



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

**SYNTIA SOUSA BISPO**

**USO DE FIBRA DE COCO E CARVÃO ATIVADO EM PROCESSO DE  
ADSORÇÃO DE CLORO RESIDUAL EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO.**

**PALMAS**

**2020**

**SYNTIA SOUSA BISPO**

**USO DE FIBRA DE COCO E CARVÃO ATIVADO EM PROCESSO DE  
ADSORÇÃO DE CLORO RESIDUAL EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO.**

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.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**PALMAS- TO**

**2020**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**SYNTIA SOUSA BISPO**

**USO DE FIBRA DE COCO E CARVÃO ATIVADO EM PROCESSO DE  
ADSORÇÃO DE CLORO RESIDUAL EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO.**

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: 30/09/2020

### **BANCA AVALIADORA**



---

Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza  
Orientador



---

Prof. Dr. Helida Monique Cordasso Fagnani



---

Prof. Mst. Elaine da Cunha Silva Paz

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

B621u      Bispo, Syntia Sousa  
Uso de fibra de coco e carvão ativado em processo de adsorção de cloro residual em água de abastecimento. / Syntia Sousa Bispo. – Palmas, TO, 2020.  
62 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, 2020.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Fibra de coco. 2. Descloração. 3. Carvão ativado. 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).

Dedico este trabalho à minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas que me ajudaram ao longo de toda graduação, neste trabalho em especial meu amigo Duduca.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Alguns dizem que o mundo acabará em  
fogo,  
Outros dizem em gelo.  
Fico com quem prefere o fogo.  
Mas, se tivesse de perecer duas vezes,  
Acho que conheço o bastante do ódio  
Para saber que a ruína pelo gelo  
Também seria ótima  
E bastaria.”

Robert Frost

## RESUMO

A água mesmo sendo indispensável ao organismo, pode conter compostos orgânicos e inorgânicos que sejam prejudiciais à saúde humana se não forem eliminados ou reduzidos. Por isso, é realizado um conjunto de processos e operações pela rede de abastecimento público para adequar as características físico-químicas e biológicas da água bruta para o consumo humano. A cloração, devido seu custo relativamente razoável, exigindo equipamentos de baixo custo, sendo de controle de qualidade simples é um dos tratamentos mais empregados, além disso, a determinação da concentração de cloro na água é fácil e mesmo depois dos procedimentos de tratamento este deixa uma quantidade remanescente que protege a água de contaminações posteriores. Na indústria de alimentos a retirada do cloro da água é uma preocupação, pois este pode afetar o sabor e qualidade de alimentos e também interferir na manutenção de equipamentos a longo prazo. Uma opção economicamente viável e que vem sendo cada vez mais adotada é o uso de carvão ativado para processos de descloração, sendo que este pode ser produzido de diversos resíduos orgânicos, o que pode deixar essa opção economicamente ainda mais interessante além de propor outra destinação para esse resíduo útil. Tendo em vista tudo isso nesse trabalho é feito um estudo para o uso da fibra de coco e carvão ativado de fibra de coco obtido por meio de pirólise no processo de descloração da água para indústria alimentícia, avaliando a eficiência de ambas as configurações desse resíduo.

**Palavras-chave:** Água, Carvão ativado, Cloração, Cloro, Descloração, Fibra de coco, Indústria alimentícia.

## ABSTRACT

Water, even though it is indispensable to the organism, can contain organic and inorganic compounds that are harmful to human health if they are not eliminated or reduced. For this reason, a series of processes and operations are carried out by the public supply network to adapt the physical-chemical and biological characteristics of raw water for human consumption. Chlorination, due to its relatively reasonable cost, requiring low cost equipment, being of simple quality control is one of the most used treatments, in addition, determining the concentration of chlorine in water is easy and even after treatment procedures this leaves a remaining amount that protects the water from further contamination. In the food industry, the removal of chlorine from water is a concern, as it can affect the taste and quality of food and also interfere with the maintenance of equipment in the long term. An economically viable option that is being increasingly adopted is the use of activated carbon for dechlorination processes, which can be produced from several organic residues, which can make this option economically even more interesting in addition to proposing another destination for that useful residue. In view of all this in this work, a study is made for the use of coconut fiber and activated carbon of coconut fiber obtained through pyrolysis in the process of water dechlorination for the food industry, evaluating the efficiency of both configurations of this residue

**Keywords:** Activated carbon, , Coconut fiber, Chlorination, Chlorine, Dechlorination, Food industry, Water.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Evolução da produção e área cultivada com coqueiros no mundo no período de 1970 a 2014. ....                | 13 |
| Figura 2 - Avanço do cultivo do coqueiro no Brasil em 1990, 2010 e 2014.....                                           | 15 |
| Figura 3 - Coqueiros gigantes.....                                                                                     | 16 |
| Figura 4 - Coqueiros da variedade anã .....                                                                            | 17 |
| Figura 5- Híbrido de coqueiro Gigante e Anão. ....                                                                     | 17 |
| Figura 6 - Partes do coco .....                                                                                        | 18 |
| Figura 7 - Fruto do Coqueiro. ....                                                                                     | 18 |
| Figura 8 - Formas de isothermas de adsorção. ....                                                                      | 22 |
| Figura 9 - Esquema da estrutura dos poros do carvão ativado. ....                                                      | 23 |
| Figura 10 - Procedimento Metodológico.....                                                                             | 26 |
| Figura 11 - Amostras de fibra de coco inteira e trituradas em moinho de facas. ....                                    | 27 |
| Figura 12 - Amostra de carvão de fibra de coco.....                                                                    | 28 |
| Figura 13 - Mufla aquecida com cadinhos no seu interior. ....                                                          | 30 |
| Figura 14 - Sistema de filtração de corante em carvão obtido da pirólise da fibra de coco.....                         | 31 |
| Figura 15 - Sistema de filtração de corante em carvão obtido da pirólise da fibra de coco – Reservatório superior..... | 31 |
| Figura 16 - Espectrofotômetro.....                                                                                     | 32 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17 - Elermeyers contendo fibra de coco e carvão de fibra de coco durante aquecimento .....            | 33 |
| Figura 18 - Sistema de descoloração de água de abastecimento. ....                                           | 34 |
| Figura 19 - Montagem do Filtro. ....                                                                         | 35 |
| Figura 20 - Equipamento para determinação de cloro presente na amostra .....                                 | 35 |
| Figura 21 - Curva de calibração para teste de adsorção de azul de metileno. ....                             | 41 |
| Figura 22 - Eficiência de remoção do azul de metileno em filtro de fibra de coco.....                        | 42 |
| Figura 23 - Curva de calibração para teste de adsorção de cloro. ....                                        | 43 |
| Figura 24 - Eficiência de remoção de cloro em água de abastecimento utilizando filtro de fibra de coco. .... | 44 |
| Figura 25 - Eficiência de remoção de cloro em água de abastecimento utilizando filtro de fibra de coco. .... | 45 |
| Figura 26 – Sistema de Filtragem da água de abastecimento empregada no processo de produção. ....            | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Produção mundial de coco, área colhida e rendimento nos anos de 2010, 2016, 2017 e projeção para 2018. ....      | 14 |
| <b>Tabela 2</b> - Produção, área colhida e produtividade dos principais países produtores de coco na América do Sul, em 2012. .... | 14 |
| <b>Tabela 3</b> – Área plantada nos estados Nordestinos, em 2012. ....                                                             | 15 |
| <b>Tabela 4</b> – Análise imediata da fibra de coco. ....                                                                          | 36 |
| <b>Tabela 5</b> – Densidade da fibra de coco. ....                                                                                 | 37 |
| <b>Tabela 6</b> – Análise imediata do Carvão de fibra de coco.....                                                                 | 38 |
| <b>Tabela 7</b> – Densidade do carvão de fibra de coco. ....                                                                       | 40 |
| <b>Tabela 8</b> – Concentração e absorvância para curva de calibração do azul de metileno. ....                                    | 41 |
| <b>Tabela 9</b> - Concentração e absorvância para curva de calibração de adsorção de cloro. ....                                   | 43 |

## SUMÁRIO

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....                                                     | 7  |
| 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....                                         | 9  |
| 1.2 JUSTIFICATIVA.....                                                | 9  |
| 1.3 OBJETIVOS .....                                                   | 11 |
| 1.3.1 Objetivo Geral.....                                             | 11 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....                                      | 11 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA .....                                         | 12 |
| 2.1 HISTÓRICO DO COCO.....                                            | 12 |
| 2.2 O SEGMENTO DO COCO NO BRASIL E NO MUNDO .....                     | 12 |
| 2.3 MORFOLOGIA DO COCO .....                                          | 16 |
| 2.3.1 Variedades de Coqueiro .....                                    | 16 |
| 2.3.2 Partes do Coco .....                                            | 18 |
| 2.4 BIOMASSA DO COCO .....                                            | 19 |
| 2.5 ADSORÇÃO.....                                                     | 21 |
| 2.6 CARVÃO ATIVADO.....                                               | 22 |
| 2.7 CLORO RESIDUAL .....                                              | 24 |
| 2.8 USO DE CARVÃO ATIVADO NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA .....              | 24 |
| 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....                                   | 26 |
| 3.1 MATERIAL PARA AS AMOSTRAS.....                                    | 26 |
| 3.2 PREPARO DA AMOSTRA .....                                          | 26 |
| 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO.....                              | 28 |
| 3.3.1. Análise imediata.....                                          | 28 |
| 3.3.1.1 Umidade.....                                                  | 28 |
| 3.3.1.2 Teor de cinzas .....                                          | 29 |
| 3.3.1.3 Teor de carbono fixo.....                                     | 29 |
| 3.3.1.4 Densidade Aparente.....                                       | 29 |
| 3.3.1.5 Material Volátil.....                                         | 29 |
| 3.3.2 Teste de Adsorção de Azul de Metileno em Filtro de Carvão ..... | 30 |
| 3.4 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO.....                                     | 32 |
| 3.6.1 Análise imediata.....                                           | 32 |
| 3.6.2 Teste de adsorção de azul de metileno em filtro de carvão.....  | 32 |
| 3.6.3 pH.....                                                         | 33 |
| 3.5 TESTE DE DESCLORAÇÃO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO .....               | 33 |

|         |                                                                                      |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4       | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                                         | 35 |
| 4.1.    | Caracterização da fibra de coco .....                                                | 35 |
| 4.1.1   | Análise imediata da fibra de coco .....                                              | 35 |
| 4.1.2   | Densidade aparente .....                                                             | 37 |
| 4.1.2   | pH.....                                                                              | 37 |
| 4.2.    | Caracterização do Carvão da Fibra de Coco .....                                      | 38 |
| 4.2.1   | Análise imediata do carvão de fibra de coco.....                                     | 38 |
| 4.2.2   | Densidade aparente .....                                                             | 39 |
| 4.2.3   | pH.....                                                                              | 40 |
| 4.3     | testes de Adsorção.....                                                              | 40 |
| 4.3.1   | Teste de adsorção de Azul de Metileno do carvão ativado de fibra de coco.....        | 40 |
| 4.3.2   | Testes de descloração.....                                                           | 42 |
| 4.3.2.1 | Teste de adsorção de cloro com filtro de fibra de coco.....                          | 43 |
| 4.3.2.2 | Teste de adsorção de cloro com filtro de carvão de fibra de coco .....               | 44 |
| 4.4     | Resultados obtidos nos ensaios com a Fibra de coco e o Carvão da Fibra de coco ..... | 45 |
| 4.5     | Aplicações do carvão ativado em processos para fins industriais .....                | 47 |
| 5       | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....                                                     | 50 |
|         | REFERÊNCIAS .....                                                                    | 51 |

## 1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que a água é um recurso fundamental para sobrevivência de organismos vivos. Constantemente a qualidade da água é ameaçada em todo o mundo, pelo crescimento da população e conseqüentemente a expansão de atividades agrícolas e industriais, ocorrendo então mudanças climáticas que alteram o ciclo hidrológico global. Os corpos hídricos podem ser poluídos por fontes difusas e pontuais, com alteração dos mananciais em quantidade e qualidade (MOTA, 2008). Então é evidente a importância de manter os corpos hídricos em boas condições para não prejudicar a disponibilidade deste recurso no futuro.

Na indústria alimentícia, a água é um recurso fundamental, pois desempenha várias funções, podendo ser usada como veículo na incorporação de ingredientes a fórmulas, ou como agente de sanitização e limpeza, além de poder atuar como fonte de resfriamento ou aquecimento (ROLOFF, 2006). A higienização na indústria alimentícia é um processo fundamental para obter um produto em boa condição higiênico-sanitária, que não ofereça riscos a saúde do consumidor, como também complementa as qualidades nutricionais e sensoriais do mesmo (MACEDO, 2003).

Um dos tratamentos de água mais utilizados é a cloração, sendo efetuada com o objetivo de reduzir os valores de oxidabilidade e/ou de destruir os microorganismos por ela veiculados. Os compostos clorados são os mais utilizados nesse processo, pois possuem custos relativamente baixos, são fáceis de preparar e aplicar, eficazes na eliminação de bactérias gram-positivas e gram-negativas, bolores e esporos bacterianos, sendo relativamente seguro ao homem nas dosagens normalmente adotadas para desinfecção da água, fornecendo uma quantidade remanescente que protege a água de posteriores contaminações. Os riscos relacionados ao processo de cloração da água estão associados muito mais aos seus subprodutos do que com os agentes utilizado. O cloro é um poderoso oxidante, conduzindo à formação de derivados halogenados, por reação com diversos precursores orgânicos, nomeadamente ácidos húmicos e fúlvicos, presentes na água bruta utilizada na produção de água para consumo humano (REBELO, 2004).

Por outro lado, água fornecida pela concessionária é rica em aditivos, dentre eles o cloro, que interfere na produção alimentícia e se faz, portanto, necessária a utilização de métodos de purificação eficazes para eliminação deste interferente. Além disso, o cloro, possuem desvantagens, como: corrosão, quando usados de forma incorreta; serem afetados

pela matéria orgânica; poderem provocar irritação na pele; e causar alterações de sabor nos alimentos (RAMOS, 2007), havendo a necessidade da descloração desta água antes de seu uso.

