



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TOCANTINS

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA CIVIL

ADSORÇÃO EM BATELADA DE CORANTES TÊXTEIS DE EFLUENTE  
SINTÉTICO UTILIZANDO CARVÃO DE MANGA

PALMAS -TO, 2024

FRANCISCO DAS CHAGAS DE LIMA MIRANDA JUNIOR

ADSORÇÃO EM BATELADA DE CORANTES TÊXTEIS DE EFLUENTE  
SINTÉTICO UTILIZANDO CARVÃO DE MANGA

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel no curso de Engenharia Civil do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes  
Pedroza

PALMAS – TO, 2024

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

---

M672a Miranda Junioir, Francisco Das Chagas de Lima  
Adsorção em batelada de corantes têxteis de efluente sintético  
utilizando carvão de manga. / Francisco Das Chagas de Lima  
Miranda Junioir. – PALMAS, TO, 2024.  
55 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, 2024.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza  
Coorientadora: Ariadne Guedes Santos

1. Manga. 2. Carvão Ativado. 3. Adsorvente. I. Pedroza, Marcelo  
Mendes. II. Santos, Ariadne Guedes. III. Título.

**CDD 624**

---

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

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

## FOLHA DE APROVAÇÃO

FRANCISCO DAS CHAGAS DE LIMA MIRANDA JUNIOR

### ADSORÇÃO EM BATELADA DE CORANTES TÊXTEIS DE EFLUENTE SINTÉTICO UTILIZANDO CARVÃO DE MANGA

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel no curso de Engenharia Civil do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Aprovado em: 12/04/2024

#### BANCA AVALIADORA



---

Dr. Marcelo Mendes Pedroza  
IFTO – Campus Palmas



---

Dr. Elaine da Cunha Silva Paz  
IFTO – Campus Palmas



---

Eng. Ariadne Guedes Santos  
IFTO – Campus Palmas

## AGRADECIMENTOS

Passar pelos percalços da graduação, além do desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso, se fizeram possíveis com o apoio incondicional de diversas pessoas, portanto reservo esse espaço para agradecê-las.

Ao meu pai, Chagas (Francisco das Chagas de Lima Miranda), e minha mãe (Ângela Eloi Miranda), educadores que, desde cedo, entenderam e me fizeram entender que a educação é um dos bens mais preciosos que podemos herdar. Me mostraram ainda que, mesmo diante das maiores dificuldades que a falta de dinheiro pode trazer, investir em educação nunca vai ser em vão.

À minha mãe por nunca duvidar de mim e sempre acreditar e ter tanta fé quanto eu nas escolhas que faço na vida. Na falta de papai, cumpriu seu papel de matriarca com maestria, sempre cuidando de cada um dos filhos com a mesma garra e amor. Jamais poderei expressar o quão grato sou mamãe.

Aos meus irmãos, Paulla Crystina Eloi Miranda e Fellipe Antônio Eloi Miranda, que me mostraram que também posso ser resiliente e perseverar diante de quaisquer situações. Além de me apoiarem incondicionalmente ao longo de todo meu caminho acadêmico, dando o suporte para que eu pudesse estudar e a calma para minha mãe ao deixá-la ciente de que eu não estaria desamparado nessa jornada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza, por me aceitar como orientando e entender todas as questões pessoais envolvidas na minha jornada no desenvolvimento dos meus TCC 1 e TCC 2. Agradeço ainda pelo cuidado, paciência e apoio durante minha graduação e orientação, é perceptível o amor que você tem pelo que faz e por quem o faz. Com certeza, me espelharei no profissional leve, bem-humorado e eficiente que o senhor é.

À Ana Cilene Castro Sousa, minha eterna vizinha, também educadora e a primeira pessoa fora do meu meio familiar a acreditar incondicionalmente no meu potencial. Me lembro de cada palavra de carinho, incentivo e das comemorações à cada conquista minha, como às de uma mãe para com o filho. O “Zé” vai te admirar sempre, eu e minha mãe sentimos muito sua falta.

Ao Instituto Federal do Tocantins, *campus* Palmas, por me dar a

oportunidade de estudar em uma instituição de ponta, me dando amplo acesso à oportunidade de me desenvolver como um ótimo profissional e por ser o lugar onde fiz grandes amizades.

Aos meus *viewers* que sempre me fazem companhia, torcem pelas minhas conquistas e pelo meu bem-estar, sendo o perfeito exemplo de família que a gente encontra pelo caminho.

A mim, por fim, por ser naturalmente teimoso, por persistir apesar de tudo e nunca se dar por vencido. Por saber que sou perfeitamente capaz de qualquer coisa que eu me proponha fazer e pela capacidade de conseguir enxergar coisas boas até mesmo nos lugares mais escuros.

Como Miley Cyrus cita em "*The Climb*", sempre haverá outra montanha e eu sempre vou querer movê-la, não é sobre o quão rápido a gente pode chegar ao topo ou o que está te esperando do outro lado, é sobre a subida e a vista que você vai ter de lá de cima.

