



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TOCANTINS  
CAMPUS PALMAS  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**RICARDO RESPLANDES DE SOUSA PAZ**

**ESTUDO DO CARVÃO DE COCO-DA-BAÍA EM PROCESSO DE  
ADSORÇÃO**

**PALMAS  
2021**

**RICARDO RESPLANDES DE SOUSA PAZ**

**ESTUDO DO CARVÃO DE COCO-DA-BAÍA EM PROCESSO DE  
ADSORÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**PALMAS  
2021**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

---

P348e Paz, Ricardo Resplandes de Sousa  
ESTUDO DO CARVÃO DE COCO-DA-BAÍA EM PROCESSO DE  
ADSORÇÃO / Ricardo Resplandes de Sousa Paz. – Palmas, TO,  
2021.  
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia  
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do  
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Adsorção. 2. Carvão. 3. Pirólise. I. Pedroza, Marcelo Mendes.  
II. Título.

**CDD 624**

---

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins  
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a).**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**RICARDO RESPLANDES DE SOUSA PAZ**

### **ESTUDO DO CARVÃO DE COCO-DA-BAÍA EM PROCESSO DE ADSORÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil Instituto Federal do Tocantins - *Campus* Palmas, como exigência à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

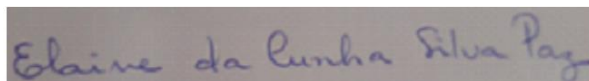
Aprovado em: 29/09/2021

#### **BANCA AVALIADORA**



---

Dr. Marcelo Mendes Pedroza  
Orientador  
(IFTO)



---

Me. Elaine da Cunha Silva Paz  
(IFTO)



---

Me. Michelle Ludmila Guedes dos Santos  
(IFTO)

“Daria tudo que sei pela metade do que ignoro”  
-René Descartes

Dedico este trabalho ao meu avô Francisco Resplandes Rocha (in memoriam), que nos deixou há pouco tempo, mas fez tanto por nossa família ao longo de sua vida, com todo meu amor e gratidão.

## AGRADECIMENTOS

À toda minha família, em especial meus pais José Ricardo e Rosângela, minhas irmãs Letícia, Patrícia e Laura, vocês são meu exemplo e razão de luta. As minhas sobrinhas Laís e Larissa, que são fonte infinita de amor. Muito obrigada por estarem comigo, me incentivando, amparando e suprindo de formas, energias e momentos inimagináveis que não me deixaram desistir.

Ao professor Dr. Marcelo Mendes Pedroza, por ter me acolhido e permitido sua orientação na realização desse trabalho, comparecendo, instruindo e compartilhando comigo sua experiência, e por ser um profissional e pessoa digno de admiração.

A professora Msc. Elaine Paz pelas valiosas e incontáveis horas dedicadas, sendo uma constante fonte de motivação e incentivo ao longo dos anos de pesquisa. Muito obrigado pela sua presença.

A toda equipe do laboratório Larsen, em especial a téc. de laboratório Evanúzia Miranda, professora Msc Michelle Ludmila e todos pesquisadores com que compartilhei troca de conhecimento.

Aos meus amigos de vida e/ou de curso, pessoas com quem dividi sorrisos e aflições, que se fizeram presente no meu cotidiano e repartiram comigo esse processo lindo desafiador, entre os quais cito: Arthur, Alice, Digão, Gustavo, Eduardo, Clara, Leonardo, Celso, Tiago, Heyllane, Jhenny, Vitin, Gabriel, Henrique Pablo, Warllem e Matheus. Vocês foram e são fundamentais no decorrer de todos esses anos.

A todos os professores do curso, que se dedicam e apostam todos os dias nos seus alunos, meu muito obrigada a cada um.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), *Campus* Palmas, e todos os envolvidos na concretização desse sonho.

A todos, meu imenso agradecimento!

## RESUMO

O Brasil é o quinto maior produtor de coco-da-baía do mundo, detém de condições climáticas e solo adequado para o cultivo do fruto. A biomassa gerada pelas cascas do coco verde tem se mostrado como uma alternativa em potencial na produção de carvão vegetal, por intermédio do processo termoquímico de pirólise. O presente trabalho estudou o potencial adsorvente do carvão de coco-da-baía. A caracterização da biomassa e carvão foram realizadas análise imediata, pH, análise elementar, densidade aparente, MEV, umidade, teor de lignina, celulose e hemicelulose. O carvão usado no processo de adsorção foi obtido através de pirólise em reator de leito fixo na temperatura de 550° C, sendo nitrogênio o gás de araste com vazão de 4 ml/mim, taxa de aquecimento de 10°C/mim. As análises de caracterização da biomassa e do carvão de coco apresentaram valores favoráveis a produção e utilização para fins de adsorção. A microscopia eletrônica de varredura do carvão demonstrou que a superfície porosa. Na análise de adsorção do corante azul de metileno, constatou-se que 9,54 g de carvão obtido por pirólise da fibra de coco-da-baia adsorveu 28 mg de corante em solução. Os resultados de adsorção de cloro em filtro descendente apresentaram 100% de adsorção em um longo período de ensaio, com média de 149 miligramas de cloro retido por grama de carvão.

**Palavras-chave:** Adsorção. Carvão. Pirólise. Coco da baía.



## ABSTRACT

Brazil is the fifth largest producer of coconut in the world, has climatic conditions and soil suitable for growing the fruit. The biomass generated by green coconut shells has been shown to be a potential alternative in the production of charcoal, through the thermochemical process of pyrolysis. The present work studied the adsorbent potential of coconut-da-bay charcoal. The characterization of biomass and charcoal were carried out by immediate analysis, pH, elemental analysis, bulk density, SEM, moisture, lignin, cellulose and hemicellulose content. The coal used in the adsorption process was obtained through pyrolysis in a fixed bed reactor at a temperature of 550°C, with nitrogen being the drag gas with a flow rate of 4 ml/min, heating rate of 10°C/min. Biomass and coconut charcoal characterization analyzes showed favorable values for production and use for adsorption purposes. Scanning electron microscopy of the charcoal demonstrated that the surface was porous. In the methylene blue dye adsorption analysis, it was found that 9.54 g of charcoal obtained by pyrolysis of coconut fiber adsorbed 28 mg of dye in solution. The results of chlorine adsorption on a downward filter showed 100% adsorption over a long test period, with an average of 149 milligrams of chlorine retained per gram of charcoal

**Keywords:** Adsorption. Coal. Pyrolysis. Coconut from the bay.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>2</b>
<b>3.1 Produção de coco-da-baía no Brasil</b> .....	<b>2</b>
<b>3.2 Problemas ambientais com os resíduos do coco-da-baía</b> .....	<b>4</b>
<b>3.3 A utilização sustentável das cascas de coco-da-baía</b> .....	<b>5</b>
<b>3.4 Pirólise</b> .....	<b>6</b>
<b>3.5 Adsorção</b> .....	<b>7</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>9</b>
<b>4.1 Coleta do coco-da-baía e preparo da biomassa</b> .....	<b>9</b>
<b>4.2. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA</b> .....	<b>11</b>
4.2.1 Análise imediata da Biomassa do coco-da-baía.....	11
4.2.2 Análise do Teor de Lignina, Celulose e Hemicelulose .....	12
4.2.3 Cálculo da densidade aparente.....	12
4.2.4 Análise elementar (CNH) .....	13
<b>4.3 PRODUÇÃO DE CARVÃO</b> .....	<b>13</b>
4.3.1 FABRICAÇÃO DE BRIQUETES .....	13
4.3.2 Pirólise em reator de leito fixo e rendimento .....	14
<b>4.4 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO</b> .....	<b>15</b>
4.4.1 Análise Imediata.....	15
4.4.2 pH.....	15
4.4.3 Análise Elementar (CNH) .....	16
<b>4.5 Análise de Adsorção de Corantes em Filtro Descendente do Carvão</b> .....	<b>16</b>
4.5.1 Adsorção de azul de metileno .....	16
4.5.2 Adsorção de cloro .....	17
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1 Caracterização da Biomassa</b> .....	<b>19</b>
5.1.1 Análise Imediata da Biomassa de coco.....	19
5.1.2 Teores de Lignina, Celulose, e Hemicelulose da Biomassa de coco .....	20
5.1.3 Densidade aparente da biomassa.....	21
5.1.4 Análise Elementar da biomassa .....	21
<b>5.2 Caracterização do Carvão</b> .....	<b>22</b>
5.2.1 Análise imediata.....	22
5.2.2 Análise de pH .....	2
5.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	2
5.2.4 Índice de Azul de Metileno .....	4

5.2.5 Adsorção de cloro .....	5
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>7</b>
<b>REFERENCIAL .....</b>	<b>8</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