Devido apresentar uma alta área superficial e porosidade desenvolvida o carvão ativado é o adsorvente mais utilizado no processo de tratamento de água. Outra vantagem sobre outros materiais adsorventes é que a sua superfície pode ser modificada de modo a oferecer um carvão ativado específico para um determinado tipo de aplicação (MONDAL,2017).

O uso de carvões ativados, produzidos a partir de subprodutos da agricultura, representa uma alternativa econômica viável em relação aos altos custos de outros tratamento. O carvão ativado pode ser usado para inúmeros fins dependendo do tipo de produção, além de melhorar o meio ambiente por livrá-lo de um resíduo com alto período de degradação (CRUZ, 2010).

A pirólise tem se mostrado um processo eficiente na conversão de subprodutos da agricultura em carvão ativado, podendo ser definida como um processo de degradação térmica de qualquer material orgânico, na ausência de um agente oxidante (VIEIRA, 2004). Segundo Gómez (2011) , a pirólise corresponde a um dos cinco processos de conversão térmica da biomassa que se caracteriza como biodegradação térmica do combustível sólido, podendo ser realizada em ausência completa de oxigênio ou em quantidades que a gaseificação não ocorra extensivamente, tendo como principal objetivo a obtenção de biocombustíveis tecnicamente mais avançado de forma econômica e ambientalmente competitiva e sustentável e carvão vegetal.

Uma das biomassas que podem ser aplicadas no processo de pirólise são as cascas do coco, sendo os principais co-produtos sólidos gerados na cadeia produtiva de seus derivados. Quando não incineradas, terminam dispostas em lixões e aterros. Durante a queima, produzem substâncias poluidoras ao meio ambiente. Além disso, ao serem descartadas, as cascas passam a constituir meio propício à proliferação de animais peçonhentos e insetos vetores de doenças, com risco para a saúde dos trabalhadores rurais (NUNES; SANTOS; SANTOS, 2007).

Tendo isso em vista, o presente estudo mostra uma alternativa relevante de se empregar o endocarpo do coco da baía, matéria-prima de baixo custo, na produção de carvão ativado para descloração de água de abastecimento, com isso, colaborando de forma sustentável propondo outra destinação aos resíduos de coco que são abundantes no Brasil.

## **1.1 PROBLEMA DE PESQUISA**

Qual a viabilidade do uso da fibra de coco e de seu carvão no processo de adsorção de cloro residual em água de abastecimento?

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

A água é o solvente mais utilizado no mundo, sendo componente indispensável em muitos processos industriais, principalmente na indústria alimentícia, as quais são responsáveis por aproximadamente 22% do consumo total de águas. O uso nos processos industriais se inicia desde o agrupamento da água nos produtos alimentícios até a limpeza de materiais, aparelhamento, acomodações, sistemas de refrigeração e de geração de vapor (LORA, 2002).

Os padrões de qualidade para a água industrial dependem de como ela será aplicada. No caso de indústrias alimentícias e farmacêuticas, por exemplo, a água deve ter um elevado grau de pureza, caso venha a ser parte integrante do produto final ou entre em contato com as substâncias manipuladas em qualquer fase do processo. A higienização ineficaz nas indústrias alimentícias ocasionam graves consequências, como os casos de doenças de origem alimentar. Esses padrões podem ser mais restritivos do que os padrões de qualidade da água para consumo humano (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

O controle de qualidade da água garante melhor rendimento na produção, durabilidade de produtos nas prateleiras, qualidade de vida e saúde aos consumidores. Trabalhando-se com a água dentro dos padrões e recomendações legais vigentes, seja de dureza, teor de cloro residual ou mesmo de substâncias químicas, a qualidade dos produtos da indústria alimentícia é preservada, tornando o estabelecimento capacitado para a produção de alimentos (BAKTRON, 2016).

O tratamento da água, entretanto, implica a utilização de substâncias químicas que podem, por sua vez, afetar a saúde daqueles que a utilizam. O cloro é o agente mais usado pois, em qualquer dos seus diversos compostos, destrói ou inativa os organismos causadores de enfermidades, sendo que esta ação se dá à temperatura ambiente e em tempo relativamente curto. Sua aplicação é simples exigindo equipamentos de baixo custo. A determinação de sua concentração na água é fácil, sendo relativamente seguro ao homem nas dosagens normalmente adotadas para desinfecção da água. Fornece uma quantidade remanescente que protege a água de posteriores contaminações.

O controle da quantidade de cloro na água é fundamental para a qualidade dos produtos e processos. Segundo Salgado (2008), a concentração elevada de cloro pode causar sabor e odor desagradáveis, bem como problemas à saúde devido à possibilidade de geração de subprodutos com potencial carcinogênico. LIMA (2008), expõe que em refrigerantes, por exemplo, o cloro dá um sabor característico de remédio e provoca reações de oxidação e despigmentação, alterando a cor original do refrigerante. Além disso, o controle de cloro na água garante a qualidade dos alimentos e também colabora com a economia na manutenção de equipamentos, evitando a alteração dos produtos elaborados, a deterioração de máquinas e equipamentos e, finalmente, facilita a obtenção de produtos que, além de boas qualidades sensoriais, tenham condições higiênico-sanitárias satisfatórias, não vindo a oferecer quaisquer riscos à saúde do consumidor (MELONI, 2018).

A biomassa é apontada como a maior fonte de energia renovável e o seu uso como fonte alternativa de carbono é importante para o Brasil que possui grandes áreas de terras cultiváveis e clima favorável, ou seja, ela destaca-se no panorama brasileiro pelo seu potencial de aproveitamento para a matriz energética, que é favorecida pelas condições climáticas regionais quanto a sua produção.(GUIMARÃES *et al.*, 2014).

A utilização da biomassa coco verde como material adsorvente, apresenta grande potencial devido ao seu elevado teor de matéria orgânica composta, principalmente por lignina e celulose, que apresenta elevada capacidade adsorptiva (MONTEIRO, 2010). Sendo também uma alternativa em potencial na produção de carvão vegetal, gás combustível ou ainda de bio-óleo por intermédio do processo termoquímico de pirólise. 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) PEDROZA (2014).

A celulose e a lignina são biopolímeros reconhecidamente associados à remoção de metais pesados. Grupos funcionais tais como, carboxila, hidroxila, carbonila entre outros, presentes no pó da casca de coco, facilitam a adsorção de metais pesados. A morfologia porosa da casca de coco facilita a remoção dos metais em solução, devido à sua superfície irregular permitindo a adsorção dos metais nas diferentes partes desse material (PINO, 2005). Tendo isso em vista, o foco desse estudo é a utilização da fibra de coco e carvão ativado da fibra de coco na remoção de cloro da água da indústria alimentícia.

Frente os fatos, a pirólise surge como um processo alternativo para destinar adequadamente materiais com potencial poluidor ao meio ambiente, por se tratar de um

processo de conversão energética de biomassa, onde a degradação térmica dos componentes moleculares ocorre na ausência parcial ou total de oxigênio entre temperaturas de 300 a 1000 °C, gerando produtos (carvão, bio-óleo e gases) com maior potencial energético. O carvão obtido no processo pode ser empregado na remoção de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas de efluentes, substituindo o carvão ativado comercial (RODRIGUES, 2019).

O carvão ativado é amplamente utilizado para a remoção de cloro residual em água industrial, pois apresenta uma alta capacidade de adsorção. A utilização de carvões ativados, produzidos a partir de subprodutos da agricultura ou rejeitos da agroindústria, no tratamento de água para consumo humano ou residuárias, representa uma alternativa econômica viável em relação aos altos custos de outros tratamentos, pois utiliza matéria-prima abundante e de baixo valor comercial, além de melhorar o meio ambiente por livrá-lo de um resíduo com alto período de degradação (IOANNIDOU e ZABANIOTOU, 2008; EL-HENDAWY, 2008).

Outro incentivo ao uso da fibra de coco é a lei brasileira nº 594, de 24 de dezembro de 1948 concede incentivos ao seu uso a qualquer empresa legalmente constituída para a exploração industrial da fibra. Ao aproveitar a matéria-prima nacional, esta, possui isenção de imposto de importação e taxas aduaneiras (BRASIL, 1948).

Tendo isso em vista, o foco desse estudo é a utilização da fibra de coco e carvão ativado da fibra de coco na remoção de cloro da água da indústria alimentícia.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Medir o potencial de adsorção da fibra e carvão ativado obtido no processo em pirólise da fibra de coco para ser aplicado como um adsorvente de cloro em água de abastecimento.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar a biomassa do coco utilizada na pesquisa manipulada como fibra;
- Caracterizar o carvão de fibra de coco;
- Aferir a eficiência de remoção de cloro residual de água de abastecimento em coluna de filtração, utilizando a fibra de coco e o carvão obtido;

- Fazer comparativo de eficiência no tratamento de água de abastecimento da biomassa do coco na forma de fibra e de carvão ativado, comparando a eficiência de ambos e o custo benefício.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 HISTÓRICO DO COCO**

O coco é um fruto que provém do coqueiro, *Coco nucifera L.*, é oriundo das ilhas de clima tropical e subtropical do Oceano Pacífico, sendo o Sudeste Asiático como principal centro de origem e diversidade. Seu cultivo se disseminou pelo mundo, estando presente em mais de 200 países, principalmente nas Faixas Litorâneas, onde é difundida a venda de sua água, o que gera uma grande quantidade de resíduos após o consumo (ARAGÃO, 2010).

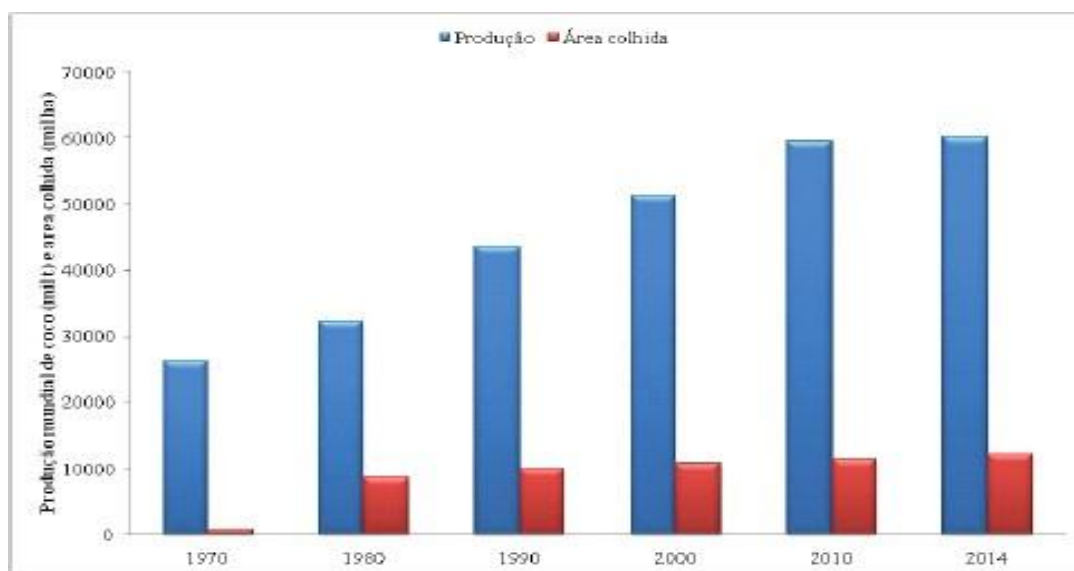
No Brasil, o coqueiro foi inserido aproximadamente em 1950, primeiramente no estado da Bahia, o que explica a denominação coco-da-baía, sendo o material proveniente da Ilha de Cabo Verde. Partindo da Bahia, o coqueiro se alastrou pelo litoral nordestino, especialmente por ser uma fruta típica de clima tropical se desenvolvendo bem em outras regiões do país. Até 1990 o cultivo do coco se limitava as regiões Norte e Nordeste. Atualmente o coco é cultivado em quase todos estados do Brasil (EMBRAPA, 2014).

### **2.2 O SEGMENTO DO COCO NO BRASIL E NO MUNDO**

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em meados de 1970, a produção mundial foi em torno de 26 milhões de toneladas, numa área colhida de 6,7 milhões de hectares. Houve um aumento considerável na produção alcançando no ano 2000

A marca de 51 milhões de toneladas produzidas numa área de 10 milhões de hectares. Nos dias atuais a produção está em torno de 60 milhões de toneladas em uma área colhida de aproximadamente 12 milhões de ha (Figura 1). Apesar de ter ocorrido um acréscimo na área cultivada, o que se evidencia, especialmente após os anos 90, é o incremento expressivo em termos de produção de coco, fruto do aperfeiçoamento tecnológico dos métodos de cultivo refletindo no avanço da produtividade global.

**Figura 1-** Evolução da produção e área cultivada com coqueiros no mundo no período de 1970 a 2014.



**Fonte:** FAO (2014).

Atualmente o *Cocos nucifera* é cultivado em aproximadamente 90 países. A principal destinação do fruto é para produção de copra e óleo, principais derivados do coco comercializados no mercado internacional. Os maiores produtores mundiais de coco são, respectivamente, a Indonésia, Filipinas e Índia, detendo 72,6% da área e 72,8% da produção mundial. Recentemente, o Sri Lanka ultrapassou o Brasil e ocupa a quarta posição do ranking mundial. O Brasil detém apenas 1,7% da área cultivada e 3,8% da produção mundial, porém, possui a maior produtividade comparado com os três principais produtores mundiais (BRAINER, 2018). A Tabela 1 mostra a produção mundial de coco.

Siqueira (2002) e Aragão (2010), explicam que a maior parte da produção mundial, cerca de 90 %, sucede de pequenos produtores, com áreas de até 5 ha. No Brasil, a situação se repete, sendo 70% da exploração de coqueiro com propriedades de até 10 ha.

Até 1990 o Brasil ocupava a 10ª posição no ranking mundial, com produção redor dos 477 mil toneladas de coco (Martins(2014)). Atualmente, o país é quinto maior produtor, essa posição se destaca ainda mais quando se compara aos países da América do Sul, onde a produção brasileira é responsável por mais de 80% da produção de coco, sobressaindo-se também em área cultivada e produtividade (Tabela 2).