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi degradar termicamente os resíduos de manga por meio da pirólise, a fim de obter carvão ativado, que posteriormente foi testado como adsorvente de corante químico. Para isso, a amostra foi ressecada em estufa e triturada para ser caracterizada em densidade, teor de carbono fixo, teor de cinzas, teor de material volátil, e umidade, além de ter sido feito um ensaio para a cinética de perda de massa. Em seguida, o resíduo foi pirolisado por meio de um reator de leito fixo a 600 °C, e após a obtenção do carvão ativado, foi feita a caracterização nos mesmos aspectos da amostra inicial. O teste de adsorção foi feito em uma mesa de agitação com o carvão ativado produzido nessa pesquisa, na forma de pó, com granulometria de 0,45 mm. Foi aplicado um planejamento experimental do tipo Delineamento de Faces Centradas (DFC) para se verificar os efeitos de duas variáveis independentes (massa de carvão e concentração da solução do corante) no teste de adsorção. A densidade aparente obtida para a manga foi de 0,414g/mL. Os teores de cinza e material volátil para a biomassa in natura foram de, respectivamente, 2,589 e 75,102%. O rendimento de carvão da manga pirolisada com a taxa de aquecimento de 30°C/min na temperatura de 600 °C foi de 26,2%. Após a pirólise da biomassa, o teor de material volátil teve uma redução de 71,99%, o teor de cinzas apresentou um aumento de 340,82% e o carbono fixo teve um incremento de 314,4%. Durante os ensaios de adsorção do corante químico foi determinada uma eficiência de remoção igual a 95,47, o que aponta que a biomassa é adequada para a produção de carvão ativado através do processo de pirólise, e o carvão obtido tem alto poder de adsorção.

**Palavras-chave:** Biomassa, Manga, Pirólise, Carvão ativado, Adsorvente.

## ABSTRACT

The objective of this work was to thermally degrade mango waste through pyrolysis, in order to obtain activated carbon, which was later tested as a chemical dye adsorbent. For this, the sample was dried in an oven and crushed to be characterized in terms of density, fixed carbon content, ash content, volatile material content, and humidity, in addition to a test for mass loss kinetics. Then, the residue was pyrolyzed using a fixed bed reactor at 600 °C, and after obtaining the activated carbon, characterization was carried out in the same aspects as the initial sample. The adsorption test was carried out on a shaking table with the activated carbon produced in this research, in powder form, with a particle size of 0.45 mm. An experimental design of the Centered Face Design (DFC) type was applied to verify the effects of two independent variables (charcoal mass and concentration of the dye solution) in the adsorption test. The apparent density obtained for the mango was 0.414g/mL. The ash and volatile material contents for fresh biomass were, respectively, 2.589 and 75.102%. The char yield of the pyrolyzed sample with the heating rate of 30°C/min at a temperature of 600°C was 26.2%. After biomass pyrolysis, the volatile material content reduced by 71.99%, the ash content increased by 340.82% and fixed carbon increased by 314.4%. During the chemical dye adsorption tests, a removal efficiency of 95.47 was determined, which indicates that the biomass is suitable for the production of activated carbon through the pyrolysis process, and the carbon obtained has a high adsorption power.

**Keywords:** Biomass, Mango, Pyrolysis, Activated carbon, Adsorbent.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Níveis dos Fatores empregados no Planejamento Experimental, durante a adsorção do corante azul de metileno.....   | 33 |
| Tabela 2 - Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial DCCR.....                                              | 33 |
| Tabela 3 – Comparativo das características da Biomassa e do Carvão Ativado.....                                              | 36 |
| Tabela 4 – Resultado do teste de adsorção em relação à massa de carvão e concentração de corante.....                        | 37 |
| Tabela 5 – ANOVA para eficiência de remoção das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno.....              | 39 |
| Tabela 6 – Coeficientes de regressão do Planejamento DFC para definição da Razão de adsorção do carvão ativado da manga..... | 40 |
| Tabela 7 – ANOVA para Razão de adsorção das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno.....                  | 42 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Gráfico de consumo Mundial de Fibras de tecido (Milhões de toneladas) .....                              | 15 |
| Figura 2 - Ilustração do processo da adsorção, onde A representa o adsorvato e M (SUP) representa o adsorvente..... | 19 |
| Figura 3 – Manga.....                                                                                               | 22 |
| Figura 4 – Mangueira.....                                                                                           | 22 |
| Figura 5 - Produção de Manga no Brasil.....                                                                         | 24 |
| Figura 6 - Produção de Manga no Tocantins.....                                                                      | 25 |
| Figura 7 - Estufa utilizada para secagem da amostra.....                                                            | 28 |
| Figura 8 – Reator de leito fixo.....                                                                                | 31 |
| Figura 9 - Gráfico de perda de massa em função do tempo.....                                                        | 35 |
| Figura 10 - Curva de calibração.....                                                                                | 37 |
| Figura 11 - Solução de concentração 10mg/L antes e após a adsorção.....                                             | 38 |
| Figura 12 - Valores analisados x valores esperados para Eficiência de remoção.....                                  | 40 |
| Figura 13 - Diagrama de Pareto da Razão de Adsorção (Q) do carvão.....                                              | 41 |
| Figura 14 - Valores obtidos x valores previstos para Razão de Adsorção.....                                         | 42 |
| Figura 15 - Gráfico de superfície para a Razão de adsorção do carvão.....                                           | 43 |
| Figura 16 – Curvas de nível para a Razão de Adsorção do carvão.....                                                 | 43 |