<a href="#">Figura 1: Histórico produção nacional de coco-da-baía</a> .....	3
<a href="#">Figura 2: Produção nacional de coco-da-baía por regiões em 2019</a> .....	4
<a href="#">Figura 3: Evolução metodológica</a> .....	10
<a href="#">Figura 4: Corte Longitudinal do coco-da-baía</a> .....	11
<a href="#">Figura 5: Biomassa triturada e moída</a> .....	11
<a href="#">Figura 6: Densidade aparente</a> .....	14
<a href="#">Figura 7: Brique de Biomassa da Fibra de coco</a> .....	15
<a href="#">Figura 8: Reator de leito fixo</a> .....	16
<a href="#">Figura 9: Filtro descendente de carvão da fibra de coco</a> .....	18
<a href="#">Figura 10: Esquema do sistema de filtração</a> .....	19
<a href="#">Figura 11: Microfotografias de carvão de fibra de coco obtido no processo de pirólise</a> .....	25
<a href="#">Figura 12: Percentual de remoção de Azul de metileno</a> .....	27
<a href="#">Figura 13: Adsorção de cloro</a> .....	28

## LISTA DE TABELAS

<a href="#">Tabela 1: Resultado da análise da densidade da fibra de coco</a> .....	20
<a href="#">Tabela 2: Composição química (%) da fibra de coco.</a> .....	21
<a href="#">Tabela 3: Composição química (%) da fibra de coco estudada.</a> .....	22
<a href="#">Tabela 4: Densidade da fibra de coco.</a> .....	22
<a href="#">Tabela 5: Análise elementar da fibra de coco</a> .....	23
<a href="#">Tabela 6: Análise Imediata em finos de carvão</a> .....	23
<a href="#">Tabela 7: pH do Carvão</a> .....	24

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIações**

Art.- Artigo

ASTM- American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana de Testes e Materiais)

CNUMAD- Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INT- Instituto Nacional de Tecnologia

OCDE- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

SEAD- Secretaria Especial da Agricultura Familiar e Desenvolvimento Agrário

SEAGRO- Secretaria do Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

UTDs- Unidades Técnicas Demonstrativas com culturas Oleaginosas

PAM – Produção Agrícola Municipal

## LISTA DE SÍMBOLOS

CO<sub>2</sub>- dióxido de carbono

cm- centímetros

°C- graus centígrados

g- gramas

H<sub>2</sub>O- água

kg- quilograma

kg/l- quilograma por litro

min- minuto

mL- mililitro

m<sup>3</sup>- metro cúbico

NO<sub>2</sub>- dióxido de nitrogênio

OH- radical hidroxila

pH- potencial hidrogeniônico

SO<sub>2</sub>- dióxido de enxofre

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado do coco verde no Brasil tem crescido nos últimos anos, tanto pelo aumento de áreas de plantios, com o coco anão verde destinado à produção de água, quanto pelo incremento do consumo da água de coco, impulsionados principalmente pela inclusão de hábitos saudáveis no comportamento da população brasileira (MARTINS, 2014).

A produção de coco verde em 2019 foi de 1,6 bilhão de frutos no Brasil (PAM/IBGE, 2019). Quando depositados de forma inadequada, os resíduos sólidos podem causar mau cheiro, degradar a paisagem, colocar em risco o meio ambiente e contribuir para a proliferação de mosquitos transmissores de doenças (SILVEIRA, 2008).

Para atender as demandas geradas pelas industriais e uma crescente preocupação com as questões ambientais têm-se buscado pesquisar materiais que possam potenciais em tratamento e ou redução de poluentes sejam estes em meio atmosférico e/ou aquoso.

A biomassa gerada pelas cascas do coco verde tem se mostrado como uma alternativa em potencial na produção de carvão vegetal, por intermédio do processo termoquímico de pirólise

A pirólise pode ser definida como a degradação térmica do material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou mesmo num ambiente comum a concentração de oxigênio capaz de impedir a gaseificação intensiva do material orgânico. A pirólise ocorre, a partir de a uma temperatura de 400 ° C, até ao início do sistema de gaseificação (PEDROZA,2011).

Utilizar resíduos da agro-industria para produção de carvão vegetal é uma opção relativamente barata ou sem custo, fácil disposição de material e ambientalmente vantajosa (ZHANG, 2020).

A poluição da água é um dos problemas ambientais mais indesejáveis do mundo e requer soluções. As indústrias têxteis produzem uma grande quantidade de água residual, que contém uma série de contaminantes, incluindo sólidos dissolvidos ácidos ou cáusticos, compostos tóxicos e quaisquer corantes diferentes, muitos desses corantes são cancerígenos, mutagênicos e



teratogênicos e também tóxicos para seres humanos, espécies de peixes e microrganismos (ALJEBOREE, 2017).

Existem vários métodos disponíveis para a remoção de poluentes de águas e efluentes, como separação por membrana, degradação aeróbia e anaeróbia usando vários microrganismos, oxidação química, coagulação e floculação e osmose reversa. A técnica de adsorção, que se baseia em a transferência de poluentes da solução para a fase sólida, é conhecida como um dos métodos de maior eficiência de tratamento de água (ALJEBOREE, 2017).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo avaliar a produção e potencial adsorvente em moléculas orgânicas do carvão obtido por pirólise em reator de leito fixo de resíduos sólidos do coco verde.

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterização da biomassa e carvão da fibra de coco-da-baía;
- 2- Calcular o rendimento da produção de carvão em reator de leito fixo;
3. Verificar a eficácia de adsorção do carvão de coco-da-baía em solução de corante azul de metileno e cloro.

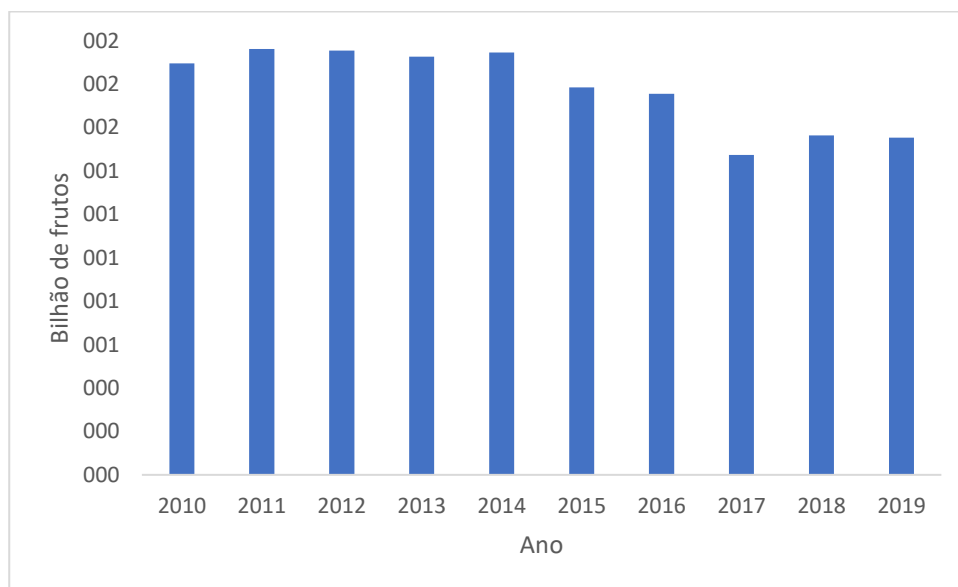
## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Produção de coco-da-baía no Brasil**

O Brasil é o quinto maior produtor de coco do mundo, com participação de 4,5% do total mundial. Os cultivos brasileiros destinam-se à produção de coco seco *in natura*, coco ralado, lite de coco e água de coco. As variedades formas de apresentação desses produtos têm promovido o aumento do consumo industrializado (BRAINER, 2020).

A produção de coco verde em 2019 foi de 1,6 bilhão de frutos no Brasil. O gráfico da Figura 1 apresenta a produção nacional dos últimos 9 anos.

*Figura 1: Histórico produção nacional de coco-da-baía*

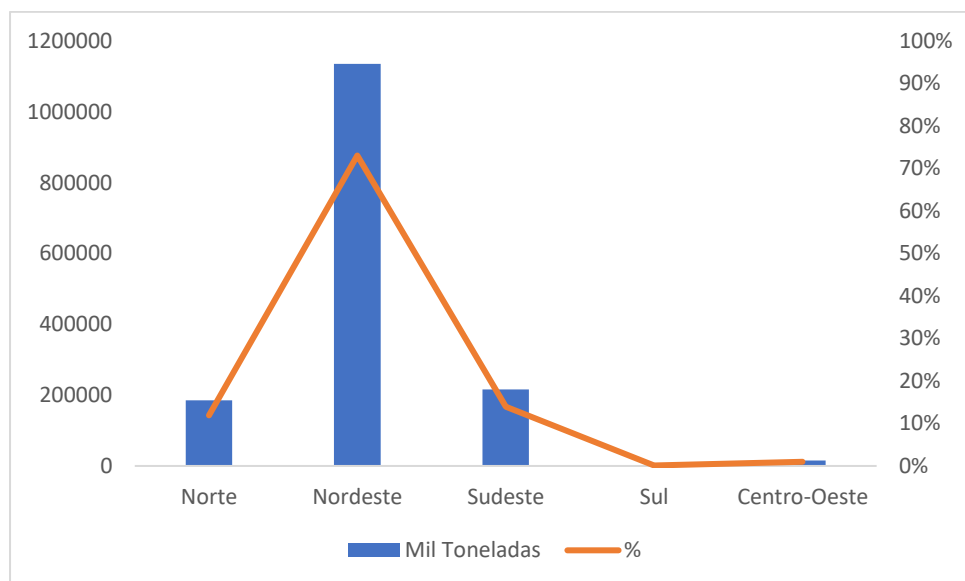


Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal

A produção de coco-da-baía no ano de 2016 foi a menor apresentada no gráfico da Figura 1. Apesar do declínio sofrido entre 2015 e 2017, percebe-se que o aumento nos anos seguintes, reforçando a retomada das safras e possível aumento da área do plantio.