**Tabela 1** – Produção mundial de coco, área colhida e rendimento nos anos de 2010, 2016, 2017 e projeção para 2018.

| Principais produtores mundiais | Área colhida |        |        |            |       | Quantidade produzida |       |       |               |       |       | Rendimento |        |            |       |       |
|--------------------------------|--------------|--------|--------|------------|-------|----------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|------------|--------|------------|-------|-------|
|                                | Mil hectares |        |        | Variação % |       | Milhões de toneladas |       |       | Variação %    |       |       | (kg/ha)    |        | Variação % |       |       |
|                                | 2010         | 2016   | 2017   | 10-17      | 16-17 | 2010                 | 2016  | 2017  | Projeção 2018 | 10-17 | 16-17 | 2010       | 2016   | 2017       | 10-17 | 16-17 |
| Indonésia                      | 2.980        | 3.150  | 3.260  | 9,4        | 3,5   | 18,00                | 17,96 | 18,98 | 19,13         | 5,5   | 5,7   | 6.040      | 5.703  | 5.823      | -3,6  | 2,1   |
| Filipinas                      | 3.576        | 3.565  | 3.612  | 1,0        | 1,3   | 15,51                | 13,83 | 14,05 | 13,85         | -9,4  | 1,6   | 4.337      | 3.878  | 3.889      | -10,3 | 0,3   |
| Índia                          | 1.896        | 2.082  | 2.081  | 9,8        | -0,0  | 10,84                | 11,17 | 11,47 | 11,56         | 5,8   | 2,6   | 5.718      | 5.367  | 5.512      | -3,6  | 2,7   |
| Sri Lanka                      | 395          | 409    | 409    | 3,6        | -0,0  | 1,99                 | 2,52  | 2,58  | 2,67          | 29,4  | 2,0   | 5.041      | 6.166  | 6.293      | 24,8  | 2,1   |
| Brasil                         | 275          | 234    | 216    | -21,6      | -7,9  | 2,84                 | 2,65  | 2,34  | 2,28          | -17,6 | -11,6 | 10.336     | 11.320 | 10.863     | 5,1   | -4,0  |
| Vietnã                         | 140          | 147    | 148    | 5,6        | 0,9   | 1,16                 | 1,47  | 1,50  | 1,55          | 29,0  | 2,0   | 8.284      | 10.011 | 10.123     | 22,2  | 1,1   |
| Papua Nova Guiné               | 221          | 206    | 205    | -7,3       | -0,6  | 1,21                 | 1,18  | 1,20  | 1,20          | -0,6  | 1,6   | 5.475      | 5.746  | 5.874      | 7,3   | 2,2   |
| México                         | 179          | 183    | 184    | 2,7        | 0,6   | 1,13                 | 1,16  | 1,16  | 1,16          | 2,4   | 0,1   | 6.322      | 6.340  | 6.306      | -0,3  | -0,5  |
| Tailândia                      | 231          | 190    | 192    | -16,9      | 1,1   | 1,30                 | 0,90  | 0,90  | 0,85          | -31,1 | -0,6  | 5.621      | 4.737  | 4.661      | -17,1 | -1,6  |
| Demais Países                  | 1.889        | 1.999  | 2.032  | 7,6        | 1,6   | 6,38                 | 6,91  | 6,92  | 7,00          | 8,4   | 0,3   | 3.380      | 3.454  | 3.408      | 0,8   | -1,3  |
| Total mundial                  | 11.782       | 12.165 | 12.339 | 4,7        | 1,4   | 60,37                | 59,75 | 61,10 | 61,27         | 1,2   | 2,3   | 5.124      | 4.912  | 4.952      | -3,4  | 0,8   |

**Fonte:** FAOSTAT (2018)

Nota: FAOSTAT considerou o peso de cada fruto igual a 1,5 kg no cálculo da quantidade produzida. Projetou-se a produção para 2018, calculando-se a taxa geométrica de crescimento anual com base nos dados de 2010 e 2017 da FAOSTAT, desconsiderando outras variáveis.

**Tabela 2-** Produção, área colhida e produtividade dos principais países produtores de coco na América do Sul, em 2012.

| País            | Área colhida (ha) | Produção (1.000 t) | Produtividade (1000 t/ha) |
|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------------|
| Brasil          | 257.742           | 2.888.532          | 11,21                     |
| Venezuela       | 19.000            | 165.000            | 8,68                      |
| Guiana          | 17.000            | 80.000             | 4,71                      |
| Colômbia        | 12.900            | 102.000            | 7,91                      |
| Equador         | 3.300             | 20.000             | 12,01                     |
| Peru            | 2.472             | 29.687             | 6,06                      |
| Suriname        | 550               | 4.000              | 7,27                      |
| Guiana Francesa | 65                | 350                | 5,38                      |
| América do Sul  | 313.029           | 3.289.569          | 9,76                      |

**Fonte:** FAO (2014).

No Brasil, o cultivo do coqueiro abrange uma área de aproximadamente 280 mil hectares , distribuída por todo território nacional com uma produção estimada em 2 bilhões de frutos por ano (FAO, 2014).

Se tratando de área planta , os estados nordestinos somam a maior produção. Dentre os cinco estados que apresentam a maior produção três são nordestinos: a Bahia que apresenta a maior produção nacional (553,7 milhões de frutos); Ceará segundo maior produtor (272 milhões de fruto) e Sergipe, terceiro maior produtor ( 242, 8 milhões). Estes três estados juntos respondem por mais de 50% da produção de coco no país. Como pode ser observado na Tabela 3 a seguir:

**Tabela 3-** Área plantada estados Nordestinos, em 2012.

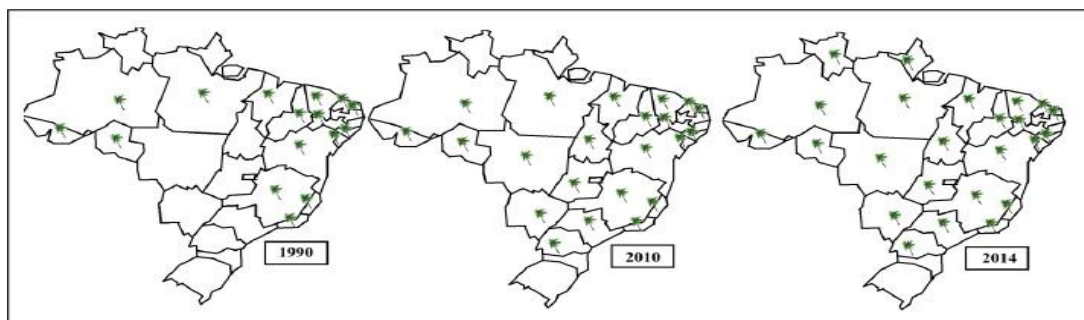
| Estado              | Produção<br>(mil frutos) | Área plantada<br>(ha) | Produtividade<br>(mil frutos/ha) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Bahia               | 553.759                  | 75.827                | 7,30                             |
| Ceará               | 272.060                  | 45.202                | 6,01                             |
| Sergipe             | 242.852                  | 39.486                | 6,15                             |
| Pará                | 231.400                  | 23.584                | 9,81                             |
| Espírito Santo      | 173.716                  | 10.941                | 15,87                            |
| Pernambuco          | 106.625                  | 8.264                 | 12,90                            |
| Rio de Janeiro      | 70.013                   | 4.546                 | 15,40                            |
| Rio Grande do Norte | 62.293                   | 20.384                | 3,05                             |
| Paraíba             | 57.456                   | 9.817                 | 5,85                             |
| Alagoas             | 29.287                   | 6.218                 | 4,71                             |

**Fonte:** FAO (2014).

É estimado que no mercado brasileiro que 65% do consumo seja de coco seco e 35% do consumo de coco verde, de modo que o consumo da água de coco verde tem crescido vigorosamente. (PEREIRA, 2012). A consequência do elevado consumo é a geração de rejeitos em volumes significativos, principalmente em lixões, encostas, vazadouros e até mesmo em aterros sanitários, que durante o seu processo de decomposição por ação microbiológica emitem gás metano, um dos gases do efeito estufa (PASSOS, 2005).

O desenvolvimento da produção de coco no Brasil, segundo Martins e Jesus Junior (2011), ocorre especialmente devido ao acréscimo das áreas de cultivo, mas principalmente pela adição de novas tecnologias na condução e manejo dos coqueirais em quesitos como adubação, sistemas, intensivo de cultivo, variedades melhoradas de coqueiros do tipo Anão e híbridos, que juntos proporcionaram o aumento da produtividade e avanço no cultivo de coqueiros em novas fronteiras agrícolas. A Figura 2 mostra o avanço do cultivo do coqueiro no Brasil no intervalo entre 1990 a 2014.

**Figura 2-** Avanço do cultivo do coqueiro no Brasil em 1990. 2010 e 2014.



**Fonte:** Martins, Jesus Junior, 2010 e 2014.

## 2.3 MORFOLOGIA DO COCO

O coqueiro é uma planta perene, pertence à classe Monocotyledoneae, ordem Palmales, família Aracaceae (família Palmae) subfamília Coccoideae e gênero Cocos que possui uma única espécie *Cocos nucifera* L.. Fonte de alimento, habitação, energia, cosméticos, entre outros, o coqueiro é considerado a “árvore da vida” devido suas abundantes aplicações. Seus principais produtos são derivados do fruto, formado por 5 partes principais: casca, fibras, coque, polpa (albúmen sólido) e água ( albúmen líquido) (SANTOS, 2018).

### 2.3.1 Variedades de Coqueiro

Siqueira (2008) descreve três diferentes variações de coqueiro, são elas: o coqueiro gigante, o coqueiro anão e o coqueiro híbrido (que seria resultado do cruzamento das duas espécies anteriores).

Conhecida como coqueiro gigante (Figura 3), a variedade “Typica”, possui fase vegetativa longa, planta de porte alto, podendo atingir aproximadamente 35m de altura, seus frutos são geralmente grandes, produzido cerca de 50 a 80 frutos/planta/ano ( SOUSA, 2006). Suas folhas são compridas, em média 5,5 metros. A produção de frutos começa a partir do sexto ano em média, sendo continua. As plantas se adaptam a diversos tipos de solos e de climas. Estando em condições favoráveis o período de produção econômica é de cerca de 60 anos ( SIQUEIRA, 2002).

**Figura 3-** Coqueiros gigantes.



**Fonte:** CARPIO (2010)

O coqueiro anão (Figura 4), da variedade “Nana”, produz um grande número de frutos pequenos ( 150 a 200 frutos/planta/ano), apesar de apresentar um crescimento lento e possui uma vida útil econômica entre 30 e 40 anos. Seu florescimento é precoce, em média, com três anos, podendo florescer mais cedo, se aplicado adequadamente tecnologias, como sistema de irrigação e manejo constante (ARAGÃO, 1999).

**Figura 4-** Coqueiros da variedade anã.



Fonte: EMBRAPA ( 2011)

Derivado do cruzamento entre a variedade gigante (polinizador) e a variedade anã (planta mãe), os coqueiros híbridos (Figura 5) são plantas de porte médio, que atingem cerca de 20 m de altura, sua fase de reprodução se inicia a partir dos quatro anos de idade, com produtividade variando entre 120 a 150 frutos/planta/ano, alcança a estabilidade de produção aos dez anos, com vida útil econômica de por volta de 50 anos (SOUSA, 2006).

**Figura 5:** Híbrido de coqueiro Gigante e Anão.

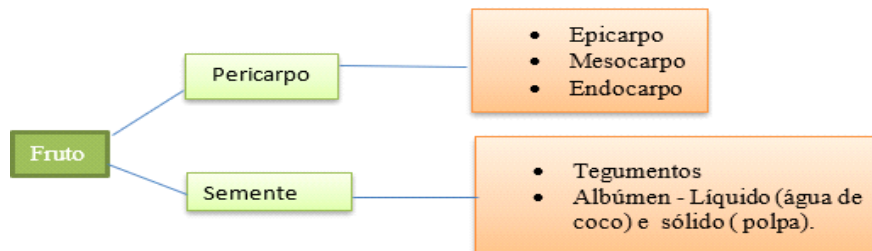


Fonte: FONTES (2014)

### 2.3.2 Partes do Coco

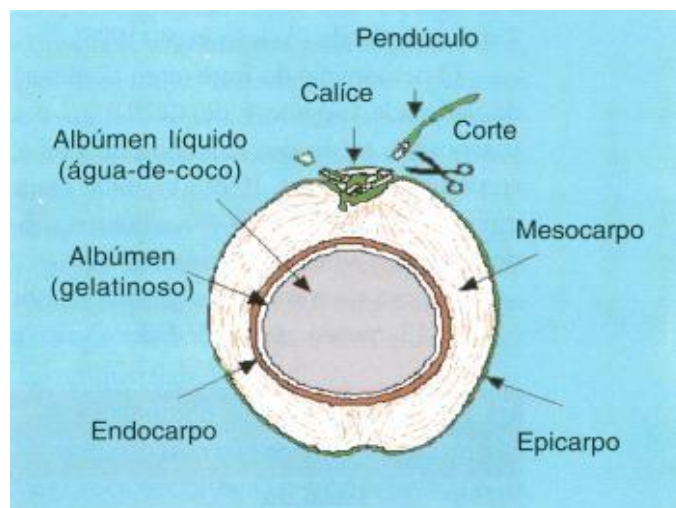
Segundo as definições de Ferri e outros (1981) e Vasconcelos Sobrinho (1934) o fruto do coqueiro, o coco, é formado pelas seguintes partes indicadas na Figura 6 e ilustradas na Figura 7:

**Figura 6-** Partes do coco



**Fonte:** Autora (2020)

**Figura 7-** Fruto do Coqueiro



**Fonte:** ARAGÃO (2002)

- a) Pericarpo – é a parte do fruto que envolve a semente;
- b) Epicarpo (epiderme lisa) – é a camada externa do pericarpo, chamada de “casca” do fruto;

c) Mesocarpo – é a camada que fica entre o epicarpo e o endocarpo (não considera a semente), em geral é a parte mais desenvolvida do fruto. No caso do coco se constitui de fibras;

d) Endocarpo (camada pétrea que envolve a parte comestível) – é a camada mais interna do pericarpo. No caso do coco o endocarpo forma a casca dura em torno da semente, possui três depressões circulares na base (buracos fechados, chamados carpelos) formando triângulo, por onde sai o embrião;

e) Semente – é toda estrutura que serve para reproduzir um vegetal;

f) Tegumentos – é qualquer estrutura que reveste e protege uma parte do vegetal. No caso do coco é uma camada fina de cor marrom.

g) Albúmen (endosperma) – é um tecido contendo substâncias nutritivas na semente. O albúmen líquido (água de coco) começa a se formar em média dois meses depois da abertura natural da inflorescência e atinge o seu volume máximo (300 a 600ml, dependendo da variedade) nos frutos com idade de 6 e 7 meses. O volume decresce com a formação do albúmen sólido (polpa), ou seja, amadurecimento do fruto e a evaporação. (ARAGÃO e outros, 2002).