## Sumário

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                           | 11 |
| 2. PROBLEMA DA PESQUISA.....                                  | 13 |
| 3. JUSTIFICATIVA.....                                         | 13 |
| 4. OBJETIVOS .....                                            | 14 |
| <b>4.1 Objetivos gerais</b> .....                             | 14 |
| <b>4.2 Objetivos específicos</b> .....                        | 14 |
| 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                 | 14 |
| <b>5.1. Indústria Têxtil</b> .....                            | 14 |
| <b>5.2 Efluentes Têxteis</b> .....                            | 15 |
| <b>5.3 Processo de Adsorção</b> .....                         | 17 |
| <b>5.4 Características fisiológicas da manga</b> .....        | 20 |
| <b>5.6 Biomassa para carvão ativado</b> .....                 | 23 |
| <b>5.7 Produção de Manga</b> .....                            | 23 |
| <b>5.8 Degradação Termoquímica</b> .....                      | 25 |
| <b>5.9 Experimento com pirólise da manga</b> .....            | 26 |
| 6. PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS .....                          | 26 |
| <b>6.1 Metodologia</b> .....                                  | 26 |
| <b>6.2 Caracterização da Biomassa</b> .....                   | 27 |
| <b>6.3 Caracterização do carvão obtido</b> .....              | 31 |
| 7. RESULTADO E DISCUSSÕES .....                               | 34 |
| <b>7.1 Caracterização da Biomassa</b> .....                   | 34 |
| <b>7.2 Rendimento de carvão do processo de pirólise</b> ..... | 36 |
| <b>7.3 Caracterização do carvão</b> .....                     | 36 |
| <b>7.4 Ensaio de adsorção</b> .....                           | 37 |
| <b>7.5 Eficiência de Remoção(E)</b> .....                     | 38 |
| 8. CONCLUSÃO .....                                            | 44 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 45 |
|-------------------------------------|----|

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso finito e essencial para a vida. De acordo com a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), por meio de sua Resolução nº 64/292 de 2010, o direito à água potável e limpa e o acesso ao saneamento são essenciais para o pleno gozo da vida e de todos os direitos humanos. Por ser um recurso cada vez mais escasso e com a redução da quantidade de água potável utilizável devido à grande geração de resíduos industriais, é crescente a preocupação com a preservação de recursos hídricos (Santos, 2021).

Metais tóxicos e compostos orgânicos nos corpos de água revela diversos problemas ambientais, públicos, governamentais e sociais, sendo motivo de preocupação para muitos setores industriais atualmente. Os processos industriais utilizam corantes na fabricação de seus produtos, como nas indústrias têxteis, de alimentos, plásticos, couro, papel e cosméticos. Estima-se que 10 a 15% dos corantes utilizados em escala global sejam liberados no meio ambiente durante o processo de manufatura, pois eles não aderem às fibras do tecido (Corrêa, 2009; Mattar, 2015).

A indústria de tecidos é responsável pela maioria das descargas e representa um problema ambiental pois possui uma grande quantidade de carga orgânica e cor, o que afeta a estética dos corpos d'água, sendo frequentemente motivo de alerta para os órgãos de fiscalização. Além da poluição visual, o despejo de águas residuais contendo corantes inibe a vida aquática e a atividade fotossintética, já que a absorção de luz impede a penetração da luz solar e interfere nos processos biológicos naturais da água. Além disso, esses despejos são altamente tóxicos e podem acumular no ambiente (UNIFAST, 2018).

A diversidade e complexidade dos efluentes, em conjunto com as exigências legais de tratamento eficiente, têm impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias. Estas buscam o tratamento mais adequado para eliminar ou imobilizar compostos orgânicos tóxicos, considerando os fatores de custo, tempo e eficiência dos processos existentes na eliminação, descontaminação e reaproveitamento de águas industriais. A adsorção, que envolve a transferência

de massa de um líquido para a superfície de um sólido, surge como uma alternativa no tratamento de efluentes contendo corantes. Esse método tem se mostrado eficaz e econômico, mas sua aplicação tem sido limitada pelo alto custo dos adsorventes, motivando a pesquisa por materiais de baixo custo para uso industrial (Carvalho, 2010; Kammradt, 2004; Oliveira, 2003, Vasques *et al*, 2011).

Carvão ativado é o adsorvente mais utilizado na remoção de cor e no tratamento de efluentes têxteis, pois têm uma boa capacidade de adsorção, a qual é determinada principalmente pela estrutura de seus poros, mas devido ao seu alto custo, seu uso tem sido limitado para aplicação em grande escala. Por meio do processo de pirólise, isto é, a degradação termoquímica realizada na ausência parcial ou total de oxigênio, é possível converter a biomassa da manga em carvão ativado (Kehl, 2015).