Em função de boas condições climáticas para o fruto, a maior parte do Brasil produz coco-da-baía. No ano de 2019 a região Nordeste respondeu por 73% da produção nacional, destacando-se os estados da Bahia, com 333,734 mil toneladas e participação de 21,5% da produção do País: Ceará com 302,748 mil toneladas; Sergipe com 152,820 mil toneladas e Pernambuco com 144,5 mil toneladas. Na Região Sudeste, o maior produtor foi o Espírito Santo, com 146,019 mil toneladas (SIDRA/IBGE, 2019).

Figura 2: Produção nacional de coco-da-baía por regiões em 2019



Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (2019).

A região Nordeste ocupada a posição de maior produtora, com 73% da população nacional, posição que foi conquistada desde a inserção de plantios em seu litoral e que ainda se mantem.

### 3.2 Problemas ambientais com os resíduos do coco-da-baía

A agricultura é uma das principais atividades econômicas do Brasil, sendo fundamental para a produção de alimentos. No entanto, estas atividades agroindustriais geram uma grande quantidade de resíduos que podem ser consideradas biomassa tornado matéria prima para outros processos (KIELING, 2016).

Segundo Fontenele (2005), o processamento do coco é uma atividade geradora de resíduos, após retirar-se o albúmen sólido de interesse para a obtenção de coco ralado e da água-de-coco, restam as partes fibrosas representadas pelo exocarpo, mesocarpo e endocarpo, as quais constituem cerca de 45,0% dos componentes do fruto. Tais resíduos são de difícil descarte, sendo enviados para lixões e aterros sanitários, além de elevar os custos da indústria com transporte até esses locais.

Pesquisadores da Embrapa acreditam que sejam descartados no Brasil cerca de sete milhões de toneladas de cascas de coco por ano. A casca de coco-da-baía é considerada um resíduo de complexa degradação, podendo ser foco de proliferação de doenças, causar mau cheiro, degradar a paisagem e colocar em risco o meio ambiente (MARTINS, 2011)

A matéria orgânica residual das atividades agrícolas, comerciais e industriais, quando disposta em aterros sob condições anaeróbicas tem como consequência a geração de metano, que é um dos mais importantes gases responsáveis pelo aquecimento global, com a segunda maior concentração no mundo (PASSOS, 2005).

Pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, Martins e Jesus Jr (2010), estimam que sejam descartados no Brasil cerca de sete milhões de toneladas de coco por ano. Vale ressaltar, que os resíduos de coco é um material nobre que pode ser aproveitado de várias formas, sendo um material de alto valor para a indústria e para a agricultura.

### **3.3 A utilização sustentável das cascas de coco-da-baía**

No Brasil, a lei nº 594, de 24 de dezembro de 1948 concede incentivos ao uso da fibra de coco. Qualquer empresa legalmente constituída para a exploração industrial da fibra, com o aproveitamento da matéria prima nacional, possui isenção de imposto de importação e taxas aduaneiras. Ao gozarem dos benefícios, as empresas estarão obrigadas a submeter previamente a exame e aprovação do Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio todos os planos, permitir as visitas de alunos de determinados cursos, quando acompanhados de professores e não acarretarem perturbações do serviço entre outras obrigações. A isenção dos direitos de importação somente será concedida quando os maquinismos e materiais destinados à fábrica não tiverem similares no país, nos termos da legislação vigente. A falta de cumprimento de qualquer das obrigações assumidas pela empresa, será punida com a multa, a juízo do Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio sendo dever operar sempre o aproveitamento de matéria prima nacional.

Senhoras (2004) informa que os resíduos provenientes da produção do coco podem ser aproveitados na indústria de tintas, na indústria automobilística (confecção de estofamentos de automóveis), fabricação de capachos para utilização em portas de residências ou condomínios, indústria da construção civil como carga para preparação de alguns tipos de cimento, na produção de briquetes para geração de energia.

Cabral (2015) buscou avaliar o potencial da casca de coco verde como matéria-prima na produção de etanol de segunda geração. Satiro et al., (2012) também estudou a possibilidade de usar a fibra da casca do coco verde como matéria-prima para a obtenção de etanol lignocelulósico, através da deslignificação das fibras e obtenção de açúcares fermentáveis.

De acordo com Pereira (2012), a fibra de coco pode ser empregada na construção civil sob a forma pranchas pré-moldadas ou na utilização do fibrocimento devido a sua resistência e durabilidade.

Para Mattos et al (2011), a fibra de coco pode ser empregada em diversas finalidades como estofamento de veículos, colchões, tecidos, manta geotexteis, substrato agrícola, dentre outros.

Segundo Silva (2008), o endocarpo in natura pode ser comercializado para a produção de carvão ativado e ou combustível, dado o seu poder calorífico. Atualmente, este material é vem sendo utilizado para revestimento de paredes e móveis na forma de pastilhas, e outros produtos ligados a atividades artesanais.

De acordo com Pedroza *et al.*(2014), o carvão também pode ser empregado na remoção de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas de efluentes, substituindo o carvão ativado comercial. Além disso, podem ser utilizados em caldeiras e fornos tubulares, fornos comerciais (pizzaria, padaria, etc) e uso doméstico (lareiras e churrasqueiras).

### **3.4 Pirólise**

A pirólise pode ser definida como a degradação térmica do material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou mesmo num ambiente com uma concentração de oxigênio capaz de impedir a gaseificação intensiva do material orgânico. A pirólise ocorre, a partir de a uma temperatura, de 400 ° C, até ao início do sistema de gaseificação (PEDROZA, 2011).

No processo de pirólise ocorre a ruptura de ligações carbono-carbono e a formação de ligações carbono-oxigênio. Trata-se portanto de um processo de oxidação e redução no qual uma parte da biomassa é reduzida a carbono, enquanto a outra é oxidada e hidrolisada, originando compostos fenólicos, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos (GOMÉZ, 2011).

Para Santos (2011) o processo de pirólise ocorre da degradação da biomassa por meio do aquecimento, formando o carvão, óleo e gás pirolítico, sendo que as condições do reator são fatores determinantes no processo de rendimento dos produtos gerados.

De acordo com PEDROZA *et al.* (2010), o uso do resíduo sólido urbano (RSU) como matéria-prima na obtenção de biocombustíveis a partir da aplicação de processo térmico, apresenta-se como uma alternativa ambientalmente viável, que tem como vantagens o fato de prevenir impactos ambientais futuros, advindos da disposição incorreta desse resíduo no meio ambiente, e por possibilitar a obtenção de um produto de valor econômico, como o bio-óleo e gases combustíveis, transformando assim um resíduo em matéria-prima.

Assim, a pesquisa da aplicação do processo de pirólise de resíduos sólidos urbanos- RSU para obtenção de biocombustíveis mostra-se como uma importante alternativa de aproveitamento e agregação de valor ao resíduo ao transformá-lo em matéria-prima de processos. Nesse sentido busca-se avaliar condições experimentais satisfatórias para obtenção de carvão, e bio-óleo, com o intuito de contribuir com ações de pesquisas voltadas a sustentabilidade, ao desenvolvimento regional relacionada a questões ambientais.

O carvão ativado é um material que apresenta alta capacidade de adsorção, sendo eficiente e amplamente utilizado para tratamento de água e efluentes. Entretanto, a fabricação desses adsorventes é de elevado custo devido à origem e o valor da matéria-prima (GONÇALVES (2007). Nesse sentido existe um crescente interesse na busca de materiais alternativos de baixo custo que possam ser utilizados na produção de carvão ativado.

### **3.5 Adsorção**

A crescente contaminação dos sistemas de água doce com milhares de compostos químicos naturais e industriais têm um grande impacto na saúde

mundial. As ingestões de agentes patógenos, mesmo em baixas concentrações, ocasionam problemas de saúde (TEIXEIRA, 2014).

O interesse no processo de adsorção se intensificou nos anos de 1970, com o interesse de remoção de substâncias orgânicas de águas para abastecimento, devido a preocupação de agentes contaminantes de esgotos industriais, municipais e da produção agrícola (CRITTENDEN et al., 2012).

