material foi imersa em uma solução de cloreto de zinco – ZnCl_2 , na concentração de 10 % m/v e na proporção de 1:5 (carvão:solução, massa:volume). A amostra foi imersa em solução e o sistema foi coberto com um filme plástico, permanecendo em repouso por 24 horas. Decorrido este tempo, a amostra foi lavada com água destilada e seca em estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

O material após seco, foi colocado em um recipiente de aço fechado, e pirolisado novamente por tratamento térmico, em forno tipo vertical (Jung 815), a 400°C , a uma taxa de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, sendo mantida nessa temperatura durante 2 horas. O carvão ativado foi lavado com uma solução de ácido clorídrico – HCl ; 2 mol/L, para a remoção e desobstrução dos poros. Ao final do processo, a amostra foi seca em estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas, seguindo o mesmo processo feito por De Costa (2015).

4.3 Teste de adsorção

Para comparar a efetividade do carvão foi utilizado uma solução de azul de metileno na concentração de 48,5 mg/L.

Para ter uma comparação dos carvões produzidos, foi utilizado um carvão ativado comercial produzido a partir da casca de coco da marca Carbon Clear. Esse foi moído em um almofariz com o auxílio de um pistilo, para diminuir ao máximo tamanho dos grânulos. Tendo em vista que o carvão feito com a inflorescência apresenta uma densidade muito baixa. Carvão em uma densidade baixa ajuda em processos de adsorção.

A Figura 8, mostra o carvão produzido a partir da Macambira a 400 °C sem tratamento (lado esquerdo) e o carvão ativado comercial de casca de coco da marca Carbon Clear (lado direito).

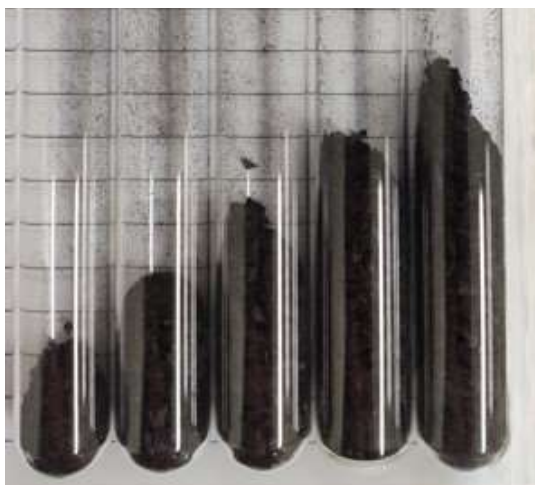
Figura 8 – Carvão a partir da Macambira e carvão ativado comercial.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Foi utilizado 10 ml da solução de azul de metileno e uma variação de 100, 200, 300, 400 e 500 mg de carvão não-ativado, ativado e comercial, colocado dentro de tubos de ensaio. A Figura 9 mostra a distribuição do carvão nos tubos de ensaio.

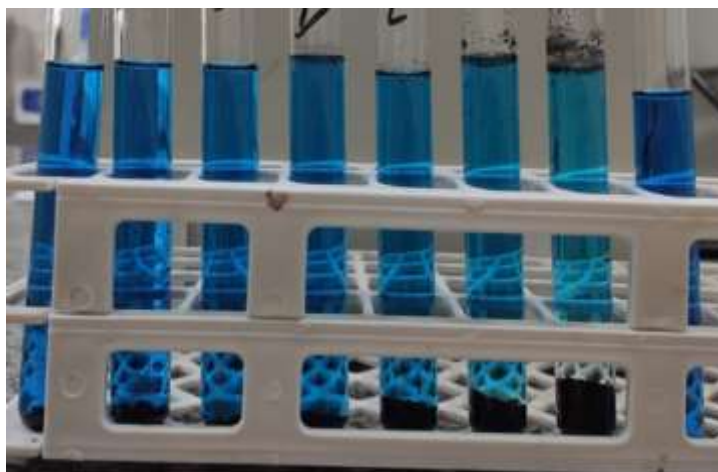
Figura 9 – Carvão não-ativado de Macambira.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Após a disposições dos carvões nos tubos de ensaio, foi adicionado 10 ml da solução de azul de metileno em cada um dos tubos e agitados por 1 minuto em um agitador vórtex, e posteriormente ficou em repouso por 24 horas. A Figura 10 mostra os tubos de ensaio com o carvão juntamente com o azul de metileno.