O Brasil produz aproximadamente 1,19 milhões de toneladas de manga em uma área cultivada de 75,1 mil hectares com produtividade média de aproximadamente 15,8 t/há apenas no Vale do São Francisco, no Nordeste do país, que responde por cerca de 90% das exportações nacionais de manga (IBRAF, 2014). Vários fatores influenciam a produtividade e as propriedades químicas e físicas dos frutos de mangueira, dentre eles a variedade utilizada, tipo de solo, clima, manejo nutricional e o sistema de produção (Camargo *et al.*, 2009). Com o aumento da taxa de crescimento econômico de alguns países, aumenta também o consumo, o que resulta no aumento dos impactos ambientais, especialmente na geração de resíduos sólidos, tendo em vista que boa parte da produção é industrializada. Por isso, esse projeto tem como objetivo a realização da pirólise de resíduos da manga, casca e caroço, e avaliação da eficácia do carvão obtido como adsorvente de corante químico.

## 2. PROBLEMA DA PESQUISA

É notável que o setor de fruticultura brasileiro tem bastante destaque na economia do país e na geração de resíduos orgânicos. Além disso, os efluentes líquidos da indústria têxtil contêm alto teor de corantes e compostos orgânicos que causam sérios problemas de poluição no meio aquático, uma vez que esses mesmos corantes são difíceis de remover dos efluentes por serem estáveis a luz, ao calor e biologicamente não-degradáveis (Soares, 1998). Sendo assim, qual a eficácia da adsorção em batelada de corantes têxteis de efluentes sintéticos em coluna de filtração utilizando carvão de manga?

## 3. JUSTIFICATIVA

No Brasil, a fruticultura é um dos segmentos de maior destaque na economia, sendo um dos principais geradores de renda, emprego e de desenvolvimento rural do agronegócio nacional. O país hoje responde por um volume de produção que supera os 40 milhões de toneladas, representando 5,7% da produção mundial e classificando-o como terceiro maior produtor de frutas no mundo (Felipe *et al.*, 2006; Andrade, 2012).

A industrialização de frutas é uma atividade que resulta em grande geração de resíduos orgânicos (Coelho; Wosiack, 2010). Segundo Damiani (2008), vários pesquisadores brasileiros vêm estudando o aproveitamento de resíduos como as cascas de frutas, pois além de contribuírem com a diminuição de impactos ambientais, estes subprodutos podem gerar renda colaborando com a economia do país.

De acordo com Pereira (2018), a indústria têxtil utiliza grandes volumes de água e produtos químicos em seus processos produtivos, e consequentemente, produz um alto volume de efluentes. Das várias etapas envolvidas na produção de um artigo têxtil, geralmente são consumidos de 200 a 270 m<sup>3</sup> na produção de uma tonelada de produto têxtil, sendo que as etapas de tingimento e acabamento, por si só, são responsáveis por gerar em torno de 50 a 100 L de efluente por quilo de tecido produzido. Tais efluentes se caracterizam pela alta concentração de corantes.

Tendo isso em vista aliado ao aumento na poluição de corpos hídricos e a crescente preocupação com novas formas de tratamento e destino de efluentes

industriais, visando aplicar o carvão ativado do resíduo de manga no processo de adsorção em batelada de efluente com corantes têxteis e verificação de sua eficiência no tratamento do efluente contendo corantes têxteis.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivos gerais**

Aplicar o carvão ativado do resíduo de manga no processo de adsorção em batelada de efluente com corantes têxteis e verificação de sua eficiência no tratamento do efluente contendo corantes têxteis.

### **4.2 Objetivos específicos**

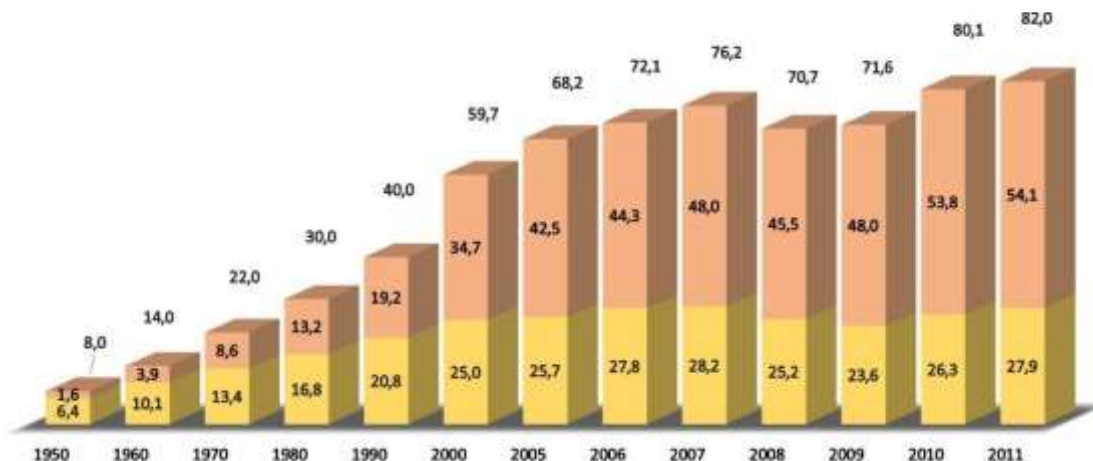
- Produzir do carvão ativado do resíduo da manga;
- Caracterização da biomassa e o carvão produzido;
- Aplicar do carvão ativado no processo de adsorção em batelada de efluentes com corantes têxteis;
- Verificar da eficiência do tratamento do efluente com o uso do carvão ativado.