Algumas substâncias inorgânicas e orgânicas indesejáveis presentes na água destinado a consumo humano, podem requerer tratamento complementar aos processos empregado nas estações de tratamento de água (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção) (Müller, 2008). A adsorção de poluentes por carvão vegetal ativado é uma das técnicas mais efetivas e seguras utilizadas para o tratamento de água (BRINQUES, 2005).

A adsorção de substâncias é um fenômeno de transferência de massas que ocorre na interação de três componentes: adsorvente, adsorvato e solvente (normalmente é a água). Na fase líquida, estão as moléculas a serem adsorvidas, chamadas de adsorvato. A fase sólida, onde se dá a adsorção, chama-se de adsorvente. Os adsorvatos são retidos na superfície do adsorvente por forças químicas como pontes de hidrogênio, interação dipolo-dipolo e forças de Van de Waals, a reação é reversível. As moléculas acumulam-se na superfície do adsorvente até a reação de adsorção se equilibre com a reação de dessorção, atingindo o equilíbrio e não ocorre mais acumulação (Müller, 2008).

O carvão vegetal ativado é o adsorvente mais utilizado no tratamento de água, este material apresenta a capacidade de melhorar o gosto, cor, odor da água e atua na remoção de micro contaminantes orgânicos (TEIXEIRA, 2014).

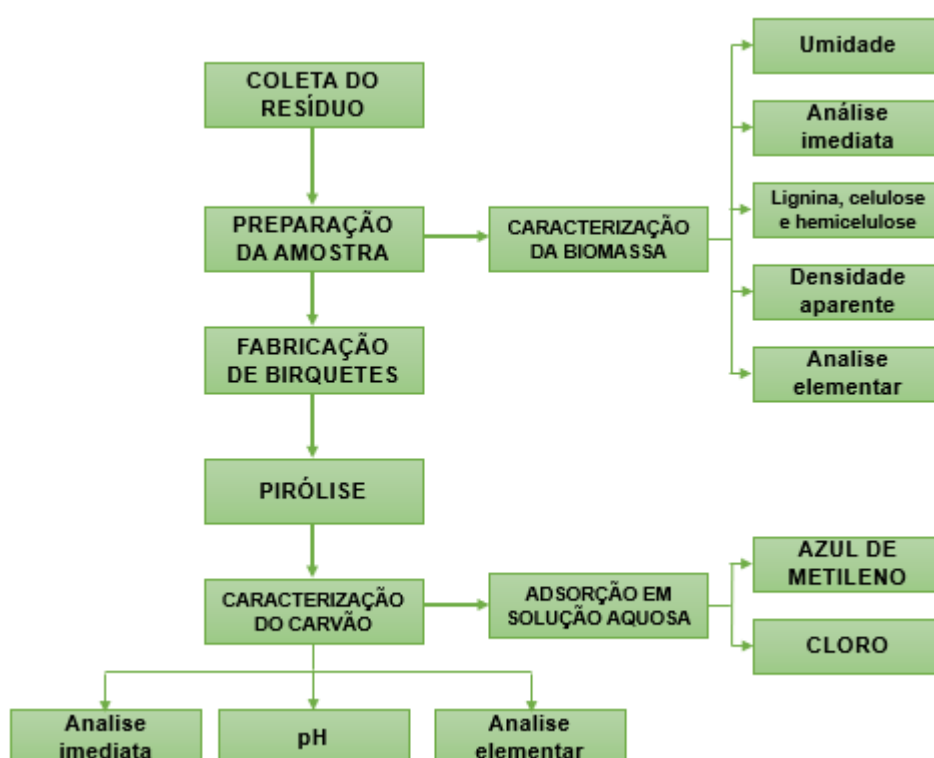
O Brasil ocupa o primeiro lugar na produção mundial de carvão vegetal e, segundo o pesquisador da Embrapa Florestas, Antonio Francisco Bellote, o Brasil deve investir cada vez mais no plantio de florestas para fins comerciais (FROEHLICH E MOURA, 2014)

Por seu desempenho reconhecido, utiliza-se em grande escala o carvão ativado (CA) como adsorvente. Contudo, devido ao impacto ambiental gerado pela sua produção industrial, observam-se estudos sobre adsorventes alternativos como alguns resíduos industriais e agrícolas (KIELING, 2016).

## 4. METODOLOGIA

O material colocado em estudo neste trabalho foi o resíduo proveniente do processo de extração da água de coco verde, ou seja, o fruto verde in natura sem a água, constituídos, portanto, da epiderme, mesocarpo fibroso, endocarpo e albúmen. A Figura 3 apresenta a evolução metodológica dos procedimentos realizados na pesquisa.

Figura 3: Evolução metodológica



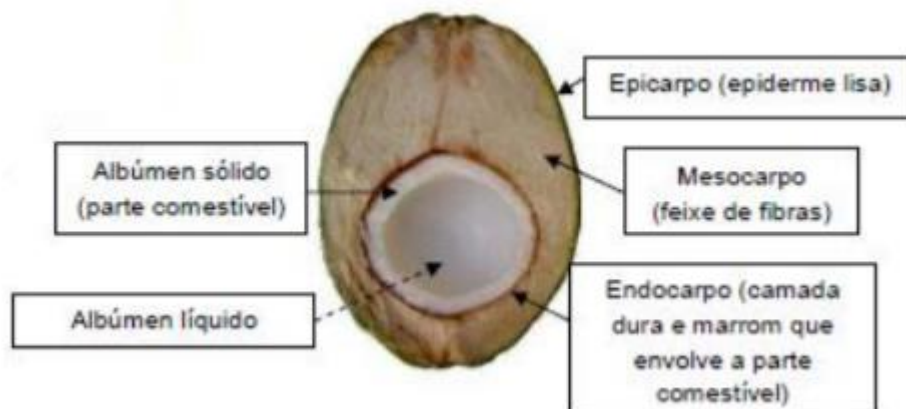
Fonte: Autor 2021

### 4.1 Coleta do coco-da-baía e preparo da biomassa

Os resíduos de coco-da-baía da espécie anão na condição in natura foram coletados no parque Cesamar no setor urbano de Palmas no Tocantins. Os frutos verdes inteiros (mesocarpo e albúmen) foram triturados no triturador de coco modelo TRC-40 5V mono TRAPP para a obtenção da fibra. A Figura 4 apresenta o coco-da baía *in natura* com sua estrutura identificada.



*Figura 4: Corte Longitudinal do coco-da-baía*



Fonte: Pereira (2012)

Com a finalidade de acelerar a obtenção da biomassa, a fibra foi secada em uma estufa de marca Thoth, modelo Th-520-150 a temperatura de 50° C por um período de 24 horas.

Após secagem, a biomassa foi moída e peneirada para verificação da granulometria. A Figura 5 apresenta a biomassa triturado e moída.

*Figura 5: Biomassa triturada e moída*



Fonte: Autor (2021)

Todas as amostras foram trituradas em moinho de facas e peneiradas em peneira com abertura de 0,59 mm (ABNT 30, Tyler 28) para garantir a homogeneidade e facilitar os procedimentos analíticos

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

### 4.2.1 Análise imediata da Biomassa do coco-da-baía

A umidade da fibra de coco foi determinada em conformidade com a norma ASTM D 3173-85, onde a massa de aproximadamente 1g de fibra de biomassa em triplicata é adicionada um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi aquecida a em uma estufa à temperatura de 110 °C por um período de 1 hora. Na sequência o cadinho é colocado em um dessecador por 10 minutos e pesado. O teor de umidade foi determinado pela Equação 1 descrita abaixo:

$$\% \textit{umidade} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A= peso do cadinho + amostra

B= peso do cadinho + amostra após o aquecimento

C= peso do cadinho

De acordo com Sanchez et al (2009), o teor de cinzas pode ser obtido adicionada a massa de aproximadamente 1g de fibra de biomassa em triplicata a um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi calcinada a uma temperatura de 815 °C durante 30 minutos em mufla de marca Coel modelo Hm. Na sequência o cadinho foi colocado em um dessecador por 1 hora e pesado. O teor de cinzas foi determinado pela Equação 2 abaixo:

$$\% \textit{cinzas} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

A= peso do cadinho + amostra

B= peso do cadinho + amostra após o aquecimento

C= peso da amostra

Em conformidade com Sanchez et al. (2009), a determinação do teor de material volátil da biomassa da fibra de coco foi realizada pesando cerca de 1g de amostra em triplicata em um cadinho de porcelana com peso constante pré-

determinado. A amostra foi aquecida em uma mufla à temperatura de 900° C, na ausência de oxigênio. O teor de material volátil foi determinado pela Equação 3 descrita abaixo:

$$\% \text{ material volátil} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

A= peso do cadinho vazio

B= peso da amostra inicial

C= peso do cadinho + amostra final

O teor de carbono fixo foi obtido através da diferença descrita segundo a Equação 4 abaixo.

$$\% CF = 100 - (\% \text{ umidade} + \% \text{ cinzas} + \% \text{ material volátil}) \quad (\text{Equação 4})$$

#### 4.2.2 Análise do Teor de Lignina, Celulose e Hemicelulose

Na determinação dos teores de lignina, celulose e hemicelulose da amostra de coco da baía in natura empregou-se o método de “KLASON” de acordo com Silva; Queiroz (2002). A extração com o método “KLASON” ocorre em 3 etapas, considerando uma sequência de solventes (detergente neutro- DN, detergente ácido – DA, e solução de ácido sulfúrico a 72%). Para o percentual de lignina a solução de ácido sulfúrico foi utilizada na temperatura de 15°C por um período de 3 horas, e em seguida lavagem com água destilada para que na sequência o material fique de molho em acetona por cerca de 2 a 3 minutos.