## **2.4 BIOMASSA DO COCO**

A biomassa é definida como toda fonte de origem animal e vegetal, constituída de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. As principais fontes de biomassa incluem madeira e seus resíduos, colheitas agrícolas e seus resíduos, resíduos sólidos, de animais, alimentos processados e até de plantas aquáticas e algas (GUEDES, 2010).

A biomassa possui vantagens sobre os combustíveis fósseis convencionais, pois tem baixos teores de enxofre e nitrogênio e nenhuma emissão líquida de CO<sub>2</sub> (BRIDGEWATER e GRASSI, 1991 *apud* BISWAS et al., 2017).

Vários estudos comprovam que a casca de coco possui propriedades que justificam a utilização desse subproduto como insumo produtivo. A biomassa lignocelulósica, como as cascas de coco, é um recurso versátil e valioso que é inexoravelmente gerado na agroindústria. Portanto, a utilização desse material não compromete a indústria de alimentos e bebidas, mas, sim, evita o acúmulo inapropriado de material obsoleto no ambiente (FERREIRA -LEITÃO et al., 2010). O não aproveitamento do material representa um custo a ser financiado pela sociedade no processo de descarte (SENHORAS, 2004). Sendo assim, a recuperação desse material, no sentido de reutilizá-lo em outros ciclos produtivos sustentáveis, torna-se uma

necessidade (CORRADINI et al., 2009) assim como uma solução viável para o problema do pós-consumo do coco (ANTUNES et al., 2013).

A partir da destilação seca desse material, além do carvão, poderão ser obtidas duas frações distintas, sendo uma constituída por substâncias condensáveis ("líquido pirolenhoso") e outra por gases incondensáveis. O líquido pirolenhoso apresenta inúmeras aplicações, dentre as quais se destacam o seu uso como fungicida, herbicida e inseticida, nas culturas orgânicas; como preservativo de madeira; como combustível líquido; como insumo para as indústrias química e farmacêutica; etc. Os gases incondensáveis, por sua vez, depois de serem armazenados por compressão em cilindros metálicos, podem ser utilizados como combustíveis gasosos para a geração de força-motriz e para a geração de energia térmica (ANDRADE e CARVALHO, 1998). O estabelecimento de novas formas de aproveitamento das sobras do coco-da-baía poderá reduzir o volume de resíduos sólidos nos aterros sanitários e proporcionar novas fontes de renda aos produtores, uma vez que as demandas atuais não consomem todo o coco descartado.

Silva (2018) expõe que consumo de coco em larga escala gera uma enorme produção de resíduos sólidos, chegando a 70% do lixo gerado no litoral dos grandes centros urbanos. Em média o coco tem entre 2kg a 2,5 kg, sendo que até 70% do seu peso está na casca. Sua decomposição ocorre de maneira lenta envolvendo no processo a emissão de gases como o gás carbônico e o metano, contribuindo para o efeito estufa, degradação da paisagem além de contribuir para a proliferação de mosquitos transmissores de doenças.

O aproveitamento das cascas do coco verde é a alternativa mais viável para minimizar o problema ( EMBRAPA, 2017). Esforços vem ocorrendo para aproveitar essa biomassa, principalmente por pesquisas realizadas pela EMBRAPA, que busca dar um destino ecologicamente correto para esse material:

- Mantas biológicas usadas para contenção de encostas, evitando deslizamentos.
- Estofado para compor assento de veículos.
- Pó do coco como substrato agrícola.
- Confeção de vasos, placas e bastões para o cultivo de diversas espécies vegetais.
- Artesanatos variados.
- Etanol de segunda geração.
- Biogás a partir do líquido da prensagem da casca.
- Bio-óleo.
- Carvão vegetal.

- Briquetes utilizados para geração de energia, considerados “carvão ecológico”, são utilizados em pizzarias, churrascarias, padarias, residências e industriais.

## 2.5 ADSORÇÃO

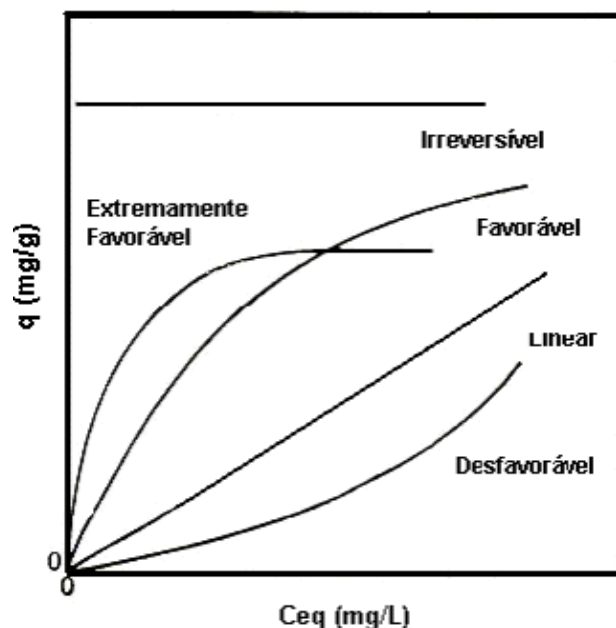
A adsorção é definida como um processo físico que ocorre através da transferência de moléculas de um gás ou líquido para uma superfície sólida, que fica retida devido às interações com os constituintes do sólido (FOUST, 2012). Às substâncias que se aderem ao sólido são chamadas adsorvato; ao material sólido denomina-se adsorvente, e, ao meio onde estão inseridos o adsorvato e o adsorvente, solução. As interações entre o adsorvato e adsorvente podem ocorrer de forma física (fisissorção) ou química (quimissorção) (SOUSA, 2015).

A fisissorção, ocorre principalmente por forças eletrostáticas entre moléculas do adsorbato e os átomos que compõem a superfície do adsorvente, ou seja, as moléculas do adsorbato e os átomos que compõem a superfície do adsorvente, ou seja, as moléculas encontram-se fracamente ligadas à superfície e os calores de adsorção são baixos (COELHO, 2006; ALVES 2007).

Na quimissorção, há o envolvimento de interações químicas entre o fluido adsorvido e o sólido adsorvente, onde há a transferência de elétrons, semelhante à formação de ligações químicas entre o adsorbato e a superfície do sólido. Ocorrem assim ligações químicas entre adsorvente e o formação de uma única camada sobre a superfície sólida e irreversibilidade da ligação (ATKINS, 1999; MARTINEZ, 1990; GONZÁLEZ, 2009).

Vários fatores podem afetar adsorção, tais como: área superficial, as propriedades do adsorvente (tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material) e do adsorvato (polaridade, do tamanho da molécula, da solubilidade e da acidez ou basicidade), a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio (NASCIMENTO et al., 2014). A capacidade adsortiva de qualquer adsorvente é em função da pressão (quando gases) ou da concentração (quando líquidos) e da temperatura (CLAUDINO 2003). Essa capacidade pode ser medida quantitativamente por meio de isotermas, que mostram a relação de equilíbrio entre a concentração da fase fluida e a concentração do adsorbato que se deposita nos adsorventes a uma determinada temperatura (BATISTA, 2014). Quando a capacidade de adsorção varia com a concentração à temperatura constante, é possível a obtenção de curvas denominadas isotermas (CLAUDINO et al. (2003). A Figura 8 mostra as várias formas de isotermas de adsorção.

**Figura 8-** Formas de isotermas de adsorção.



**Fonte:** CUSSLER (1997).

Para a adsorção são empregados materiais com característica porosa como adsorvente. Alguns dos adsorventes mais utilizados são a sílica gel, o carvão ativado, a alumina, as zeólitas sintéticas e naturais e diversas argilas, destacando-se o carvão ativado pelas suas características que favorecem a remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos (PEREIRA, 2010; OLIVEIRA, 2002).

## 2.6 CARVÃO ATIVADO

A origem do carvão ativado é bem remota, não sendo possível dizer historicamente quando começou seu uso. Antes de utilizar o que chamamos hoje de carvão ativado, o carvão vegetal ou parte desvolatilizada de materiais carbonáceos, já era empregado como material adsorvente (BANDOSZ, 2006; PEREIRA, 2010). O carvão ativado é um material carbonáceo, com estrutura altamente porosa. A porosidade do carvão ativado, lhe proporciona uma elevada área superficial, proporcionando a adsorção de moléculas tanto em fase líquida como gasosa. Suas propriedades dependem da matéria-prima, do processo e do tempo de ativação utilizados, além da forma final do carvão (distribuição dos tamanhos de seus poros e também da geometria e tamanho da molécula do adsorvato) (GALGON, 2001; ALBUQUERQUE, 2003;

MESTRE, 2011; YUSO, 2013). A figura 9 mostra o esquema da estrutura dos poros do carvão ativado.

Segundo a *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), os carvões são classificados em:

- Microporosos: com poros até 20 Å;
- Mesoporosos: com poros de 20 a 500 Å;
- Macroporosos: com poros acima de 500 Å.

**Figura 9-** Esquema da estrutura dos poros do carvão ativado.



Fonte: ACTIVBRAS (2010).

Tais características fazem do carvão ativado um adsorvente muito versátil, sendo aplicado em: procedimentos medicinais, industriais e ambientais, como processos de purificação, recuperação de produtos químicos, remoção de compostos orgânicos e metais, suporte de catalisadores, remoção de mau cheiro, cor e sabor, impurezas de águas residuais domésticas e industriais, controle da poluição atmosférica como escapes industriais e de automóveis, na purificação de muitos produtos químicos, produtos farmacêuticos e alimentares. E em uma variedade de aplicações em fase gasosa. (DIAS, 2009; STAVROPOULOS e ZABANIOTOU, 2005).

Há uma grande variedade de matérias-primas que podem ser utilizadas na fabricação de carvão ativado, basta que tenham alto conteúdo carbonáceo, como madeira, endocarpo de coco, sementes, ossos de animais, petróleo, carvões de origem mineral, plástico, pneus, lignita e material betuminoso (MANGUEIRA, 2014).

O endocarpo seco apresenta em sua composição elevados teores de lignina, além de celulose e hemicelulose em quantidades menores. A lignina é um polímero aromático constituído de um sistema heterogêneo e ramificado sem nenhuma unidade repetidora

definida. Ocorre na maioria das plantas, entretanto sua composição não é idêntica em todas elas (AGUIAR, et. al, 2009).

O endocarpo in natura pode ter uma significativa agregação de valor quando aplicado na produção de carvão ativado ou como combustível, devido seu poder calorífico, sendo, muito utilizado em revestimento de paredes e móveis na forma de pastilhas, como também em produtos ligados a atividades do ramo artesanal. (PAZ, 2017).

## **2.7 CLORO RESIDUAL**

Os procedimentos de desinfecção visam a destruição ou inativação de organismos patogênicos. Capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis. O cloro exerce predominantemente essa função contribuindo para a manutenção da qualidade microbiológica da água de consumo, há mais de um século. (GUIMARÃES, 2010).

O cloro é o agente químico mais disseminado no tratamento de águas de abastecimento, sendo mais utilizado em sua forma gasosa ou em suas formas líquidas. Ele tem sido aplicado como desinfetante primário na vasta maioria das estações de tratamento de água superficial ou subterrânea, tanto como pré-desinfetante, quanto como pós-desinfetante (manutenção do residual na rede) (DANIEL, 2001).

Sendo o cloro um reagente não conservativo, sua concentração é reduzida, conforme certas condições encontradas no reservatórios e nas redes de distribuição. Um fator importante na avaliação da eficiência da cloração é verificar seu potencial desinfetante em manter um residual adequado por um tempo de contato específico, de maneira a construir uma barreira sanitária contra eventual recontaminação antes do uso. Portanto, o cloro residual vem a ser muito para as condições de potabilidade da água. (GUIMARÃES et al., 2010).

## **2.8 USO DE CARVÃO ATIVADO NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

O carvão ativado tem se mostrado relevante para fins industriais, sendo aplicado na adsorção de componentes químicos, bem como na purificação de água a fim de se adequar aos padrões de potabilidade humana. Devido à sua alta capacidade como agente adsorvente, o carvão remove odor, sabor, cor, substâncias dissolvidas quimicamente em líquidos, entre outros. Além do que foi citado anteriormente o carvão ativado pode ser empregado ainda, na remoção de compostos fenólicos, micropoluentes, bactérias, vírus, pesticidas e outros

compostos que diminuem a qualidade da água. (MACHADO, 2019). Algumas de suas aplicações em indústrias de alimentos estão dispostas as seguir:

- Açúcar líquido: remoção de cor e melhoria nas características sensoriais do xarope.
- Bebidas alcoólicas: remoção de cor, e outros compostos como o álcool amílico e aldeídos que influenciam nas características sensoriais da cerveja, vinho, whisky, rum, vodka e cachaça.
- Glicerina: remoção de cor e odor.
- Descafeinação: adsorção e recuperação da cafeína, que pode ser purificada para o uso na fabricação de bebidas ou na indústria farmacêutica.
- Sucos de frutas: remoção de polifenóis coloridos, melanoidinas marrom escuro, sabores indesejáveis, precursores de cor criados durante o processo pesticida e fungicida residuais.
- Ácido cítrico: adsorção de colorantes da solução de ácido cítrico.
- Cana-de-açúcar: usado para descolorir o xarope de cana-de-açúcar antes da cristalização e para remover outras impurezas como aminoácidos e polissacarídeos.
- Amido hidrolizado: usado na descoloração e purificação da glicose, frutose, maltose, dextrose e maltodextrina.
- Gorduras e Óleos Comestíveis: usado para descolorir óleos de palmito, coco, girassol e soja, além de remover hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.
- Flavorizantes: remoção de cor de proteínas vegetais e purificação do glutamato.
- Descloração de compostos químicos clorados. Quando a água contendo os compostos de cloro é passada pela superfície do carvão ativado, o cloro é primeiro removido por adsorção na superfície ativa. Em seguida, o cloro livre adsorvido é reduzido quimicamente (SCHMIDT, 2011).
- Polimento de efluente industrial: As indústrias sucroalcooleiras se caracterizam por grande demanda de água, e geram volumes proporcionais de vinhaça a serem descartados, sendo caracterizada como um efluente de elevado poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico. Lima *et al.*, (2012) estudaram o tratamento de vinhaça através dos processos de coagulação química com diversos coagulantes como  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e  $\text{CaO}$  seguido de polimento em carvão ativado.