## **5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1. Indústria Têxtil**

A indústria de tecidos é um setor crucial para a economia brasileira e global, tendo experimentado um crescimento significativo nos últimos anos. De acordo com as informações fornecidas pela ABIT (2013), o consumo per capita mundial de fibras em 2011 foi de 11,8 kg por habitante. A Figura 1 ilustra o aumento no consumo global de fibras têxteis entre 1950 e 2011.

É possível notar a expansão do volume na produção de fibras de origem química ao longo dos anos, em especial o salto na virada do século XXI, seguindo a crescente nos anos seguintes; o que torna plausível a preocupação com a gestão do descarte e tratamento da água em relação aos resíduos tóxicos oriundos da produção industrial dos tecidos têxteis.

**Figura 1:** Consumo Mundial de Fibras de tecido (Milhões de toneladas)

A melhora e a estabilização da economia resultaram na entrada de milhões de novos consumidores na indústria têxtil, o que levou ao aumento das importações de produtos manufaturados e, conseqüentemente, incentivou os produtores nacionais a modernizarem suas instalações, buscando maior competitividade em termos de qualidade e preço. Além disso, o governo brasileiro também tomou medidas de apoio aos produtores locais, dada a importância desse setor para a geração de empregos (ABIT, 2013; Mehler, 2013).

## 5.2 Efluentes Têxteis

Ao longo de todas as fases de produção da indústria têxtil, ocorre a geração de efluentes líquidos industriais, resíduos sólidos e emissões atmosféricas, os quais, se não forem adequadamente controlados, têm o potencial de causar impactos ambientais.

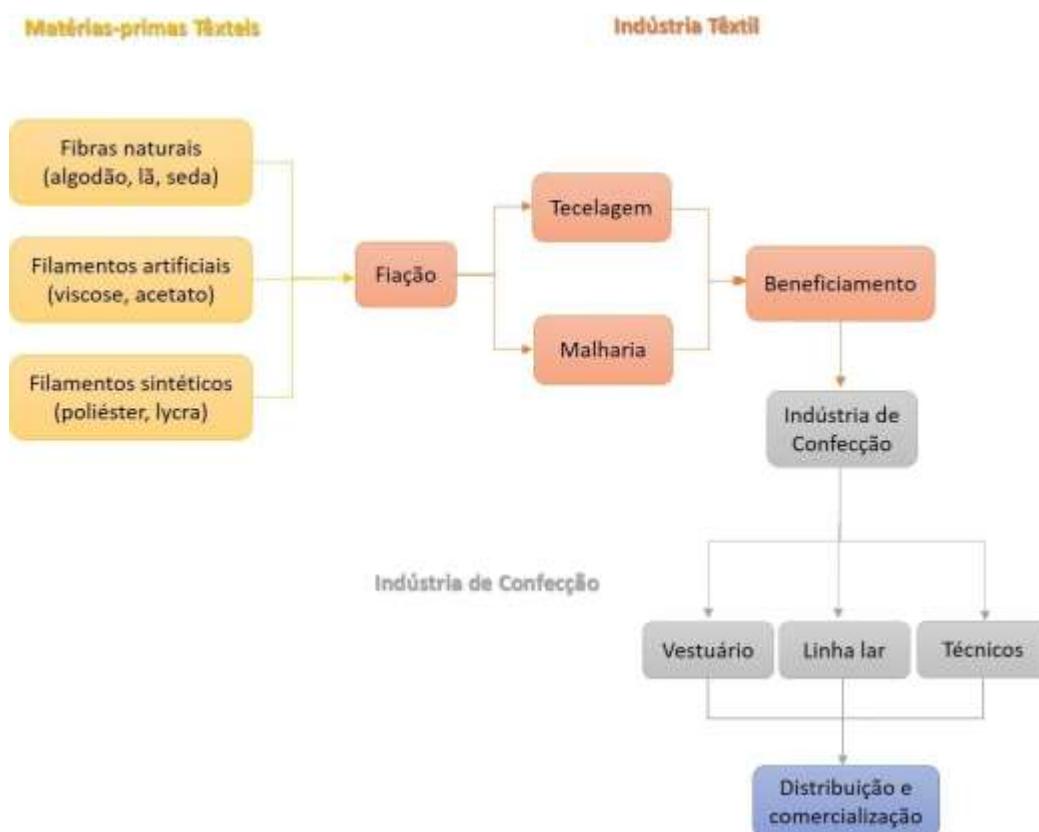
A cadeia produtiva e de distribuição têxtil e de confecção é composta desde a produção das fibras têxteis até o produto confeccionado, incluindo a distribuição e comercialização. A indústria têxtil propriamente dita é uma etapa dessa cadeia e abrange a fiação, tecelagem, malharia e beneficiamento, as quais podem ser simplificadas nas etapas apresentadas no FLUXOGRAMA 1. Cada etapa depende do produto gerado na etapa anterior para ocorrer (Bezerra, 2014; CESTEB, 2015).