#### 4.2.3 Cálculo da densidade aparente

Com auxílio de uma proveta de 100 mL em uma balança analítica, adicionou-se biomassa de fibra de coco in natura seca na forma em pó para obter-se as massas (g) nas sucessivas adições nos respectivos volumes de 20mL, 40mL, 60mL, 80mL e 100mL. Irá determina-se a densidade, média e o

desvio padrão. A Figura 6 demonstra a medição.

*Figura 6: Densidade aparente*



Fonte: Autor, (2020)

#### 4.2.4 Análise elementar (CNH)

Amostras de fibra de coco pulverizada *in natura* foram avaliadas através do método de ignição em um analisador elementar Perkin- Elmer CHNS/O 2400 series II com o intuito de determinar os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio da biomassa em conformidade com a norma ASTM D 5373 (ASTM, 2002).

### 4.3 PRODUÇÃO DE CARVÃO

#### 4.3.1 FABRICAÇÃO DE BRIQUETES

Os briquetes de fibra de coco foram produzidos a partir de um volume de biomassa de 500 mL de fibra de coco *in natura* seca na forma de pó. Este volume foi pesado em uma balança de precisão obtendo-se um valor de aproximadamente 60g.

Foi adicionada a biomassa cerca de 100 mL de água destilada para hidratação e deixou em repouso por 60 minutos. Para obtenção do formato de briquetes a mistura obtida entre o ligante e biomassa hidratada foi prensada dentro de um cano de 20 cm de comprimento e 32 mm de diâmetro. Os briquetes obtidos foram secos em uma estufa a 40°C por 24 horas.

A Figura 7 mostra o briquete produzidos a partir da biomassa de fibra de coco para pirólise em reator de pirólise de leito fixo.

*Figura 7: Briquete de Biomassa da Fibra de coco*



Fonte: Autor, (2021)

#### 4.3.2 Pirólise em reator de leito fixo e rendimento

A pirólise da biomassa foi efetuada em um reator de leito fixo bipartido de aço inox, marca FLYEVER do modelo FE50RPN, linha 05/50 com microcontrolador acoplado em um forno tubular 1200°C 1 zona. O reator foi aquecido por forno bipartido de aço inox nas condições de temperatura de 550°C, sendo o nitrogênio o gás de arraste com uma vazão de 4 mL/min, taxa de aquecimento de 10 °C/min

A Figura 8 mostra o reator de pirólise de leito fixo usado no processo de obtenção do carvão em estudo.

*Figura 8: Reator de leito fixo*



Fonte: Autor (2021)

A fibra de coco foi inserida no tubo de vidro do reator em forma de briquete nas dimensões de 20 cm de comprimento e 30 mm de diâmetro. O tempo de residência da biomassa no reator foi de 60 min.

#### **4.4 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO**

##### **4.4.1 Análise Imediata**

Os procedimentos químicos empregados na determinação das análises físico-químicas (teor de cinzas, teor de umidade, material volátil e teor de carbono fixo) do carvão obtido no reator de pirólise de leito fixo seguiram a mesma metodologia descrita entre os itens 4.2.1 a 4.2.4 para caracterização da fibra de coco.

##### **4.4.2 pH**

O pH do carvão obtido através da pirólise em reator de leito fixo foi determinado de acordo com a norma JIS K1474. O procedimento consistiu em

adicionar a um elermeyer de 200 mL, 1 g de carvão e 100 mL de água deionizada. Levou a mistura a quecimento e deixou em ebulição por 5 minutos, resfriando a temperatura ambiente. Na mistura já resfriada adicionou-se 100mL de água deionizada e em seguida mediu-se o pH da suspensão com um pH-metro de marca Orion Star, modelo A201.

#### 4.4.3 Análise Elementar (CNH)

Com a finalidade de se conhecer os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio no carvão de fibra de coco utilizou-se a mesma metodologia da análise elementar da fibra do coco descrita no item 4.2.8.

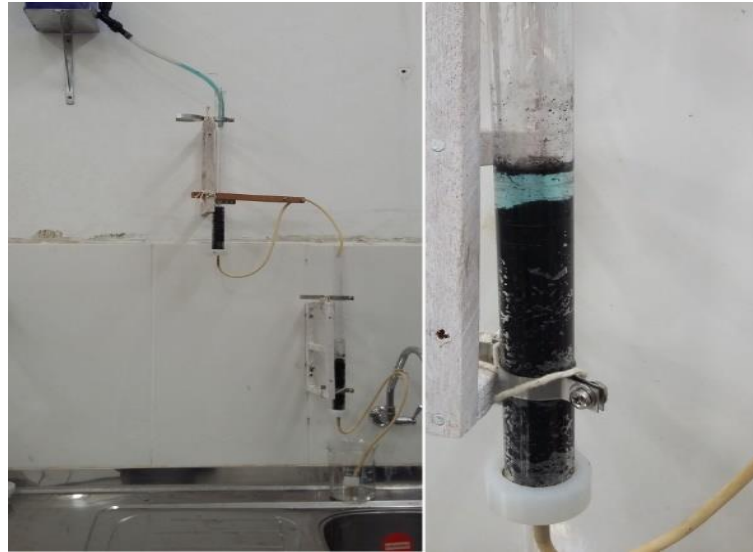
### **4.5 Análise de Adsorção de Corantes em Filtro Descendente do Carvão**

#### 4.5.1 Adsorção de azul de metileno

Para a realização da análise do índice de azul de metileno aplicou-se a norma JIS K 1474 da Japanese Industrial Standard. A leitura da absorvância foi realizada em 665 nm em um espectômetro NOVA- 2000 para obtenção dos resultados.

O teste feito em filtro descendente contendo carvão de coco para a adsorção foi avaliada as seguintes variáveis do processo: tempo, granulometria do carvão e concentração do corante. Utilizou-se corantes sintéticos do tipo azul de metileno na concentração de 9,3 mg/L, conforme a Figura 9.

*Figura 9: Filtro descendente de carvão da fibra de coco*



Fonte: Autor (2020)

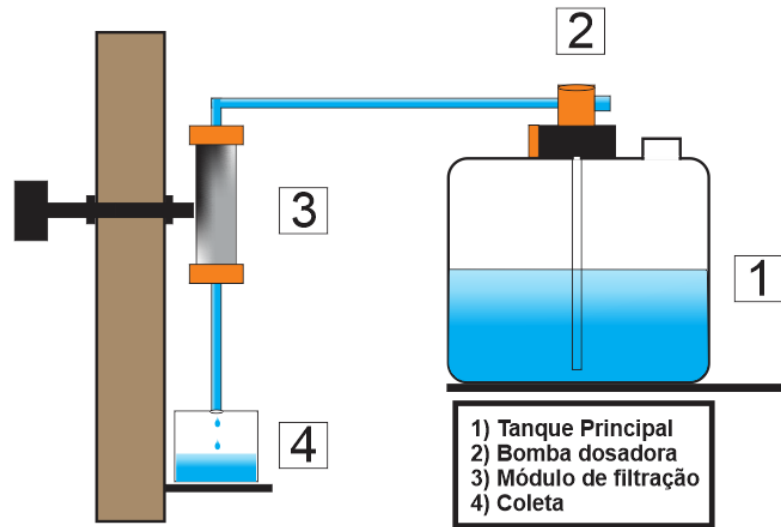
#### 4.5.2 Adsorção de cloro

O ensaio para a avaliação de adsorção de cloro foi realizado de acordo com a Norma Técnica ABNT 16098;2012, que estabelece os requisitos e métodos de ensaios para os aparelhos para a melhoria da qualidade da água potável. Utilizou-se uma bomba dosadora da marca ProMinent, modelo D-69123 Heidelber, que alimentou com solução de água com cloro uma coluna com 8 gramas de carvão de coco.

O sistema montado para o ensaio é ilustrado na Figura 10. A bomba dosadora manteve fluxo contínuo com vazão média 5 ml/min e a solução de água com cloro utilizada no ensaio foi preparada com a concentração de 2 mg/L, concentração máxima de cloro permitida para consumo humano de acordo com a Portaria Portaria 2914 (2011) expedida pelo Ministério da Saúde, e que dispõe os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.