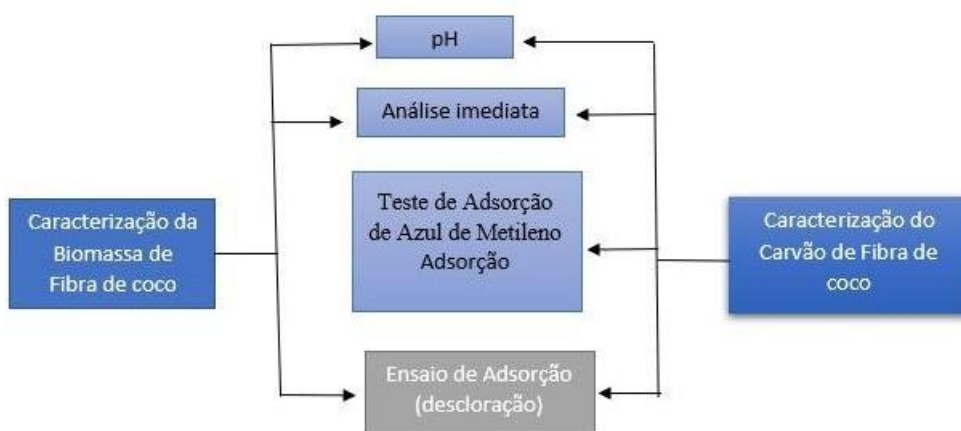
Neste trabalho focaremos no uso de carvão ativado para descloração na etapa de pré-tratamento de água para a indústria alimentícia.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo foram abordados os métodos utilizados nos ensaios deste projeto de pesquisa.

A Figura 10, demonstra a evolução dos procedimentos metodológicos:

**Figura 10-** Procedimento Metodológico



**Fonte:** AUTORA (2020).

#### 3.1 MATERIAL PARA AS AMOSTRAS

Os materiais utilizados nessa pesquisa foram disponibilizados pelo laboratório LARSEN do IFTO campus Palmas e se tratam de resíduos de coco (coco nucifera L) da variação anã coletados no Parque Cesamar localizado na zona urbana de Palmas-TO. Estes resíduos tiveram sua água comercializada, portanto, foram coletados os frutos verdes in natura sem água, que posteriormente foram tratados e transformados em fibra in natura e carvão ativado e estocados para pesquisas posteriores.

#### 3.2 PREPARO DA AMOSTRA

Se tratando do fruto verde *in natura* sem água, as partes constituintes são a epiderme, mesocarpo fibroso, endocarpo e albúmen. As partes aproveitadas para amostra foram o mesocarpo e o albúmen, que foram trituradas no triturador de coco modelo TRC-40 5V mono TRAPP para conseguir a fibra. As amostras foram trituradas em moinho de facas e peneiradas em peneiras com abertura de 0,59mm ( ABNT 30, Tyler 28), visando proporcionar homogeneidade e facilitar os processos de análise, como recomendado por Vieira (2009). A secagem foi realizada em estufa da marca Thorth, modelo Th-520-150, a temperatura adotada na secagem foi de 60 °C, por um período de 24horas. A Figura 11 mostra amostras de fibra de coco inteira e trituradas em moinho de facas.

**Figura 11-** Amostras de fibra de coco inteira e trituradas em moinho de facas.



**Fonte:** PAZ (2017).

Foi obtido o carvão da fibra de coco através do processo de pirólise em um reator de leito fixo. A biomassa foi inserida ao reator na forma de briquetes. A conversão térmica foi realizada em um reator de leito fixo (marca FLYEVER, modelo FE50RPN E LINHA 05/50), de aço inox de 100 com de comprimento e diâmetro externo de 10cm. O carvão ativado de fibra de coco empregado (Figura 12) nessa pesquisa foi produzido nas seguintes condições: (a) temperatura= 600° (b) taxa de aquecimento= 20°/min e tempo de pirólise= 30 min.

**Figura 12-** Amostra de carvão de fibra de coco.



**Fonte:** AUTORA (2020).

### **3.3 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO**

#### **3.3.1. Análise imediata**

As análises imediatas da fibra de coco foram realizadas no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética Tocantins (LARSEN) – Campus Palmas.

##### **3.3.1.1 Umidade**

A determinação da umidade da fibra de coco, foi feita de acordo a norma ASTM D 3173-85, adicionando cerca de 1g da biomassa a um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. Posteriormente a amostra foi aquecida em estufa a uma temperatura de 110 °C durante 1 hora e depois colocada em um dessecador por 10 minutos e pesado. Esse procedimento foi realizado três vezes. O teor de umidade foi determinado através da equação 1 a seguir:

$$\% \text{ Umidade} = \frac{(A-B)}{(C)} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

A= peso do cadinho + amostra, g

B= peso do cadinho + amostra após o aquecimento, g

C= peso da amostra, g

### 3.3.1.2 Teor de cinzas

Para o teor de cinzas método escolhido foi o sugerido por SANCHEZ (2009). Em um cadinho de porcelana com peso pré-determinado foi adicionado uma massa de aproximadamente 1g de fibra de coco. A amostra foi aquecida em mufla de marca Coel modelo Hm, a uma temperatura de 815 °C por um período de 30 minutos. Em seguida o cadinho foi colocado em um dessecador por 1 hora e pesado. A determinação do teor de cinzas foi feita através da Equação (2), descrita abaixo:

$$\% \text{ Cinzas} = \frac{(A-B)}{(C)} * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

A= peso do cadinho + amostra, g

B= peso do cadinho + amostra após o aquecimento, g

C= peso da amostra, g

### 3.3.1.3 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo foi definido através da diferença, expressa na Equação (3), descrita abaixo.

$$\text{Carbono Fixo} = 100 - (\% \text{ Umidade} + \% \text{ Cinzas} + \% \text{ Material Volátil}) \quad (\text{Equação 3})$$

### 3.3.1.4 Densidade Aparente

Foi inserida uma proveta de 100mL em uma balança analítica, esta foi zerada e a ela adicionada a biomassa da fibra de coco moída, assim foram obtidas as massas(g) nas sucessivas adições nos respectivos volumes de 20mL, 40mL, 60mL, 80mL e 100mL. Considerando o princípio de que a densidade é a relação de massa e o volume da amostra, determinou-se a densidade, média e o desvio padrão.

### 3.3.1.5 Material Volátil

A verificação do teor de material volátil da biomassa da fibra de coco foi realizada adicionando aproximadamente 1g de amostra em um cadinho de porcelana com peso

constante pré-determinado. Prosseguindo, a amostra foi aquecida em uma mufla (Figura 13) à temperatura de 900° C, na ausência de oxigênio por um período 20 minutos. O procedimento adotado foi o sugerido por SÁNCHEZ, (2009). O teor de material volátil foi determinado pela Equação (4), descrita a seguir.

$$\% \text{ Material Volátil} = \left[ \frac{(P+P0)-P3}{(P0)} \right] \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

P= peso do cadinho vazio

P0= peso da amostra inicial

P3= peso do cadinho + amostra final

**Figura 13-** Mufla aquecida com cadinhos no seu interior



**Fonte:** Autora (2020).

### 3.3.2 Teste de Adsorção de Azul de Metileno em Filtro de Carvão

O teste foi realizado através de filtro descendente contendo como meio filtrante a biomassa de fibra de coco no LARSEN – IFTO Campus Palmas.

Foi utilizada uma solução do corante azul de metileno com concentração de 2,642 mg/L, com pH original da solução para se realizar o experimento de fluxo contínuo. De acordo com Figura 14, foi empregado um sistema de filtração formado pelas seguintes partes: (a)

reservatório inferior de 50 litros, (b) reservatório superior de 20 litros com sistema de drenos e (c) filtro de carvão e areia.

**Figura 14-** Sistema de filtração de corante em carvão obtido da pirólise da fibra de coco.



**Fonte:** RODRIGUES (2018).

O reservatório inferior possui uma bomba submersa para o recalque do corante ao reservatório superior. No reservatório superior foi instalado um sistema de drenos com o objetivo de manter o volume do líquido constante e evitar elevadas variações de vazão do líquido durante a etapa de filtração (Figura 15). Nesse reservatório existem três tubulações para transporte de líquidos: alimentação do reservatório inferior, dreno para o reservatório inferior e alimentação do filtro. A alimentação do filtro foi feita por gravidade. As dimensões dos filtros são: altura total da tubulação 8 cm, altura do carvão na tubulação 4 cm, diâmetro da tubulação 1,6 cm. Durante a montagem do sistema será utilizada 1,9 gramas de massa do carvão em cada experimento. A alimentação realizada por gravidade foi mantida a uma vazão média de 8,5 mL/min.

**Figura 15:** Sistema de filtração de corante em carvão obtido da pirólise da fibra de coco – Reservatório superior.



**Fonte:** RODRIGUES (2018).

A adsorção da solução do corante foi medida em espectrofotômetro (Figura 16) de duplo feixe (PERKIN ELMER, LAMBDA 750) em 660 nm, com o auxílio de uma curva de calibração externa, construída pela análise de soluções de concentrações iguais a: 1, 2, 4, 8 e 10 mg/L partindo-se da solução inicial de azul de metileno.

**Figura 16-** Espectrofotômetro.



**Fonte:** AUTORA (2020).

## **3.6 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO**

### **3.6.1 Análise imediata**

As análises imediatas do carvão da fibra de coco foram realizadas no LARSEN – IFTO Campus Palmas. Os procedimentos adotados para na determinação das análises físico-químicas (densidade aparente, teor de umidade, teor de carbono fixo, teor de cinzas e material volátil) do carvão de fibra de coco foram conforme a mesma metodologia descrita no item 3.3.1 para caracterização da fibra de coco.

### **3.6.2 Teste de adsorção de azul de metileno em filtro de carvão**

O teste foi realizado no LARSEN – IFTO Campus Palmas, foi feito em filtro descendente contendo com meio filtrante o carvão da pirólise da fibra de coco. Os procedimentos para análise foram os mesmos descritos no item 3.3.2.

### 3.6.3 pH

Para determinar o pH do carvão de fibra de coco foram seguidos os procedimentos descrito na norma JIS K1474. O procedimento consiste em adicionar a um erlenmeyer de 200 mL, 1 g de carvão e 100 mL de água deionizada. Posteriormente, a mistura foi aquecida e deixada em ebulição por 5 minutos, como mostra a Figura 17, depois disso foi resfriada em temperatura ambiente. Na mistura já resfriada foi acrescentado 100mL de água deionizada , finalizando, foi medido o pH da suspensão com um pH-metro de marca Orion Star, modelo A201. Esta análise foi feita no LARSEN – IFTO Campus Palmas.

**Figura 17-** Erlenmeyers contendo fibra de coco e carvão de fibra de coco durante aquecimento .



**Fonte:** AUTORA (2020).

## 3.7 TESTE DE DESCLORAÇÃO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Tendo em vista o propósito de investigar a aplicabilidade industrial do carvão ativado da fibra de coco obtido e compara-lo com a fibra de coco in natura, foram realizadas análises de adsorção de água de abastecimento para investigar a eficiência do carvão de fibra de coco e da fibra de coco na remoção de cloro residual. Os testes foram realizados em filtros descendentes, fabricados artesanalmente no LARSEN – IFTO/Campus Palmas Tocantins.

O sistema de filtração é constituído dos seguintes componentes: (a) reservatório de água bruta, (b) bomba peristáltica, (c) motor-agitador de água bruta e (d) filtro de carvão. O transporte de líquidos será realizado por tubulação de silicone (Figura 18).

**Figura 18-** Sistema de descoloração de água de abastecimento.

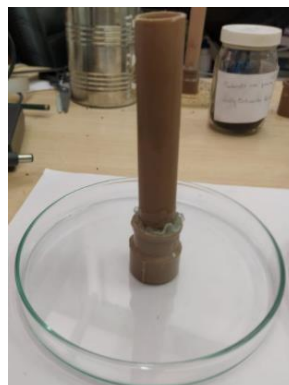


**Fonte:** MACHADO (2018).

As dimensões dos filtros foram: altura total da tubulação 8 cm, altura do carvão na tubulação 4 cm, diâmetro da tubulação 1,6 cm (Figura 19). Durante a montagem do sistema foi utilizada 1,9 gramas de massa do carvão em cada experimento. A alimentação realizada por gravidade foi mantida a uma vazão média de 6,3 mL/min. O material utilizado no filtro de carvão ativado foi peneirado em uma peneira com abertura de 1,18mm e para o filtro de Fibra de coco foi utilizado o material retido no peneiramento com a peneira de abertura 0,85 mm.

O teor de cloro ativo nas amostras, antes e após a filtração através de carvão ativado de fibra de coco e da fibra de coco in natura, será determinado pelo método DPD colorimétrico da marca YSI Water Testing, conforme (Figura 20) e em espectrofotômetro (Figura 16) de duplo feixe (PERKIN ELMER, LAMBDA 750) em 330 nm.

**Figura 19-** Montagem do Filtro.



**Fonte:** AUTORA (2020).

**Figura 20** – Equipamento para determinação de cloro presente na amostra.



**Fonte:** MACHADO (2018).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1. Caracterização da fibra de coco**

#### **4.1.1 Análise imediata da fibra de coco**

Para obtenção dos teores de umidade, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo da biomassa de fibra de coco foram realizados ensaios em triplicata, o que permite a obter uma média mais precisa do percentual de cada componente. Os resultados estão dispostos na Tabela 4, assim como os teores relativos de outras biomassas citadas na literatura.