No que diz respeito à produção neste setor, a etapa de beneficiamento têxtil é a principal responsável pela geração de efluentes líquidos contendo

substâncias contaminantes. Isso ocorre devido aos processos de alvejamento, tingimento, acabamento e estamparia aplicados ao algodão já fiado e tecido, que requerem o uso de uma variedade de substâncias químicas (CESTEB, 2015; Rutz, 2008).

Uma vez que os resíduos líquidos são o principal aspecto ambiental a ser considerado na indústria têxtil e uma das principais geradoras desses resíduos, o presente trabalho aborda, entre os aspectos ambientais inerentes ao processo industrial, os resíduos líquidos. Nesse setor industrial, estima-se que sejam consumidos 150 litros de água para a produção de 1 kg de tecido, dos quais 88% são descartados como resíduo líquido, enquanto os 12% restantes se perdem por evaporação (CESTEB, 2015).

**Fluxograma 1:** Cadeia de confecção e produção de tecidos



As questões ambientais têm mobilizado a população. A sociedade de modo geral tem demandado maior comprometimento por parte dos líderes

governamentais e legisladores em relação à preservação da qualidade de vida. Um dos resultados desses movimentos pode ser observado na atuação de órgãos fiscalizadores, como: EPA, IBAMA, Secretarias de Meio Ambiente, e na aplicação de leis ambientais, como o CONAMA, que regulamentam a liberação de resíduos nos fluxos de ar, córregos, rios e lagos (Vasques, 2011).

As indústrias têxteis enfrentam dificuldades em tratar de maneira eficiente as águas residuais geradas em sua cadeia produtiva, especialmente no que diz respeito à remoção de corantes desses resíduos que, mesmo em pequenas quantidades, conferem uma coloração intensa (Belsário, 2015).

A maioria desses resíduos apresentam demandas químicas e biológicas de oxigênio, grande quantidade de sedimentos suspensos e uma coloração bastante pronunciada, tornando-os um dos resíduos mais complexos e problemáticos para serem tratados (Kammradt, 2004).

No meio ambiente resulta na diminuição da transparência de água, dificuldade na radiação solar, redução da atividade fotossintética entre outros prejuízos aos organismos aquáticos daquele sistema atingido. (Oliveira *et al*, 2014; Mattar, Costa e Belsário, 2015).

A presença de substâncias naturais ou de lançamento de efluentes industriais ou domésticos resulta diretamente na cor da água. A classificação enquanto cor, é: cor aparente, que é determinada na amostra, sem a remoção de sólidos suspensos ou turbidez; cor verdadeira, que é medida, após realizar a remoção do material suspenso (Kammradt, 2004).

### **5.3 Processo de Adsorção**

Em um esforço para reduzir o impacto ambiental muitos estudos concentraram-se na remoção de corantes orgânicos de aquíferos. Isto ocorre porque os processos tradicionais de tratamento biológico de águas residuais têxteis não são muito eficientes. Isso ocorre porque os corantes são pouco biodegradáveis (Chaves, 2009b).

Usualmente, o tipo de tratamento empregado para remoção do corante envolve processos físicos ou químicos, incluindo coagulação, floculação,

oxidação avançada  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ , ozonização, troca iônica, irradiação e adsorção (Oliveira *et al*, 2014).

Alguns tratamentos demonstram ser eficazes, embora existam limitações seja por razões econômicas ou práticas (Chaves, 2009b; Oliveira *et al*, 2014; Vasques, 2011; Zaoni, 2001).

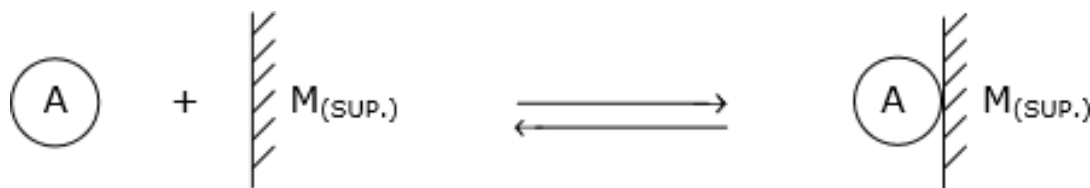
Os processos de adsorção no tratamento de águas residuais têxteis são significativamente mais eficazes do que os processos convencionais. É uma das técnicas físico-químicas mais utilizadas para remover esses corantes com alto potencial poluente e tem sido relatada em diversos estudos (Chaves, 2009b).