Figura 10: Esquema do sistema de filtração



Fonte: PAZ (2018)

A concentração de cloro foi aferida pelo clorímetro da marca *Tecnal* modelo YSI 900, trata-se de um instrumento para a medição de cloro total ou cloro livre. As análises foram realizadas com amostras da solução de cloro antes e depois de ser tratada pelo carvão.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização da Biomassa

#### 5.1.1 Análise Imediata da Biomassa de coco

Os teores de cinzas, umidade, materiais voláteis e carbono fixo foram obtidos através de análise imediata realizada em triplicatas, conforme Tabela 1.

*Tabela 1: Resultado da análise da imediata da fibra de coco*

Biomassa	Análise Imediata (%)			
	Cinzas	Umidade	Material Volátil	Carbono Fixo
Fibra de Coco	1,97	7,7	81,3	8,94

**Fonte:** Autor, (2020)

Entende-se por combustão a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Logo para obter o teor de cinzas fez-se necessário submeter a amostra ao processo de combustão. Para VALE *et al* (2004) o teor de cinzas obtido no coco verde in natura, será superior em coco verde quando comparado a valores encontrados em coco seco por diretamente relacionado com a presença de substâncias minerais, tais como: cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio. Estes sais minerais encontram-se principalmente concentrada no mesocarpo camada espessa rica em fibras.

A umidade é correspondente à perda, em peso, sofrida pelo produto quando é aquecido em condições na qual a água é removida. Na verdade, não é apenas água a ser removida, mas também outras substâncias voláteis nessas condições. Durante este processo, é favorável que os poros do carvão que está sendo produzido aumentem, sendo uma condição favorável para o processo de adsorção.

Segundo McKendry, (2002) o teor de voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás por aquecimento, sendo assim, o teor de voláteis é quantificado medindo-se a fração de massa da biomassa que volatiliza durante o processo de aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C. Sabemos

que o material volátil está diretamente relacionado a ignição, haja vista que, quanto maior o teor de material volátil maior será a reatividade e conseqüentemente a ignição. Já o teor de carbono fixo (CF) representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade.

#### 5.1.2 Teores de Lignina, Celulose, e Hemicelulose da Biomassa de coco

A Tabela 2 está apresentando os resultados à estrutura química da fibra de coco. Faz se necessário que se chame atenção que a diferença obtida para o valor de 100% é referente ao teor de cinzas e de extrativos aqui não avaliados.

*Tabela 2: Composição química (%) da fibra de coco.*

<b>Biomassa</b>	<b>Lignina</b>	<b>Celulose</b>	<b>Hemicelulose</b>
Fibra de Coco	32,1	36,0	11,2

Fonte: Autor, (2020)

A determinação dos teores de cada composto químico (lignina, celulose e hemicelulose) presente na fibra de coco é de suma importância uma vez que a composição da biomassa está diretamente relacionada como o produto final da pirólise. É interessante também ressaltar que a decomposição dos compostos químicos ocorre em faixas de temperatura diferentes, enquanto a hemicelulose e a celulose se decompõem nas faixas de temperaturas de 220 – 315°C e 315-400°C respectivamente a lignina irá se decompor em uma faixa de temperatura bem mais ampla de 160- 900C.

Os valores obtidos na composição química da fibra de coco encontram-se bem próximos dos respectivos valores encontrados por outros pesquisadores de acordo com a Tabela 3.

*Tabela 3: Composição química (%) da fibra de coco estudada.*

<b>Pesquisadores</b>	<b>Lignina</b>	<b>Celulose</b>	<b>Hemicelulose</b>
Figueiredo (2011)	31,77	35,88	10,81
Cabral (2015)	40,10	24,70	12,26

**Fonte:** Figueiredo (2011); Cabral (2015)

### 5.1.3 Densidade aparente da biomassa

A densidade aparente é uma correlação entre a massa da biomassa e o espaço permitido para a circulação de ar. O valor para a densidade encontrado a biomassa de fibra de coco é apresentado na Tabela 4. Segundo Brito et al. (1987) elevados valores de densidades possibilita a produção de carvões mais densos, e, portanto, de qualidade mais desejáveis.

*Tabela 4: Densidade da fibra de coco.*

<b>Biomassa</b>	<b>Densidade</b>
Fibra de Coco	0,1581 g/ mL

Fonte: Autor, (2020)

O baixo valor pode significar uma estrutura de fibra bastante porosa, isso desconsiderando que em meio aos seus grãos contenham os vazios preenchidos por ar.

### 5.1.4 Análise Elementar da biomassa

De acordo com Cortez et al (2010), os valores obtidos na análise elementar (Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio) podem variar em virtude da variedade analisada bem como do grau de maturação. Na Tabela 5, observa-se a composição elementar da fibra de coco estudada bem como um comparativo com os resultados obtidos por outros autores, o que demonstra uma proximidade de valores encontrados inclusive com estudos realizados no exterior.

Tabela 5: Análise elementar da fibra de coco

Análise Elementar		Outros autores		
Elementos	Valores (%)	Figueiredo (2011)	Cortez <i>et al</i> (2008)	Andrade <i>et al</i> (2004)
Carbono (C)	<b>45,1</b>	44,18	42,11	48,23
Hidrogênio (H)	<b>6,8</b>	6,74	5,23	5,23
Nitrogênio (N)	<b>0,4</b>	0,53	2,98	2,98
Enxofre (S) /Oxigênio (O)	<b>47,7</b>	48,55	-	33,31
Enxofre (S)	-	-	0,12	0,12

Fonte: Autora (2017); Figueiredo (2011); Cortez *et al.*, (2008)

Uma elevada concentração de carbono é uma característica da potencialidade energética da biomassa vegetal, e está correlacionado ao poder calorífico. Os teores de enxofre e nitrogênio em uma biomassa estão relacionados com o potencial poluidor após sua combustão, uma vez que são passíveis de formar compostos como óxidos de nitrogênio (NOx) e de enxofre (SOx).

## 5.2 Caracterização do Carvão

### 5.2.1 Análise imediata

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados obtidos nas análises imediatas do carvão.

Tabela 6: Análise Imediata em finos de carvão

Análise Imediata (%)			
Cinzas	Umidade	Material Volátil	Carbono Fixo
7,23	5,76	43,79	43,22

Fonte: Autor, (2020)

As cinzas representam os minerais existentes no carvão vegetal. Valores elevados de cinzas representam um carvão de má qualidade no qual pode provocar corrosão dos equipamentos utilizados na pirólise.

A umidade corresponde à perda, em peso, sofrida pelo produto quando é aquecido em condições na qual a água é removida, nessas mesmas condições outras substâncias voláteis também evaporam.

A determinação de material volátil e de carbono fixos é de fundamental importância, uma vez que, valores elevados de material volátil e baixo teor de carbono fixo correspondem a uma estrutura com baixa estabilidade.

O carbono fixo promove a estabilidade e resistência térmica. A quantidade de carbono fixo é diretamente relacionada a estrutura do carvão vegetal. Enquanto valores de material volátil elevados sugerem que a estrutura do carvão vegetal, apresente níveis de porosidade, elevado como também densidade reduzida, o que é favorável no processo de adsorção.

### 5.2.2 Análise de pH

A análise de pH do carvão vegetal permite avaliar as interações eletrostáticas, fator determinante em um processo de adsorção. A Tabela 7 apresenta valor obtido em análise do pH do carvão.

*Tabela 7: pH do Carvão*

<b>Carvão</b>	<b>pH</b>
Fibra de Coco	8,5

Fonte: Autor, (2020)

Sabe-se que as características ácidas ou básicas de um carvão são determinadas pelo seu modo de preparação bem como aos grupos químicos disponíveis em sua superfície. O pH do carvão analisado é de natureza básica, sugerindo a inexistência de grupos ácidos e oxigênio em sua superfície.

### 5.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

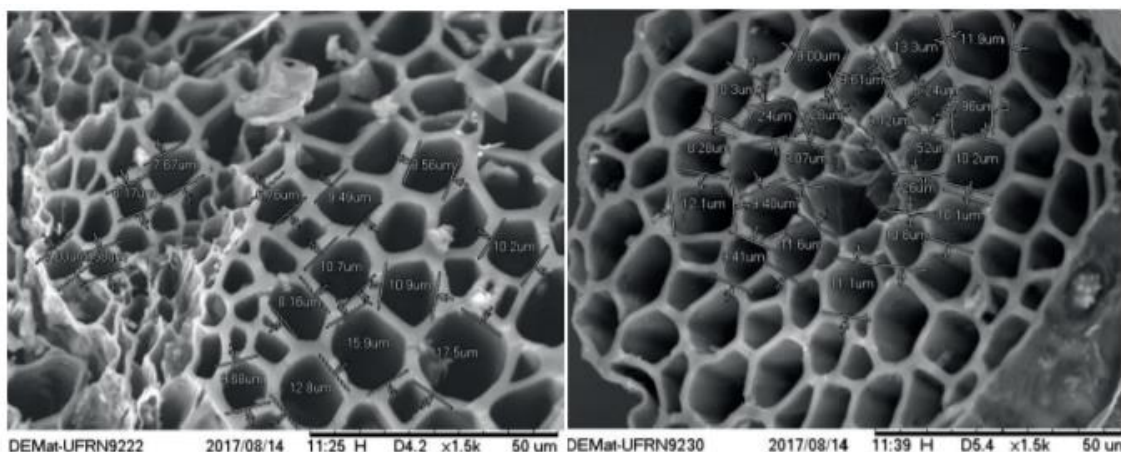
A microscopia eletrônica de varredura foi empregada com a finalidade de se adquirir informações da estrutura e a distribuição dos poros da superfície do carvão de coco formado no processo de pirólise.