Figura 10 – Carvões nos tubos de ensaio junto com a solução de azul de metileno.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Após o tempo de repouso a solução foi filtrada com auxílio de um funil, papel filtro e balão de Erlenmeyer. A Figura 11 mostra como foi feito a filtração.

Figura 11 – A solução sendo filtrada.



Fonte: Autoria própria, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados do experimento, afim de avaliar a viabilidade da produção de carvão ativado a partir da inflorescência da Macambira e comparar com o carvão ativado comercial a partir da casca de coco.

A Figura 12, mostra a filtragem correspondente ao carvão não ativado produzido da inflorescência de Macambira.

Figura 12 – Filtragem do carvão não ativado de inflorescência da Macambira.



Fonte: Autoria própria, 2022.

As soluções após a filtragem, somente a amostra A, de 100 mg, apresentou uma coloração com um pequeno tom de azul, resquício do azul de metileno. As demais tiveram uma solução incolor após a filtragem.

A análise do carvão ativado produzido a partir da inflorescência de Macambira. A Figura 13, corresponde a filtragem do material após as 24 horas de repouso.

Figura 13 – Filtragem do carvão ativado de inflorescência da Macambira.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A amostra K, de 100 mg, apresentou um tom azul mais evidente comparada as demais amostras. A amostra L, de 200 mg, a solução após a filtragem também teve um tom azul, porém menos evidente que a solução da amostra K. As demais soluções ficaram incolores.

Por último, foi feito a observação ao carvão ativado comercial a partir da casca de coco no teste de adsorção do azul de metileno. O carvão ativado após as 24 horas de repouso, podemos observar que em todas as amostras mostram uma tonalidade azul, sendo mais evidente em teores menores de carvão. A Figura 14, mostra as soluções obtidas após o processo de filtragem.

Figura 14 – Filtragem do carvão ativado comercial a partir da casca de coco.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Foi criada uma escala de azul de metileno para auxiliar nos resultados obtidos. A Figura 15 mostra a escala criada.

Figura 15 – Escala de azul de metileno para auxílio.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Tabela 3, mostra todos os resultados obtidos de cada amostra conforme a escala.

Tabela 3 – Resultados obtidos.

Carvão	Amostra	Teor de carvão na solução (g/ml)	Resultado
Macambira	A	0,01	Pouco presente
	B	0,02	Não perceptível
	C	0,03	Não perceptível
	D	0,04	Não perceptível
	E	0,05	Não perceptível
Macambira ativado	K	0,01	Muito presente
	L	0,02	Pouco presente
	M	0,03	Não perceptível
	N	0,04	Não perceptível
	O	0,05	Não perceptível
Carvão comercial	F	0,01	Muito presente
	G	0,02	Muito presente
	H	0,03	Moderado

	I	0,04	Pouco presente
	J	0,05	Pouco presente

Fonte: Autoria própria, 2022.

Portanto, a melhor amostra para o processo de limpeza da solução foi a amostra B, do carvão não ativado produzido a partir da Macambira, tendo o menor teor de carvão para a limpeza da solução de azul de metileno.

A macambira apontou ser uma ótima matéria-prima para a produção de carvão. A inflorescência da macambira já apresentou bons resultados apenas na primeira queima e com um teor de 200 mg, e também a amostra de 300 mg com ativação. É provável que, pela temperatura usada no processo de pirólise (queima do material) tenha deixado um pouco de matéria orgânica, o que facilita a adsorção do azul de metileno. Além disso, possui uma grande área superficial comparada por exemplo ao carvão ativado comercial, aumentando ainda mais sua funcionalidade em processos de adsorção de azul de metileno.

Um ponto a ser destacado, é que o carvão ativado da macambira teve menos efetividade em suas amostras do que o próprio material sem o processo de ativação. Isso pode ter ocorrido por causa da segunda etapa, tratamento químico juntamente com uma nova queima, em que pode ter retirado mais a matéria orgânica e o tornado menos eficiente para o processo de adsorção desse tipo de corante.