**Tabela 4-** Análise imediata da fibra de coco.

| Biomassa de fibra de coco |              |                |                |
|---------------------------|--------------|----------------|----------------|
| Propriedade               | Autor        | Agrizzi (2017) | Machado (2019) |
| Umidade (%)               | <b>6,76</b>  | 8,87           | 9,14           |
| Teor de Cinzas (%)        | <b>5,75</b>  | 1,99           | 1,98           |
| Material Volátil (%)      | <b>72,07</b> | 84,11          | 88,12          |
| Carbono Fixo (%)          | <b>15,42</b> | 13,9           | 9,9            |

**Fonte:** AUTORA (2020).

A fibra de coco apresentou um teor de umidade de 6,76%, menor do que o obtido por Agrizzi (2017) e Machado (2019), o que a caracteriza como uma boa biomassa para a combustão, pois as biomassas com baixa umidade tem maior potencial como combustível, já que aumenta a quantidade de energia convertida em calor. Segundo Couto (2004), a umidade influencia significativamente a qualidade de combustão e o poder calorífico da biomassa. Sendo assim materiais que apresentam menor teor de umidade percentual são mais indicados para produção de carvão, pois do contrário dificultaria o processo. De acordo com Pedroza *et al.*, (2014), o teor de umidade dos materiais apresenta um importante papel no desenvolvimento da pirólise. Isto pode ser confirmado pelo fato de que a pirólise é menos drástica quando o processo se realiza com matéria seca.

O teor de cinzas se refere aos compostos inorgânicos presentes na biomassa, como potássio, magnésio, ferro, cálcio, sódio, fósforo, entre outros. Para determinação de cinzas, a biomassa é exposta a um processo de combustão em temperaturas na faixa de 800 °C, onde os componentes orgânicos reagem com o oxigênio no processo, restando apenas os minerais inorgânicos. Nesta pesquisa obtivemos um teor de cinza de 5,75% o que foi bem maior do que o obtido por outros autores da literatura.

Segundo McKendry (2002), o teor de materiais voláteis se refere a parte da biomassa que evapora como um gás ( incluindo umidade) por aquecimento, portanto, o teor de voláteis é medido quantificando-se a fração de massa da biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de 850°. Segundo Machado (2019) , quanto maior o teor de materiais voláteis, maior será o poder de reatividade da biomassa. Lewandowski (1997), afirma que o material volátil interfere diretamente na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e conseqüentemente a ignição. Portanto, determina a facilidade com que a

biomassa queima. Nessa pesquisa o teor de voláteis encontrado foi de 72,02% que foi um pouco mais baixo do que o apresentado por outros autores.

O carbono fixo representa a massa restante após a liberação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade (MCKENDRY, 2002). O valor observado para o material volátil da biomassa *in natura* dessa pesquisa foi de 15,42%, sendo um valor mais alto do que o encontrado por outros autores, o que mostra que a biomassa da pesquisa possui um rendimento maior.

#### 4.1.2 Densidade aparente

Adotou-se a média aritmética dos valores apresentados na Tabela 5 para determinação da densidade volumétrica aparente da biomassa da fibra de coco *in natura*, o valor médio encontrado foi de 0,239 g/mL, Machado (2019) registrou 0,254 g/mL de densidade para o sabugo de milho e Rodrigues (2019) 0,381 g/mL para casca de arroz. Essa diferença pode se dar devido influência na compactação da biomassa na percolação de fluidos como ,por exemplo, o ar.

**Tabela 5-** Densidade aparente da fibra de coco.

| DENSIDADE DA FIBRA DE COCO |                |              |                     |
|----------------------------|----------------|--------------|---------------------|
| EXPERIMENTO                | VOLUME<br>(mL) | MASSA<br>(g) | DENSIDADE<br>(g/mL) |
| 1                          | 20             | 5,14         | 0,257               |
| 2                          | 40             | 8,78         | 0,220               |
| 3                          | 60             | 14,24        | 0,237               |
| 5                          | 80             | 19,17        | 0,240               |
| 5                          | 100            | 24,39        | 0,244               |
| DENSIDADE MÉDIA=           |                |              | 0,239               |
| DÉSVIO PADRÃO=             |                |              | 0,012               |

**Fonte:** AUTORA (2020).

#### 4.1.2 Ph

O pH é um fator determinante em um processo de adsorção, através de sua análise é possível avaliar as interações eletrostáticas. JAGUARIBE *et al*, (2005), expõe que o pH indica a natureza ácida ou básica e no caso do carvão depende de sua preparação assim como grupos químicos ligados

na superfície, podendo alterar o processo de adsorção. O pH registrado da biomassa em análise dessa pesquisa foi 3,55 o que indica que o material é ácido. Valente (2009) em sua pesquisa encontrou 7,4 para a casca de arroz, indicando compostos de natureza básica e Geron (2019) encontrou 6,63 para o pH do bagaço de cana de açúcar, valor este também próximo da neutralidade.

## 4.2. Caracterização do Carvão da Fibra de Coco

### 4.2.1 Análise imediata do carvão de fibra de coco

A Tabela 6 mostra os valores registrados para as características do carvão de fibra de coco investigadas na análise imediata.

**Tabela 6-** Análise imediata do Carvão de fibra de coco.

| Propriedade          | Carvão ativado de fibra de coco |                  |                |
|----------------------|---------------------------------|------------------|----------------|
|                      | Autor                           | Rodrigues (2019) | Machado (2019) |
| Umidade (%)          | <b>6,36</b>                     | 4,35             | 3,43           |
| Teor de Cinzas (%)   | <b>13,67</b>                    | 37,63            | 17,09          |
| Material Volátil (%) | <b>24,25</b>                    | 51,17            | 38,68          |
| Carbono Fixo (%)     | <b>55,72</b>                    | 6,84             | 40,8           |

**Fonte:** AUTORA (2020).

O carvão analisado nessa pesquisa obteve uma umidade de 6,36%, mais alta que a obtida por Rodrigues (4,35%) que utilizou casca de arroz e Machado (3,43%) que utilizou Sabugo de milho. Quando há interesse em utilizar o material para geração de energia através de sua queima, a umidade se torna um parâmetro relevante. Observa-se uma diminuição do teor de umidade do carvão quando se compara com a biomassa *in natura*.

O teor de Cinzas do carvão foi de 13,67%, significativamente maior que o da biomassa *in natura* (5,75%), porém em relação aos outros autores em comparação foi registrado um teor de cinzas menor. Quando o carvão apresenta valores elevados de cinza significa que ele tem um baixo poder calórico, e devido isso, ser um carvão de qualidade ruim que pode provocar corrosão dos equipamentos utilizados na conversão energética. Segundo Jaguaribe (2005), o teor de cinzas é um indicativo da qualidade do carvão ativado e em geral a porcentagem de teor de cinzas de carvão comercial é de 15%. Um percentual baixo de cinzas é um fator positivo para produção de carvão ativado, considerando que a matéria mineral (cálcio, fósforo, enxofre etc.) devido ao caráter hidrofílico, promove a adsorção de água, competindo com outros compostos de interesse (LARGOSSE, 2005).

Nota-se uma redução significativa nos valores registrados de materiais voláteis do carvão de fibra de coco em relação a fibra in natura, indicando uma diminuição dos constituintes orgânicos (celulose, hemicelulose e lignina) da biomassa durante o processo de pirólise, o que segundo Vieira (2012), proporciona um melhor rendimento do subproduto quando submetido a processos de conversão energética, tendo em vista que quanto menor o teor de materiais voláteis do carvão, sua queima será mais lenta durante o processo de produção de energia. Nesta pesquisa foi obtido um teor de voláteis de 24,25% , sendo menor do que os obtidos por Rodrigues (2019) e Machado(2019).

Em relação ao carbono fixo foi registrado um teor de 55,72%, um valor maior do que o obtido por Machado(2019) e Rodrigues(2019), isso se explica pelo fato do carvão utilizado na pesquisa ter um teor de materiais voláteis menor que os outros autores. Percebe-se que a fibra de coco apresenta um teor de carbono fixo menor em relação ao carvão, devido o processo de carvoejamento, qual resulta em um combustível com grande quantidade principalmente de carbono (C) em sua estrutura, isso pelo fato da biomassa ser altamente oxigenada. Sendo assim, o resíduo carbonizado fornecerá maior quantidade de calor (VIEIRA 2012).

#### **4.2.2 Densidade aparente**

A média da densidade volumétrica aparente do carvão de fibra de coco obtido nos ensaios no Laboratório LARSEN foi de 0,222 g/mL, conforme apresentado na Tabela 7 a seguir. Segundo Silva (2009), a densidade aparente dos carvões é uma propriedade que depende da natureza da matéria prima e também do processo de manufatura. SILVA (2018), encontrou uma densidade média de 0,179 g/mL para o carvão produzido a partir da serragem, justificando que a densidade está relacionada com a granulometria do carvão, quando este é moído se torna mais compacto e assim possui menor densidade. SANTOS (2018), encontrou valor médio de 0,262 g/mL para a densidade do carvão da casca de abacaxi.

**Tabela 7-** Densidade do carvão de fibra de coco.

| DENSIDADE DO CARVÃO DE FIBRA DE COCO |                |              |                     |
|--------------------------------------|----------------|--------------|---------------------|
| EXPERIMENTO                          | VOLUME<br>(mL) | MASSA<br>(g) | DENSIDADE<br>(g/mL) |
| 1                                    | 10             | 2,213        | 0,221               |
| 2                                    | 20             | 4,688        | 0,234               |
| 3                                    | 30             | 6,77         | 0,226               |
| 4                                    | 40             | 8,65         | 0,216               |
| 5                                    | 50             | 10,698       | 0,214               |
| DENSIDADE MÉDIA=                     |                |              | <b>0,222</b>        |
| DESVIO PADRÃO=                       |                |              | 0,007               |

**Fonte:** AUTORA (2020).

### 4.2.3 pH

O valor encontrado para o pH do carvão foi 8,28, esse pH encontrasse próximo do neutro, apesar de um pouco maior, o que indica presença de compostos de natureza básica, sendo assim supõe-se a inexistência de grupos ácidos e oxigênio em sua superfície. O pH encontrado para o carvão da casca de arroz por Rodrigues(2019) foi de 6,51 e por Machado (2019) para o carvão do Sabugo de milho 7,8, ambos também em torno da neutralidade. O estudo do pH é muito relevante quando se trata de sistemas de adsorção. Os carvões, em geral, desenvolvem cargas na interface sólida-líquida por causa da dissociação ou adsorção de íons da solução. A caracterização é importante no que se refere às aplicações dos materiais como adsorventes, existindo uma faixa de pH em que as cargas superficiais líquidas do adsorvente são nulas(Ponto de Carga Zero do adsorvente) (MARIA, 2015).

## 4.3 Testes de Adsorção

### 4.3.1 Teste de adsorção de Azul de Metileno do carvão ativado de fibra de coco

A determinação do índice de Azul de Metileno é uma avaliação relevante, pois avalia a eficiência de adsorção carvão de fibra de coco e informa a respeito da mesoporosidade do material adsorvente. O índice de Azul de Metileno se trata da capacidade que o carvão tem de adsorver partículas ou moléculas que tenham dimensões similares à do azul de metileno,

referindo-se também, a área superficial dos poros superiores a 1,5 nm (VALCARENGHI e RIBEIRO, 2013).

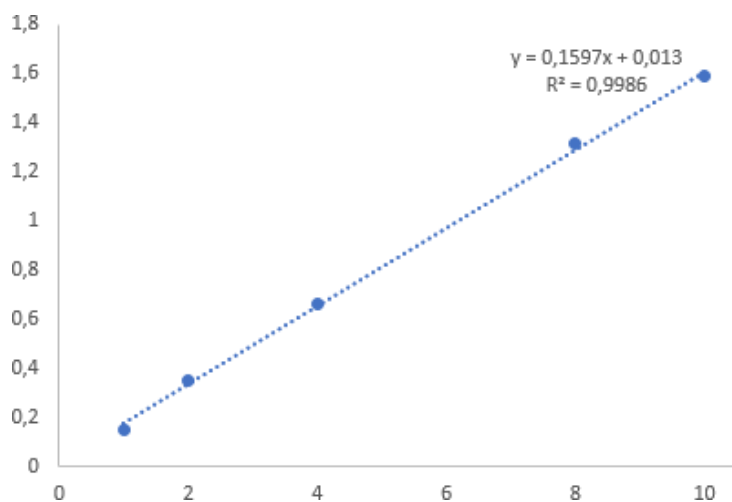
Para relacionar a concentração de azul metileno com a absorvância medida pelo espectrofotômetro, foi construída uma curva de calibração relacionando essas duas variáveis, representadas a seguir pela Tabela 8, colimando no gráfico representado na Figura 21:

**Tabela 8-** Concentração e absorvância para curva de calibração do azul de metileno.

| Concentração (mg/L) | Absorvância (-) |
|---------------------|-----------------|
| 1                   | 0,149           |
| 2                   | 0,348           |
| 4                   | 0,658           |
| 8                   | 1,317           |
| 10                  | 1,586           |

**Fonte:** AUTORA (2020).

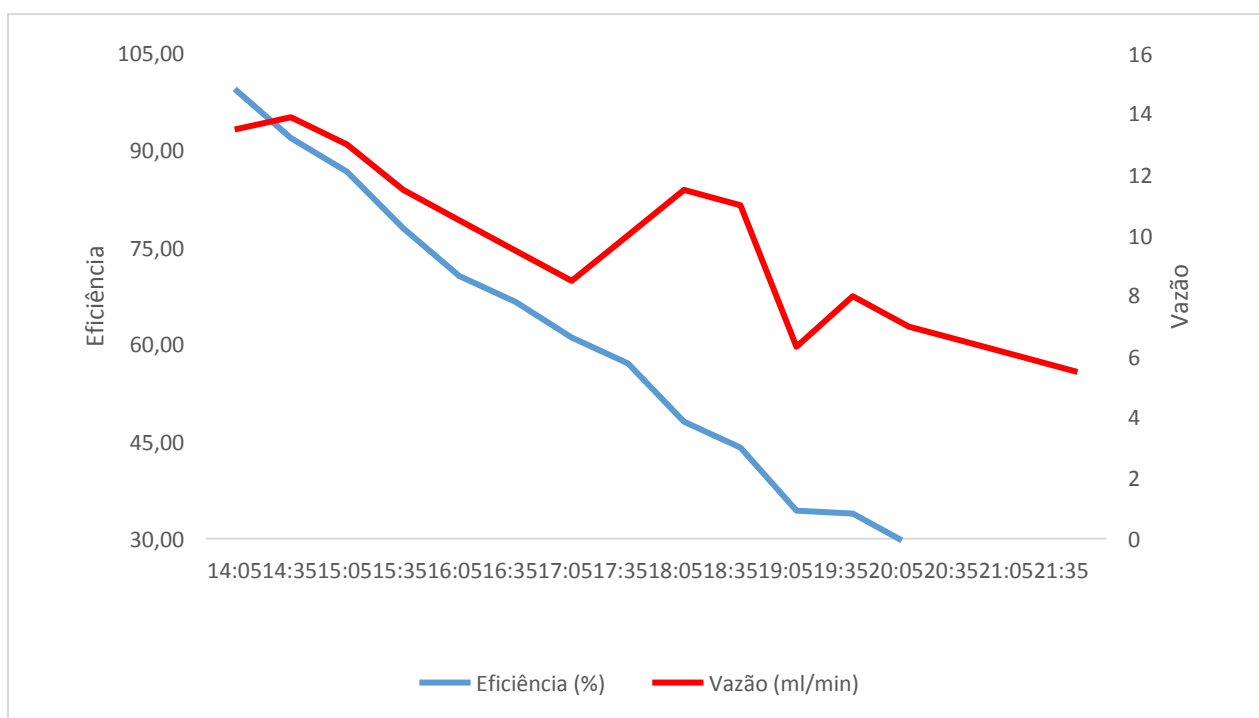
**Figura 21-** Curva de calibração para teste de adsorção de azul de metileno



**Fonte:** AUTORA (2020).

O Sistema de adsorção do corante azul de metileno permaneceu em operação durante 5 horas e 30 min, sendo medida a vazão média e a concentração do efluente filtrado a cada 30 minutos. A Figura 22 mostra a eficiência de remoção do corante azul de metileno em função do tempo de operação e da vazão.