Segundo Mohan et al., (2014) o processo de pirólise confere ao carvão uma estrutura microporosa ao carvão formado com potencial de filtração e

adsorção de poluentes orgânicos e inorgânicos. É importante salientar que de acordo com Westerhof et al., (2009) as propriedades dos produtos formados a partir de pirólise sofrem influência significativa de acordo com a temperatura atribuída ao processo.

Na Figura 11 estão apresentadas imagens obtidas com magnitudes 500 e 1,0k vezes o tamanho da amostra.

*Figura 11: Microfotografias de carvão de fibra de coco obtido no processo de pirólise*



Fonte: Autor, (2020)

Observando as imagens apresentadas nas Figuras 11 é possível identificar uma vasta quantidade de poros com forma esférica que se dispõe com tamanho e de maneira uniforme. Admite-se, portanto que a elevada quantidade de poros pode contribuir com uma maior da área superficial, porém não é fator determinante.

Na Figura 11 é possível observar uma superfície rugosa, com presença de fendas, assim como a presença de microcristais, que provavelmente trata-se de depósitos inorgânicos de silicatos impregnados na fibra. Os silicatos, compostos formado por átomos de silício e oxigênio ( $\text{Si}_x\text{O}_y$ ) são minerais constituintes das rochas, logo sua presença evidencia a influência do solo na composição da fibra de coco. Pode-se inferir mediante a imagem que não se trata de uma estrutura compacta, o que sugere uma matéria com presença de espaços vazios. Estes espaços vazios, em um processo de pirólise podem contribuir na transferência de calor e, portanto no processo de degradação termogravimétrico.

A Figura 11 também fornece informações sobre o tamanho dos poros

observados no carvão de fibra de coco obtido no processo de pirólise. Segundo Mohan et al., (2014) o processo de pirólise confere ao carvão uma estrutura microporosa ao carvão formado com potencial de filtração e adsorção de poluentes orgânicos e inorgânicos. É importante salientar que de acordo com Westerhof et al., (2009) as propriedades dos produtos formados a partir de pirolise sofrem influência significativa de acordo com a temperatura atribuída ao processo

#### 5.2.4 Adsorção de Azul de Metileno

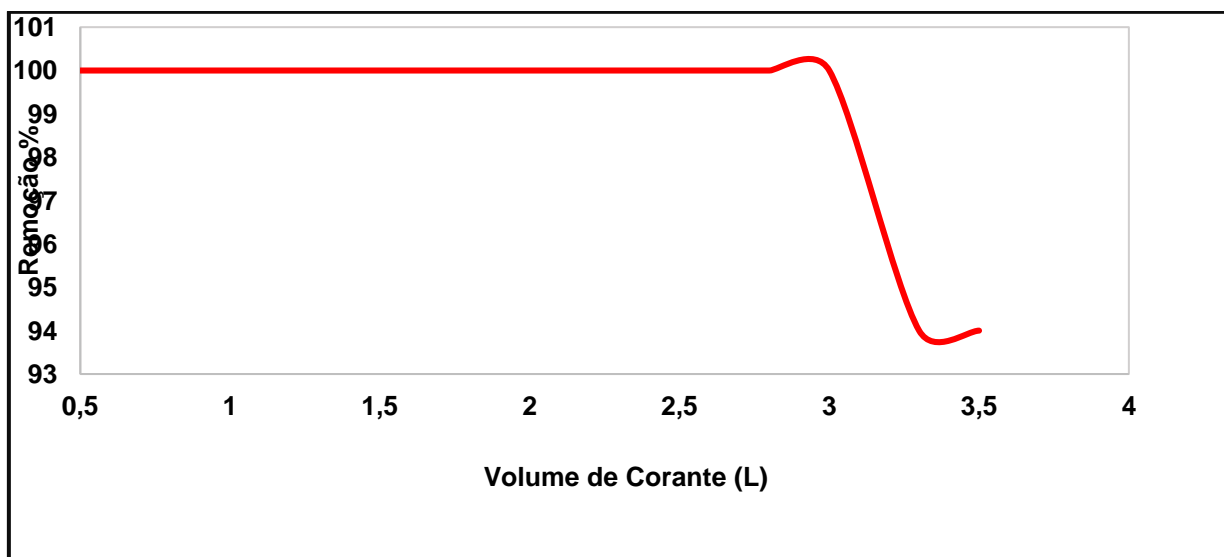
Entende-se por adsorção como o acontecimento que ocorre na interface entre duas substâncias, podendo ser entre um sólido e um líquido (caso estudando), um sólido e um gás ou um líquido e um gás. Segundo Fernandes (2008), a adsorção é influenciada por diversos fatores entre eles a natureza do adsorvente, adsorbato e as condições de adsorção (temperatura e pressão e pH). Entende-se que a capacidade de adsorção é determinada pela sua área superficial específica, como pela presença, tamanho e distribuição de poros, teor de cinzas, densidade e a natureza de grupos funcionais presentes em sua superfície.

Na Figuras 12 encontra-se os resultados obtidos referentes aos testes de adsorção de Azul de Metileno na concentração de 9,33 mg/L em 9,54 gramas do carvão de fibra de coco.

O percentual de remoção do corante em 3,5 litros de solução do corante, constatam-se que a remoção de Azul de Metileno foi de 100% até o volume de 3 litros de solução tratada, ao ser adicionado mais 0,5 litros, o percentual de remoção diminui, que indica o início da saturação do carvão.



Figura 12: Percentual de remoção de Azul de metileno.



Fonte: Autor, (2021)

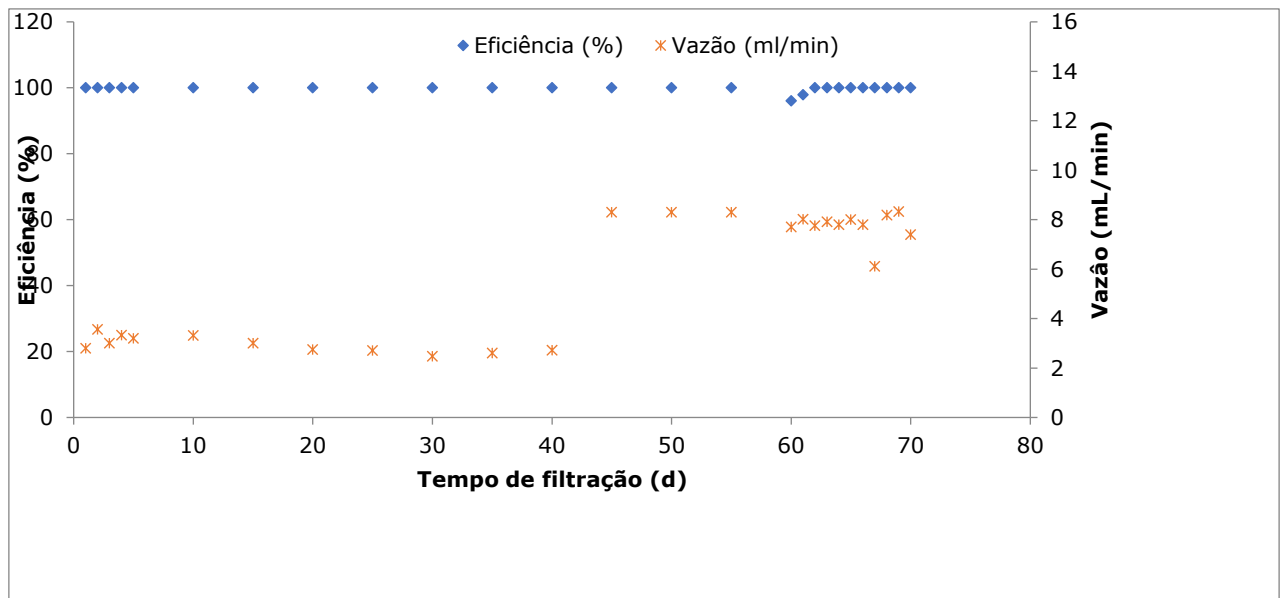
Nota-se que que 9,54 g de carvão obtido por pirólise da fibra de coco-da-baía adsorveu todo o Azul de metileno de 3 litros de solução na concentração 9,33 mg/L, totalizando 28 mg de corante adsorvida. A capacidade de adsorção de Azul de Metileno foi de aproximadamente 3 mg de azul de metileno por 1 g de carvão até o início da saturação do carvão.