Diante disso, foram comparados os carvões produzidos com o carvão ativado comercial, onde o carvão da macambira, seja ativado ou não, mostrou resultados melhores, possivelmente por possuir uma área superficial maior e uma porosidade natural melhor. Mediante ao exposto, é um estudo preliminar e necessita de mais estudos e aprofundamentos, mas, ao menos a princípio, os resultados obtidos são bastante promissores.

6 CONCLUSÃO

O carvão a partir da inflorescência de macambira, tanto a amostra do carvão não ativado como ativado, tiveram bons resultados. A amostra de carvão não ativado que obteve pior resultado foi a amostra A, de 100 mg, em que é possível observar uma leve coloração azul, resquício do corante presente em solução aquosa. As amostras K e L, de 100 mg e 200 mg, respectivamente, correspondentes ao carvão ativado da inflorescência da macambira, foi possível verificar um tom azul mais forte na amostra K e um tom azul mais leve na amostra L. Já o carvão ativado comercial (carvão ativado produzido a partir da casca de coco), em todas as amostras apresentaram uma tonalidade azul, sendo mais intensa nas amostras que tem teores menores de carvão. O carvão não ativado produzido com teor de 200 mg teve bom resultado, como também o carvão ativado produzido, com teor de 300 mg. Portanto, pode-se concluir que, a inflorescência de macambira apresenta grande viabilidade para a produção de carvão ativado, com grande aplicação para a remoção de corantes sintéticos presentes em soluções aquosas

REFERÊNCIAS

AÇIKYILDIZA, M.; GÜRSER, A.; KARACA, S. Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with chemical activation. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 198, p. 45–49, 2014.

ALBUQUERQUE-JUNIOR, E. C. **Carvão ativado do mesocarpo do coco verde – produção, otimização e aplicação na adsorção do corante Remazol black B**. Recife – PE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – UFPE, 2002. Dissertação de Mestrado, 72 p.

ANGIN, D.; KÖSE, T. E.; SELENGİL, U. Production and characterization of activated carbon prepared from safflower seed cake Biochar and its ability to absorb reactive dyestuff. **Applied Surface Science**, v. 280, p. 705–710, 2013.

ANGELIM, Ana Ester Sampaio et. al. Germinação e Aspectos Morfológicos de Plantas de Macambira (Bromélia laciniosa), encontradas na Região do Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 1065-1067, jun. 2007.

AUTA, M.; HAMEED, B. H. Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye, *Chemical Engineering Journal*, v. 171, p. 502-509, 2011.

AVELAR, F. F. et. al. The use of piassava fibers (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbono. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4639-4645, 2010.

AYGÜN, A.; YENISOY-KARAKAS, S.; DUMAN, I. Production of granular activated carbon from fruit Stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 66, p. 189–195, 2003.

BACCAR, R.; BOUZID, J.; FEKI, M.; MONTIEL, A. Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, p. 1522–1529, 2009.

BASAL, R. C. et.al. **Active carbono**: Marcel Dekker inc. 1988.

BOENHORFF, J. Active carbon adsorption, v, 1: **Annual Arbor Science Publishers**, 1980.

BORGES, F. M. et. al. Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21. out. 2003, Ouro Preto, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2003. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0502_0601.pdf. Acesso em: 21 março 2022.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. (Dissertação de mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://ww2.enq.ufsc.br/teses/m101.pdf> . Acesso em: 15 mar. 2022.

CRUZ-JUNIOR, O. F. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região Amazônica**. Manaus – AM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – UTFPR, 2010. Dissertação de Mestrado, 73 p.

DE COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M. DOMINGUINI, L., Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Cascas de Nozes para Adsorção de Azul de Metileno. *Rev. Virtual Quim.*, 2015, 7 (4), 1272-1285. Data de publicação na Web: 3 de março de 2015.

DENG, H.; LU, J.; LI, G.; ZHANG, G.; WANG, X. Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Chemical Engineering Journal*, v. 172, p. 326– 334, 2011.

DI BERNARDO, L. et. al. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2002. 237 p.

FARIAS, N. S.; CAVALCANTI, M. T., EULLER, S. C. W. S.; FEITOSA, V. A.; FLORENTINO, E. R. Elaboração de biscoitos tipo cookie enriquecido com macambira (Bromélia Laciniosa). **Revista Verde**. v. 6, p. 50-57, 2011.