É um método com custos relativamente moderados, tendo a vantagem de necessitar de pequenas áreas de instalação, menor tempo de processamento e poucas variáveis a controlar, além da possibilidade de uma boa taxa de remoção de corantes tanto de soluções como diluído e concentrado, simplicidade de operação, possibilidade de recuperação do corante na forma concentrada, reaproveitamento e biodegradabilidade do adsorvente (Chaves, 2009b; Arvoreta *et al*, 2013; Oliveira, 2003).

A adsorção é uma operação de transferência de massa do tipo fluido-sólido (adsorvente-adsorvente) que explora a capacitância de certos sólidos de concentrar na superfície certas substâncias existentes nas soluções líquidas ou gasosas, o que lhes permite separar outras (Chaves, 2009b).

Componentes dessas soluções Figura 2, os adsorventes são geralmente sólidos porosos com grande área superficial interna, o que garante o fenômeno de sorção. Uma característica do processo de adsorção é a tendência de aumento da concentração e enriquecimento de uma substância (adsorvato) na superfície do adsorvente.

**Figura 2:** - Ilustração do processo da adsorção, onde A representa o adsorvato e M (SUP) representa o adsorvente



O fenômeno de adsorção ocorre porque os átomos na superfície têm propriedades diferentes em comparação aos átomos dentro do sólido, criando locais energeticamente diferentes na superfície. Os átomos da superfície apresentam uma força resultante para dentro que deve ser equilibrada, ou seja, na direção perpendicular à superfície, o conjunto de elementos da rede não está equilibrado, portanto as moléculas adsorvidas na superfície são retidas por forças provenientes dessa superfície. A tendência de neutralizar esse tipo de ação cria energia superficial, que é responsável pelos fenômenos de adsorção (Vasques, 2011).

O tipo de ligação que se forma a partir deste tipo de energia superficial pode ser fraca ou forte. O fenômeno da adsorção é explicado termodinamicamente pela existência de forças atrativas perpendiculares ao plano superficial da fase sólida (Vasques, 2011).

Dependendo da força das ligações entre as moléculas adsorvidas e o material adsorvente sólido, podem ocorrer dois tipos principais de adsorção: adsorção física (fisissorção) e adsorção química (quimissorção) (Chaves, 2009b; Vasques, 2011).

Existem dois métodos de aplicação de adsorvente que podem ser usados para sistemas líquidos em escala industrial. Na primeira adsorção em leito fixo, o adsorvente granular é mantido fixo na forma de um leito poroso através do qual o líquido tratado sobe ou desce. O segundo método é a adsorção em batelada, que consiste em dispersar um adsorvente finamente dividido no líquido a ser tratado, promovendo a mistura intensiva da suspensão, e em seguida o adsorvente é filtrado (Carvalho, 2006; Oliveira, 2003).

### **5.3.1 Adsorção Física**

Se a ligação for fraca, causa uma atração superficial que inclui condensação ou fenômeno de atração de Van der Waals (forças de intensidade fraca ou média), comporta-se de forma semelhante à condensação de vapor ou mesmo liquefação de gás, adsorção é conhecida como adsorção física ou fisissorção (Almeida, 2003).

Devido à pequena energia envolvida neste tipo de adsorção, insuficiente para romper as ligações químicas do adsorbato, mantendo a identidade das espécies fisicamente adsorvidas, rapidamente se atinge um equilíbrio entre as moléculas do adsorbato e a fase líquida, o que pode ser facilmente derrubado é um processo que ocorre significativamente em baixas temperaturas. (Almeida, 2003; Chaves, 2009b; Melo, 2007; Oliveira, 2003; Vasques, 2011).

### **5.3.2 Adsorção batelada**

Uma massa de adsorvente é selecionada e misturada com um certo volume de uma solução de soluto de concentração inicial conhecida. A mistura adsorvente/soluto é agitada e, após o equilíbrio de adsorção ser atingido, a concentração de equilíbrio (residual) do soluto na solução é determinada.

Comparando a massa (ou mols) de soluto adsorvido no adsorvente por unidade de massa do adsorvente, obtém-se a capacidade de adsorção do adsorvente (Carvalho, 2006).

### **5.3.3 Adsorção em Leito Fixo (coluna)**

Devido à inconveniência e ao custo do transporte contínuo de partículas sólidas, a adsorção em leito fixo é frequentemente usada quando se utilizam operações em lote. Esta operação é mais econômica e envolve essencialmente a passagem da solução através de um leito contendo sólidos adsorventes (Vasques, 2011).

Esta técnica é amplamente utilizada e encontra aplicação em diversas áreas como: descoloração de óleos (vegetais e minerais) e purificação de proteínas (Carvalho, 2006).

## **5.4 Características fisiológicas da manga**

A origem da manga fica na região da Índia, onde já é cultivada há 4.000 anos, integrando a culinária local sob as mais diversas formas. A manga, que é

um fruto largamente produzido e consumido nos países de clima tropical, tem conquistado cada vez mais espaço comercial entre os países desenvolvidos (Correia; Araujo, 2010; Damiani *et al.*, 2011; Cavalcanti *et al.*, 2011).

O primeiro país do ocidente a conhecer a manga foi Portugal, na época da expansão do império naval português até o Sudeste Asiático. Os portugueses disseminaram a cultura, inicialmente na África, depois no Brasil que foi, assim, o primeiro país da América a cultivar esta fruta (Carvalho; Mendonça; Reis, 1997).