**Figura 22-** Eficiência de remoção do azul de metileno em filtro de fibra de coco.



**Fonte:** AUTORA (2020).

O filtro inicialmente apresentou uma remoção de 99,53% do corante em estudo, operando à uma vazão média de 6,34 mL/min. Observa-se também um decaimento da eficiência de remoção devido a saturação do carvão. A menor eficiência observada foi de 28,66% com o tempo de operação de 5 h e 30 min.

#### 4.3.2 Testes de descloração

A Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), estabelece os valores mínimos e máximos de cloro residual na água para abastecimento como sendo 0,2 e 2 mg/L, respectivamente, em toda extensão do sistema de distribuição.

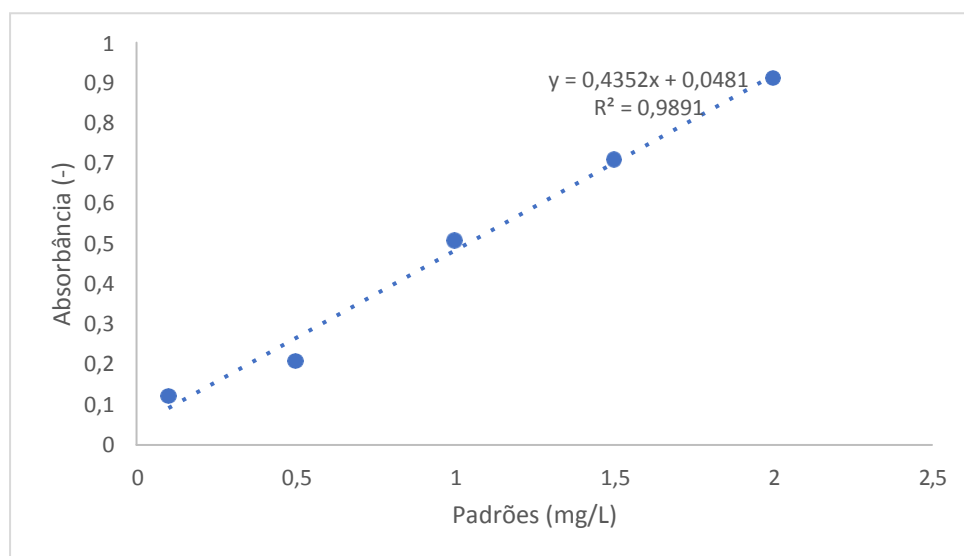
Para ser capaz de relacionar a concentração de cloro com a absorvância medida pelo espectrofotômetro, foi construída uma curva de calibração relacionando essas duas variáveis, representadas a seguir pela Tabela 9 , colimando no gráfico representado na Figura 23:

**Tabela 9-** Concentração e absorvância para curva de calibração de adsorção de cloro.

| Concentração (mg/L) | Absorvância (-) |
|---------------------|-----------------|
| 0,1                 | 0,121           |
| 0,5                 | 0,209           |
| 1                   | 0,508           |
| 1,5                 | 0,71            |
| 2                   | 0,912           |

**Fonte:** AUTORA (2020).

**Figura 23-** Curva de calibração para teste de adsorção de cloro.



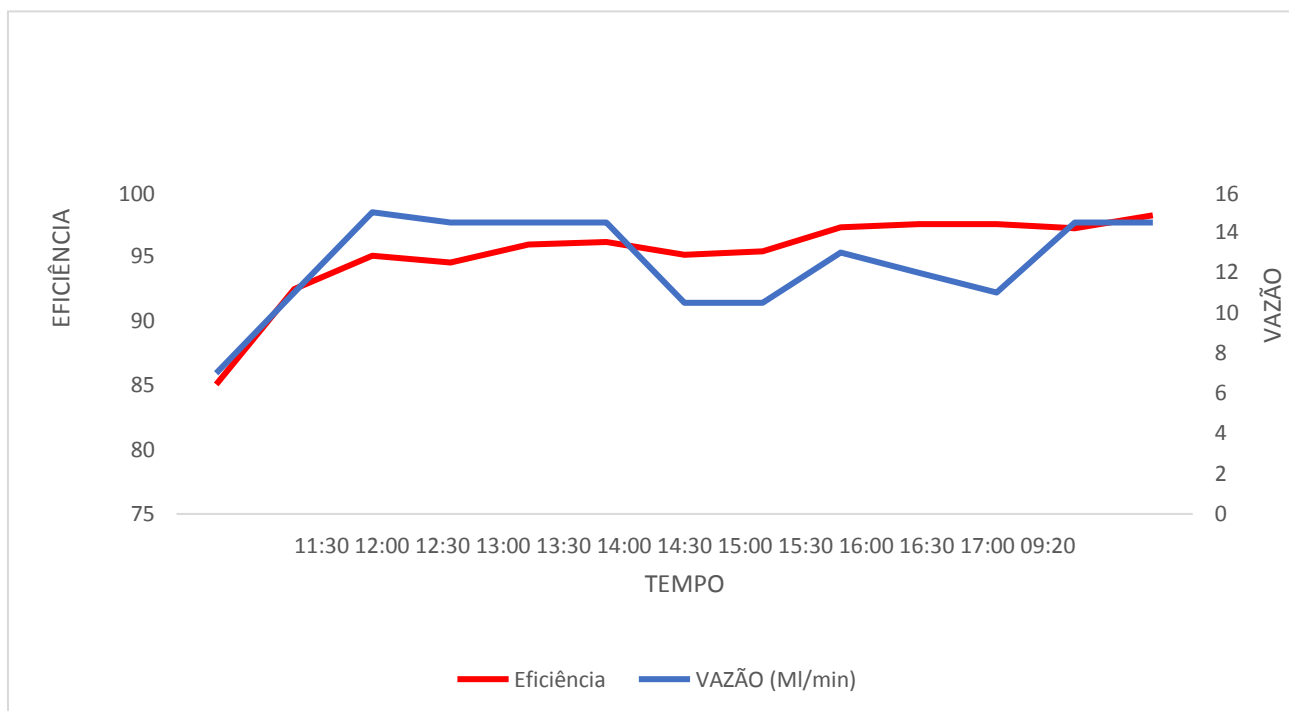
**Fonte:** AUTORA (2020).

#### 4.3.2.1 Teste de adsorção de cloro com filtro de fibra de coco

Para a biomassa foi realizado apenas o teste de descloração de água de abastecimento. Para o ensaio, foi utilizado no filtro uma quantidade de 1,79 gramas de fibra de coco. O filtro

operou por 22H e 20 min, com uma vazão média de 12,5 mL/min. A maior eficiência na remoção de cloro registrada durante o ensaio foi de 98,2% e a menor foi 85,07% . Em nenhum momento do ensaio foi registrado 100% de eficiência na remoção de cloro, como demonstra a Figura 24.

**Figura 24-** Eficiência de remoção de cloro em água de abastecimento utilizando filtro de fibra de coco



**Fonte:** AUTORA (2020).

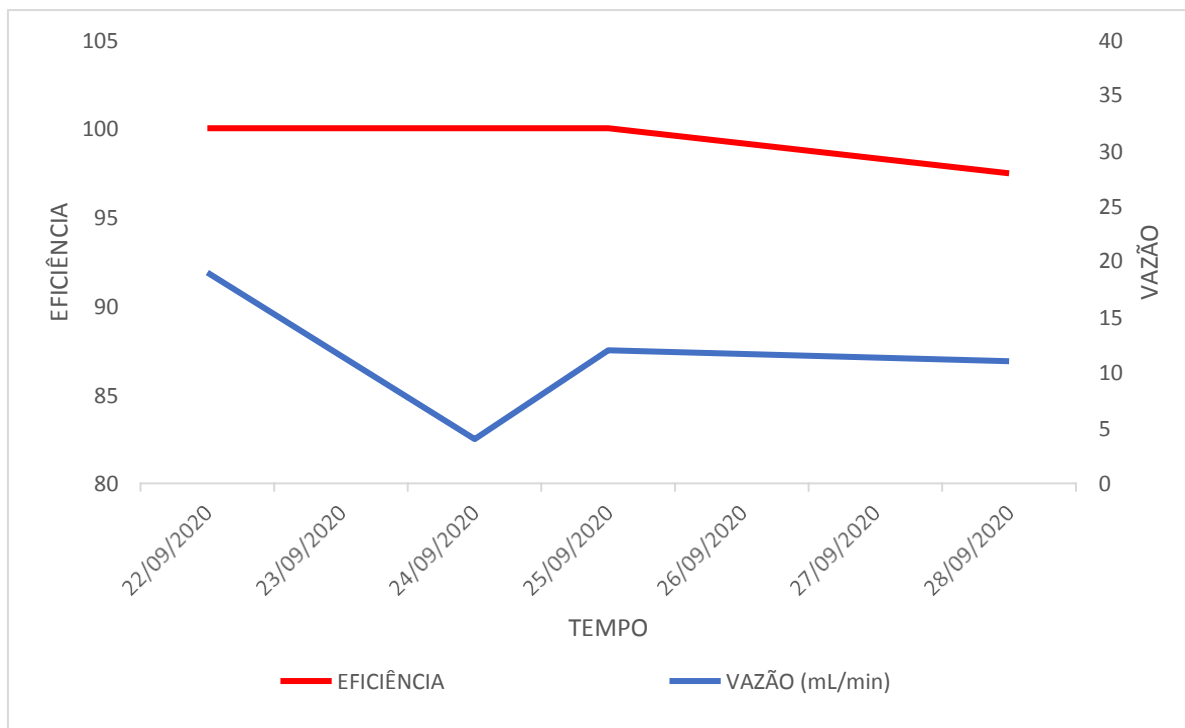
#### 4.3.2.2 Teste de adsorção de cloro com filtro de carvão de fibra de coco

Devido seu caráter econômico e eficiente na remoção de microorganismos mesmo os mais resistentes , que podem causar cólera e febre tifóide, o cloro é cada vez mais empregado para o tratamento de água de abastecimento urbano. Quando presente em quantidades excessivas esse desinfectante pode oferecer ser danoso a alguns processos industriais, ou mesmo indesejável para o consumo humano se em concentração superior a 2,0 mg/L.

Para o teste de descloração de água de abastecimento foi utilizado filtro de coluna de leito fixa. O tempo de operação durou 143 horas e 36 min. A eficiência de remoção foi de 100% inicialmente e após 6 dias em operação foi registrada uma eficiência de 98,2%, tratando

um volume de 1381,9 L de água de abastecimento bruta com concentração inicial de 1,5mg/L, como demonstra a Figura 24. Através dessa análise foi demonstrada a eficiência do carvão ativado da biomassa de fibra de coco na adsorção de cloro residual da água. Mesmo ao final das 143 horas de operação não houve saturação.

**Figura 25-** Eficiência de remoção de cloro em água de abastecimento utilizando filtro de fibra de coco.



**Fonte:** AUTORA (2020).

#### 4.4 Comparações dos resultados obtidos nos ensaios com a Fibra de coco e o Carvão da Fibra de coco

É muito importante conhecer a química da superfície do adsorvente e as propriedades do adsorvato pois estas podem afetar a adsorção. A capacidade de adsorção de uma molécula é função da sua afinidade com a água comparada a sua afinidade pelo adsorvente. A adsorção em carvão ativado granular, por exemplo, geralmente aumenta com o decréscimo da solubilidade do adsorvato (SONOEYINK, 1990). Nos próximos tópicos estão pontuadas as diferenças notadas entre os adsorventes analisados nesse trabalho.

- Teor de Umidade

O teor de umidade é uma característica muito relevante para o processo de adsorção, pois a molécula de água pode ocupar a superfície ativa do adsorvente, impedindo que o adsorvato possa ser adsorvido, deste modo, valores baixos de umidade são características determinantes para resultados adsorptivos satisfatórios. Sendo assim, a umidade influencia diretamente na eficiência do processo de adsorção ( SONOEYINK, 1990). Os valores de teor de umidade da fibra e do carvão de fibra de coco foram semelhantes, ambos menores do que outros autores da literatura comparados anteriormente, se mostrando positivos para o processo de adsorção.