FERNANDES, F. L. *Carvão de endocarpo de coco da baia ativado Quimicamente com ZnCl_2 e fisicamente com vapor d'água: Produção, caracterização, modificações químicas e Aplicação na adsorção de íon cloreto*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química, do Centro de Ciências Exatas e da Natureza. João Pessoa – PB, novembro – 2008.

FERNANDES, K. A. Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água. **Revista da Graduação da PUC**, v. 3, n. 2, 2010. Disponível em: <http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/7906> . Acesso em: 03 mar. 2022.

GONÇALVES, M. et al. “Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso”, *Revista Ciência Agrotécnica*, v. 31, p. 1386-1391, set-out. 2007.

GUILARDUCI, V. V. S.; MESQUITA, J. P.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. *Química Nova*, v. 29, p. 1226-1232, 2006.

MEDEIROS, L. L. Obtenção de Carvão ativado via oxidação química, a partir de resíduos lignocelulósicos para estocagem de gás natural. **Relatório das atividades para CNPQ**, Brasília, DF, 2005.

MOHAN, D.; PITTMAN JR, C. U. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri and hexavalent chromium from water. **Journal of Hazardous Materials**, n. 137, p. 762-811, 2006.

MUCCIACITO, J. C. Uso eficiente do carvão ativado como meio filtrante em processos industriais. **Meio Filtrante**, v. 39, ano VIII, 2009.

MULLER, C.C. **Avaliação da Utilização de Carvão Ativado em Pó na Remoção de Microcistina em Água para Abastecimento Público**. Porto Alegre, 2008. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ecologia. UFRGS.

NIEDERSBER, C. *Ensaios de adsorção com carvão ativado produzido a partir da casca do tungue (Aleurites Fordii), resíduo do processo de produção de óleo*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental. Outubro 2012.

REINOSO, R. F.; MARSH, H. **Activated carbon**. 1. ed. London: Elsevier, 2006.

ROMBALDO, Carla Fabiana Scatolim. **Síntese de carvão ativado e óleo combustível a partir de borracha de pneu usado**. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, 2008. (Dissertação de mestrado), Universidade de Campinas, 2008.

ROUQUEROL, F.; ROUQUEROL, J.; SING, K. S. W.; LLEWELLYN, P.; MAURIN, G. **Adsorption by Powders and Porous Solids Principles, Methodology and Applications**. 2^a ed. França, 2014. 611 p.

SÁ, Eduardo Henrique de. **Semiárido: O fogo da Macambira na Caatinga**. Disponível em: <http://www.xapuri.info/meio-ambiente/biodiversidade/semiario-fogo-macambira-caatinga/>. Acesso em: 06 maio. 2022.

SANTOS, Vanessa Sardinha Dos. **“O que é inflorescência?”**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/o-que-e/biologia/o-que-e-inflorescencia.htm>. Acesso em: 06 maio. 2022.

SCHETTINO-JUNIOR, M. A.; FREITAS, J. C. C.; CUNHA, A. G.; EMMERICH, F. G. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. **Química Nova**, v. 30, p. 1663-1668, 2007.

SCHNEIDER, E. L. Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado. Toledo – PR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – UNIOESTE, 2008. Dissertação de Mestrado, 79 p.

SENTHILKUMAAR, S. et al. Adsorption of methylene blue onto jute fiber carbon: kinetics and equilibrium studies. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 284, p. 78-82, 2005.

SILVA, J. **Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em**

solo. Porto Alegre – RS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRS, 2009. Tese de doutorado, 202 p.

SOUSA, G. M.; BARROS, R. F. M. **Morfologia vegetal das fanerógamas.** Centro de Educação Aberta à Distância. EDUFPI, 2010, 155p.

STAVROPOULOS, G. G.; ZABANIOTOU, A. A. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 82, p. 79–85, 2005.

TEIXEIRA, V. G.; COUTINHO, F. M. B.; GOMES, A. S. Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas à base de divinilbenzeno. **Química Nova**, v. 24, p. 808-818, 2001.

VIEIRA, H. M. **Estudo teórico e experimental de coletor adsorativo.** João Pessoa – PB, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – UFPB, 2009. Dissertação de Mestrado, 96 p.