#### 5.2.5 Adsorção de cloro

O cloro é adicionado à água para fins de desinfecção e reage com compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos na água, formando outros produtos. A quantidade de cloro que é usada durante esse processo é chamada de demanda de cloro da água. A dosagem de cloro deve ser alta o suficiente para uma quantidade significativa de cloro permanecer na água para desinfecção. Segundo Schmidt (2011), a demanda de cloro é determinada pela quantidade de matéria orgânica na água de, pH da água, tempo de contato e temperatura. O cloro reage com matéria orgânica para desinfecção de bioprodutos, tais como trihalometanos (THM) e ácido acético halogenado. De acordo com Magee (1995) a cloração da água é realizado até o ponto em que a demanda de cloro é cumprida e toda a a amônia presente é oxidada, para que apenas o cloro livre permaneça.

O gráfico da Figura 13 apresenta a eficiência do carvão de coco verde, que adsorveu todo cloro da solução no período do ensaio de 70 dias. Ao fim do experimento, constatou-se que o carvão havia retido em seus poros 1192,34 mg de cloro, que corresponde a 149 miligramas de cloro retido por grama de carvão.

Figura 13: Adsorção de cloro



Fonte: Autor (2020)

A cloração da água pode dar origem a problemas em relação ao sabor e odor da água para consumo, para tratar este tipo de problema os filtros de carvão são um dos métodos aplicados para a remoção de cloro ou de cloração da água. O carvão adsorve o cloro e é oxidado por ele a dióxido de carbono. O cloro livre é adsorvido quando passa pela superfície ativa do carvão.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento da fibra de coco além de ser ambientalmente adequado, pode vir a contribuir na promoção e desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio do aumento de empregos e da geração de receita.

A pirólise da fibra de coco apresenta-se como uma técnica vantajosa haja vista que além da produção de carvão são gerados outros produtos como o líquido pirolenhoso e gás.

A análise imediata da biomassa do coco apresentou resultados taxas favoráveis de carbono fixo para conversão em carvão, o baixo teor de cinzas encontrado sinaliza um produto de boa qualidade, propriedades desejáveis para o processo de adsorção.

Os teores de lignina, celulose e hemicelulose da biomassa reforçam os resultados encontrado na análise imediata, indicando que a utilização da biomassa tem bons rendimentos no processo de pirólise.

Os valores obtidos pela análise elementar da biomassa indicam este material também pode ser vantajoso para fins energéticos.

A densidade aparente do carvão indica uma estrutura é porosa, fator relevante para adsorção.

O baixo teor de cinzas encontrado no carvão aponta um produto de boa qualidade. Os valores de material volátil encontrado sugerem uma estrutura porosa, que é favorável ao processo de adsorção.

A análise de microscopia eletrônica de varredura do carvão apresentou uma superfície porosa com potencial de utilização no processo de adsorção.

O resultado para adsorção de azul de metileno em filtro descendente apresentou valores satisfatórios para a utilização do carvão para adsorção desse poluente.

O carvão de coco produzido apresentou índice de remoção acima de 99% de cloro da solução, o que satisfaz a ABNT NBR 16098;2012, que estabelece os requisitos e métodos para melhoria da qualidade da água para consumo humano.

A partir dos resultados obtidos, fica evidenciado o potencial da utilização do carvão de fibra de coco para adsorção de poluentes.

## REFERÊNCIAL

ABBASI, T. **Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* Índia: Elsevier, v. 14, p. 919- 937, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16098 Aparelho para melhoria da qualidade da água para uso doméstico.** ABNT, 1 ed, 2012.

ALJEBOREE, A. M.; ALSHIFIRI, A. N.; ALKAIM, A. F. **Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activate carbono.** *Arabian Journal of Chemistry.* v 10, p 3381-3393, 2017.

BRAINER, M. S. C. P.; XIMENES, L. F. **Produção de coco – soerguimento das áreas tradicionais do Nordeste.** Caderno Setorial ETENE – Banco Nordeste. n 127, 2020.

BRASIL. Lei nº 594, de 24 de dezembro de 1948. **Concede favores às fábricas que se instalarem para exploração da fibra do coco, com o aproveitamento de matéria prima nacional.** Diário Oficial da União - Seção 1 – Página 18461. Brasília, 29 de dezembro de 1948. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1940-1949/lei-594-24-dezembro-1948-367387-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acessado em 9 março de 2021.

**Brasil e o comércio internacional: Panorama 2010.** Documentos, v. 164. 32p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros.) Disponível em: . Acesso em: 27 set. 2017.

BRINQUES, G. BRUSCH; MENDES, T. F; WADA, K.; CARDOZO, M. P. **Adsorption of toluene from aqueous solution onto a granular activated carbon bed in a pilot plant.** 2º Mercosur Congresso n Chemical Engineering, p. 1, 2005.

CRITTENDEN, J.C; TRUSSEL, R.R; HAND, D.W.; HOME, K., J.; TCHOBANO-GLOUS, G. **Water treatment: principles and design.** 3rd ed. Hoboken, N. J.: Wiley, 2012.

COELHO, M. A. Z., LEITE, S. G. F., ROSA, M. D. F., & FURTADO, A. A. L. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: produção de enzimas a partir da casca de coco verde.** Boletim Ceppa, v. 19, n. 01, p. 33-42, 2001.

PAZ, E. C.S; **PADRONIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE DEGRADAÇÃO TERMOGRAVIMÉTRICA DA FIBRA DE COCO EM REATOR DE LEITO FIXO NA PRODUÇÃO DE CARÃO.** Dissertação de Mestrado, Unaerp, 2017

FONTENELE, R.E.S. **Cultura do coco no brasil: caracterização do mercado atual e perspectivas futuras.** XLII Congresso da Sober. Universidade de Fortaleza, Ceará, 2005.

FROEHLICH, Paulo Leandro; MOURA, Angela B. D. **Carvão Vegetal: Propriedades Físico-Químicas e principais aplicações.** Revista Tecnologias e Tendências, v. 9, n. 1, p. 2, 2014.

GOMÉZ et al., **Pirólise rápida de materiais lignocelulósicos para obtenção de bioóleo.** In: CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S;GOMEZ, E.O.(org). Biomassa para energia. Campinas. São Paulo. Editora Unicamp, 2011.

KIELING, A. G.; **Adsorção de btex – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno – em cinza de casca de arroz e carvão ativado.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 24-25, 2016.

MARTINS, C. R.; JESUS Jr. L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional.** Documentos 164. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju. 2011.

MARTINS, C. R.; JESUS Jr. L. A. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio Internacional.** Documentos 184. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2014.

MATTOS, A. L. A.; ROSA, M. F.; CRISÓSTOMO, L. A.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; VERAS, L. G. C. **Beneficiamento da casca do coco verde.** Embrapa–Agroindústria Tropical, 2011.

Müller, C. C. **Avaliação da utilização de carvão ativado em pó na remoção de microcistina em água para abastecimento público.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 38-41, 2008.

PASSOS, P. R. A.; **Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) Verde: Obtenção de telhas e chapas de partículas.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. Tese de Doutorado, Universidade do Rio Grande do Norte, 210 p, 2011.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., PICKLER, A. C., LEAL, E. R. M., MILHOMEN, C. C. **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão**. *Revista Liberato*, 11, p.147-157, dez. 2010.

PEREIRA, C. L. **Aproveitamento do resíduo do coco verde para produção de compósitos destinados à construção rural**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2012.

SÁNCHEZ, M. E., MENÉNDEZ, J. A., DOMÍNGUEZ, A., Pis, J. J., MARTÍNEZ, O., ALVO, L. F., & BERNARD, P. L. (2009). **Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge. biomass and bioenergy**, 33(6), 933-940.

SENHORAS, E. M. **Oportunidades da Cadeia Agroindustrial do Coco Verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta**. *Revista Urutágua*, Maringá, n.5, 2004.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador-BA**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia. disponível em <[www.cobeqic2009.feq.ufu.br](http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br)>, consultado em 02 mar 2021.

TEIXEIRA, M. B. **Remoção de carbono orgânico dissolvido de águas de abastecimento por adsorção em carvão ativado granulas**. Dissertação de mestrado, Universidade federal do Rio Grande do Sul, p. 3-11, 2014.

ZHANG, X.; WU, L.; THORPE, J. A.; LI, L.; SI, Y. **Mussel-inspired polydopamine functionalized recyclable coconut shell derived carbono nanocomposites for eficiente adsorption of methylene blue**. *Journal of Saudi Chemical Society*, v 24, p 642-649, 2020.