- Teor de Cinzas

Em relação ao teor de cinzas, o carvão apresentou uma porcentagem maior que a fibra. MACHADO (2019) e RODRIGUES(2019), em suas pesquisas também registraram valores maiores do teor de cinzas para o carvão em relação a biomassa in natura. TRAMONTIN (2011), em seus estudos verificou que quanto maior for a temperatura de tratamento, maior o teor de cinzas. A elevação da temperatura provoca expansão dos gases expulsando-os do interior do carvão , o que vem determinar um menor teor de voláteis e maior teor de carbono fixo no produto final. O teor de cinzas no produto residual vai depender do teor original dos finos de carvão e das condições empregadas no processo. Sendo assim, por passar por uma carbonização o carvão apresenta um maior teor de cinzas do que a fibra.

- Teor de Voláteis e Carbono Fixo

A fibra de coco possui um teor maior de materiais voláteis que o carvão, como foi dito anteriormente, um teor baixo de materiais voláteis indica um melhor rendimento, sendo que quanto menor o teor de voláteis maior será o teor de carbono fixo. Segundo Brito (1993) e Braga (1992), os materiais voláteis são substancialmente formadas pelos elementos químicos; carbono, hidrogênio e oxigênio. Sua quantidade é influenciada pela lignina, estrutura e carbonização. Um aumento de materiais voláteis acarreta em um percentual menor de carbono fixo.

- pH

O pH em muitos casos tem um efeito significativo nas características da adsorção, pois para muitos compostos poluentes na água, a capacidade adsortiva aumenta com o decréscimo do pH. (WEBER, 1972; RANDTKE E SOEYINK, 1983). Se tratando de bases e ácidos orgânicos fracos, a afinidade pelo carvão ativado é função principalmente do pH. Quando o pH se encontra em uma faixa onde as moléculas estão sob a forma neutra, a capacidade de adsorção é relativamente alta. Porém, quando o pH está em uma faixa onde as moléculas estão ionizadas, a afinidade pela água é muito maior e a capacidade de adsorção do adsorvente é muito baixa (SNOEYINK, 1990). A fibra de coco possui pH de 3,55% indicando que ela é ácida, já o pH do carvão é de 8,28 indicando que é Básico. O pH do carvão por está mais próximo do neutro é mas favorável para a adsorção.

- Adsorção de Cloro

O teste de descloração usando o carvão ativado de imediato atingiu a eficiência de 100%, já o teste com a fibra de coco em nenhum momento do ensaio foi 100% eficaz na remoção de cloro, apesar de oscilar entre 85% a 98%. Claramente o carvão ativado foi mais eficiente na adsorção de cloro. O processo de carbonização pelo qual a biomassa passa para sua transformação em carvão potencializa suas propriedades que favorecem a adsorção.

#### **4.5 Aplicações do carvão ativado em processos para fins industriais**

A cervejaria tocantinense Jalapa, situada em Palmas no distrito de Taquaralto, produz chopp puro malte a partir de dois tipos de cevada, uma de origem nacional e outra alemã. Sua produção é estimada em 20 a 40 mil litros de chopp por mês, sendo distribuído para todo estado do Tocantins, Goiás, Pará e Maranhão. A água utilizada no processo produtivo é fornecida pela BRK Ambiental, empresa responsável pelo abastecimento no estado. Entre os aditivos químicos presente na água fornecida o cloro residual se destaca, pois interfere na produção cervejeira. No processo empregado, necessita-se de água livre de contaminantes que interferem no gosto, odor e cor do produto final. Para isso a empresa emprega um sistema de filtro (figura 26) composto por um Filtro primario de polipropileno, que realiza a primeira filtragem e em seguida é passado por 6 filtros de carbon block ( carvão ativado) para uma filtragem mais rigorosa. (MACHADO, 2019)

**Figura 26** – Sistema de Filtragem da água de abastecimento empregada no processo de produção



Fonte: Machado (2019).

A TOBASA BIOINDUSTRIAL DE BABAÇU S/A, é uma empresa pioneira no desenvolvimento de tecnologias e processos para o extrativismo florestal e o aproveitamento integral do coco de babaçu, a qual gera “economia circular” e “soluções sustentáveis” para diversos setores da indústria. A Companhia está localizada na cidade de Tocantinópolis (Tocantins) e contempla em seu parque industrial – com 175.000 m<sup>2</sup> de área total – a maior fábrica de carvão ativado de coco da América Latina. A TOBASA – com tecnologia própria desenvolvida pela empresa – fabrica o carvão ativado a partir do endocarpo do coco de babaçu, que é considerado uma matéria-prima nobre por ser naturalmente de elevada dureza, o que possibilita tecnicamente a obtenção de elevados índices de ativação. Dessa forma, esse carvão ativado ecológico, com grande área superficial de adsorção (700 a 1.200 m<sup>2</sup>/g), é constituído essencialmente de microporos e mesoporos, mantendo – após o processo de ativação – uma elevada dureza e um excelente índice de resistência à abrasão. Isso o torna especialmente apto e atrativo para ser utilizado, dentre outras inúmeras aplicações, em meios dinâmicos de tratamento de água nos filtros descloradores industriais e – especialmente – em filtros e purificadores residenciais. A empresa atualmente produz cerca de 300 toneladas/mês de

carvão ativado, contando com clientes nas áreas de tratamento de água, indústria farmacêutica, indústria alimentícia e de extração de ouro. A TOBASA é a empresa líder no Brasil em produção e fornecimento de carvão ativado do endocarpo do coco de babaçu, com principais clientes no ramo de purificadores de água como: Lorenzetti, 3M, Latina, Eversoft, Brasfilter. A empresa fornece carvão ativado também para Indústrias de Bebidas e Refrigerantes como à IBI (River), Tomaz de Aquino (São João da Barra), para hospitais (processo de hemodiálise) e para clientes que trabalham na extração de ouro, substituindo o mercúrio por carvão ativado. A produção atualmente de carvão ativado produzido pela Indústria Tobasa, chega à 300 toneladas/mês, com o preço estimado variando de 5,00 – 12,00 R\$/kg de acordo à granulometria do mesmo. Atualmente a indústria vem exportando o carvão do coco de babaçu para Argentina e iniciando as exportações para o México e para os EUA.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A proposta do presente trabalho foi testar o uso da fibra de coco in natura e o carvão ativado da fibra de coco em processos de adsorção de cloro residual em água de abastecimento, comparando a eficiência de ambos.

O carvão ativado de fibra de coco se mostrou mais eficiente que a fibra in natura no processo de descloração de água de abastecimento. A eficiência na remoção de cloro em sistemas de filtração com o carvão nessa pesquisa foi de 100% na maioria do período de operação e após 5 dias teve uma queda de 1,8 % ao longo do período monitorado ( 6 dias ininterruptos de operação). A fibra demonstrou uma eficiência significativa, entre 85- 98%, mas em nenhum momento removeu 100% do cloro. Os resultados obtidos corroboram de forma positiva, indicando o potencial da utilização do carvão ativado de fibra de coco, para produção de filtros de carvão ativado em indústrias de bebidas e alimentos. Podendo afirmar a viabilidade técnica do uso do mesmo, substituindo assim as matérias primas tradicionais empregadas na produção de material adsorvente.

Como sugestões de complementação para este trabalho, segere-se:

- Investigar teores de lignina, celulose e hemicelulose da fibra de coco.
- Investigar a influência do pH do meio aquoso e do pH do carvão no processo de adsorção.
- Avaliar área superficial e porosidade do carvão de fibra de coco.
- Aprimorar carvão realizando ativação com algum elemento químico.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. C. M. **Avaliação do tratamento de efluentes líquidos contendo cobre e chumbo por adsorção em carvão ativado**. 56 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento do Centro de Tecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

ARAGÃO, W. M.; Ribeiro, F. E.; Tupinambá, E. A.; Siqueira, E. R. de. **Variedades e híbridos do coqueiro**. In: Aragão, W. M. (Ed.). Coco pós-colheita. Brasília: EMBRAPA, 2002. p. 26-34. (Série Frutas do Brasil, 29).

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v.5, n.1, p. 24-42, 1998.

BAKTRON. **A Qualidade da Água na Produção de Alimentos**. 2016. Disponível em: <http://baktron.com.br/blog/a-qualidade-da-agua-na-producao-de-alimentos/>. Acesso em: 11 de Setembro de 2020.

BRASIL. Lei nº 594, de 24 de dezembro de 1948. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1940-1949/lei-594-24-dezembro-1948-367387-publicacaooriginal-1-.html#:~:text=Concede%20favores%20às%20fábricas%20que,aproveitamento%20de%20matéria%20prima%20nacional>. Acesso em: 04 de maio de 2020.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Florianópolis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, 2003. Dissertação de Mestrado.

COELHO, T. L., **Estudos de adsorção de Cobre (II) em microesferas de quitosana reticuladas com epícloridrina e impregnadas com heparina**, Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Química. Florianópolis, p.73, 2006.

COUTO, G. M. **Utilização de serragens de Eucalyptus sp. Na preparação de carvões ativados.** 2009. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

CUNHA, H. V. F. **Qual a importância da água na indústria de alimentos? Food Safety Brazil- Segurança de Alimentos,** 2016. disponível em : <https://foodsafetybrazil.org/importancia-da-agua-na-industria-dealimentos/>, Acesso em: 11 de Setembro de 2020.

CRUZ O. F. J. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da Região Amazônica.** Dissertação. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. MANAUS- 2010.

DIAS, J. M.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; ALMEIDA, M. F.; RIVERAUTRILLA, DIN, A. T. M.; HAMEED, B. h.; AHMAD, A. L. Batch adsorption of phenol onto physiochemical-activated coconut shell. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 161, n. 2-3, p. 1522-1529, Jan 2009.

FAO 2014. **World Production.** Disponível em: . Acesso em: 20 de julho de 2020.

FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Production.** Disponível em: [http:// faostat.fao.org/site/342/default.aspx](http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx). Acesso em: 24 de junho de 2020.

FOUST, Alan S. et al. **Princípios das Operações Unitárias.** 2 ed. Tradução: Horacio Macedo. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GERON, L. J. D.; Miguel, G. L., Mexia, A. A., Cruz, C., **Ver. Agro-ambientais** 2010 10, 57.

GUIMARÃES, C. O. et al. **Obtenção de bio-óleo a partir da casca de arroz.** Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 12, p. 159–166, 2014

IOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A., **Agricultural residues as precursors for activated carbon production – A Review**. Renewable and Sustainable Energy-Review, 11: 1966, 2008.

JAGUARIBE, E. F.; MEDEIROS, L. L.; BARRETO, M.C. S.; ARAUJO, L. P. The performance of activated. Carbons from sugarcane bagasse, babassu, and coconut shells in removing residual chlorine. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 22, n. 1, São Paulo, jan/mar.2005.

LARGOSSE, S. EL AL. Water adsorption on carbon molecular sieve membrane: experimental data and isotherm model. Carbon, v. 3, p. 2769-2779, 2005.

LORA, E. E. S. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**. 2º ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

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.

MELONI, P. L. S. **Higienização e Qualidade da Água na Indústria de Alimentos**. 2018. Disponível em: [www.uov.com.br/cursos-online-seguranca-alimentar/artigos/higienizacao-e-qualidade-da-agua-na-industria-de-alimentos](http://www.uov.com.br/cursos-online-seguranca-alimentar/artigos/higienizacao-e-qualidade-da-agua-na-industria-de-alimentos). Acesso em: 11 de maio de 2020

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso Racional e Reúso**. São Paulo: OFICINA DE TEXTO, 2005.

MONTEIRO, M. S. **Mesocarpo de coco verde (Cocos nucífera) e pó de serragem da tatajuba (Bagassa Guianensis Aubl) como adsorventes em meio aquoso**. 2010. 82f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís. 2010

RODRIGUES, C.R. **Degradação térmica da casca de arroz e utilização do carvão obtido no processo para polimento de águas cinzas**. 2019, Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2019.

SANCHEZ, M. E. et al. **Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge**. Biomass and Bioenergy, 2009.

ROLOFF, T.A. **Efeitos da não aplicação do controle de qualidade da água nas indústrias alimentícias.** SaBios: Revista Saúde e Biologia, v. 1. 2006.

RAMOS, G.D.M. **Qualidade da água utilizada em indústria de alimentos localizados no Estado do Rio de Janeiro.** Rev. Univ. Rural 2007, 27: 33-9. 2007.

PAZ, E. C. S. **Padronização das Condições de Degradação Termogravimétrica da Fibra de Coco em Reato de Leito Fixo na Produção de Carvão.** 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental. Universidade de Ribeirão Preto-UNAERP, Ribeirão Preto, 2017.

PINO, G. A. H. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (Cocos nucifera).** 113 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

PINO, G. H.; TOREM, M. L. **Aspectos fundamentais da biossorção de metais não ferrosos: Estudo de caso.** Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 8, n. 1, p. 57-63, jan./mar. 2011.

PEREIRA, E. I. **Produção de carvão ativado a partir de diferentes precursores utilizando FeCl<sub>3</sub> como agente ativante.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.- Lavras: UFLA, 2010

PEDROZA, M. M.; SOUSA, J. F.; VIEIRA, G. E. G.; BEZERRA, M. B. D. **Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor.** J.of Analyt. and Ap. Py., v. 105, p. 108–115 2014.

SALGADO, S. R. T.. **Estudo dos parâmetros do decaimento do cloro residual em sistema de distribuição de água tratada considerando vazamento.** Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo, 2008.

STAVROPOULOS, G.G. ZABANIOTOU, A.A. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. **Microporous Mesoporous Mater.**, v. 83, pp. 79-85, 2005.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM Jr.; B. de. S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. de. O.; LOPES, D. C. N. **Fatores que afetam o**

**desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos.** Archivos de Zootecnia, v.58, p.59-85, 2009.

VIEIRA, G. E. G. **Fontes alternativas de energia – Processo aperfeiçoado de conversão térmica.** Tese (Doutorado). 2004. 181 f. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2004.

VIEIRA, G. E. G., ROMEIRO, G. A., SELLA, S. M., DAMASCENO, R. N., PEREIRA, R. G. **Low temperature conversion (LTC) – An alternative method to treat sludge generated in an industrial wastewater treatment station – Batch and continuous process comparison.** Bioresource Technology. v. 100, p.1544–1547, 2009.