Segundo Coelho (2014), a manga (*Mangifera indica* L.) pertence à família Anacardiaceae e é uma fruta muito apreciada no Brasil por apresentar grande quantidade de polpa adocicada e com pouca acidez, além de outras características sensoriais agradáveis, tais como sabor e aroma, sendo comercializada quase exclusivamente na forma *in natura*.

Quando industrializada, pode ser transformada em suco integral e polpa congelada. A polpa constitui a matéria-prima para elaboração de outros produtos tais como: doces, geleias, sucos e néctares, além de poder ser adicionada a sorvetes, misturas de sucos, licores e outros produtos (Correia; Araujo, 2010; Damiani *et al.*, 2011; Cavalcanti *et al.*, 2011).

Dentre as principais características morfológicas das mangas, destaca-se a polpa uniforme, carnosa com caroço (semente) em seu interior, revela formato oval ou arredondado, comprimentos que variam de 5 a 20 cm, podendo pesar no intervalo entre poucas gramas até 2 kg, a depender da variedade. As mangas podem apresentar em sua casca uma coloração verde ou vermelha, com manchas amarelas ou vice-versa, polpa de cor amarela, de textura fibrosa e sabor adocicado na fase madura. Na Imagem 1, pode ser observado a fruta "*in natura*".

A planta do fruto apresenta tamanho de porte médio a alto, podendo atingir até 30 m de altura, exibe copa arredondada, variando de baixa e densa a ereta e aberta e adquirindo eventualmente forma piramidal, é conhecida também pelas folhas grandes e verdes, geralmente lanceoladas, flores pequenas, rosadas, pequenas, com cerca de 6 mm e pentâmeras, isto é, flores divididas em cinco partes ou múltiplas de cinco (Neto, 2021) A Figura 3 demonstra um exemplo da planta.

. **Figura 3:** Manga



. **Fonte:** Portal Embrapa (2023).

**Figura 4:** Mangueira



**Fonte:** Yara Pereira (2020).

Tratando-se dos efeitos econômicos que o fruto promove, é válido destacar seu principal modo de comercialização, o modo “*in natura*” outras formas também comercializadas podem ser encontradas em geleias, doces, polpas, sucos, etc. Em alguns casos, sua planta também é comercializada para fins ornamentais, com destaque para o cuidado onde se é plantado, uma vez que a planta precisa de espaço amplo onde seus frutos podem cair sem causar prejuízos (UFGR, 2020).

A manga oferece uma ampla gama de vitaminas (A, B6, B12, C, E e K) e minerais (sódio, cálcio, fósforo, ferro, potássio, magnésio, cobre, selênio e zinco) inerentes à nutrição humana (Oliveira, 2022).

O processamento da manga produz o descarte do caroço e das cascas, gerando um resíduo que corresponde a 28 a 43% do peso total da fruta (Azevedo *et al.*, 2008).

## **5.6 Biomassa para carvão ativado**

Biomassa é qualquer matéria orgânica de origem vegetal ou animal, renovável, que possa ser utilizada como fonte energética de eficiência baixa ou moderada.

O produto gerado através da queima de biomassa possibilita uma gama de aplicações, como para tratamento de água, tratamento de efluentes e adsorção de gases; não excluindo sua considerável participação na geração energética em residências de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (Azevedo *et al.*, 2008).

## **5.7 Produção de Manga**

### **5.7.1 Brasil**

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta tropical cultivada em larga escala, sendo o Brasil o sétimo produtor mundial. No processamento industrial do fruto, a casca e o caroço não são aproveitados, o que equivale de 35 a 60% da matéria prima bruta (Oliveira, 2022).

Estes resíduos, em sua maioria, são descartados diretamente no solo ou em mananciais hídricos, ocasionando inúmeros problemas ambientais. A produção brasileira de mangas em 2020 a 2022 foi de 27.715.327 t produzidas em 1.598.887 hectares (IBGE, 2022), como demonstrado na figura 5.

**Figura 5 - Produção de Manga no Brasil**

Fonte: IBGE (2022)

Entre 2020 e 2022, a região Nordeste produziu 77,34% do total da produção brasileira de manga e o Sudeste 21,84%. O estado com maior produção no Nordeste é a Bahia com 9.862.869 t, seguido por Pernambuco com 6.264.876 t. No Sudeste, São Paulo é o maior produtor com 4.976.913 t (IBGE, 2022). O rendimento médio em Pernambuco é de 18.353 kg/ha, na Bahia 36.562 kg/ha e em São Paulo 19.219 kg/ha (IBGE, 2022).

A produção de manga para exportação e abastecimento ao mercado interno utiliza sistemas tecnológicos, irrigados rotineiramente e em grandes áreas, com o objetivo de produzir variedades selecionadas para estes grupos-alvo. Nestes sistemas predominam variedades de manga, principalmente de origem norte-americana e comprovadamente aceitas nos mercados, principalmente para consumo in natura (SEBRAE, 2020).

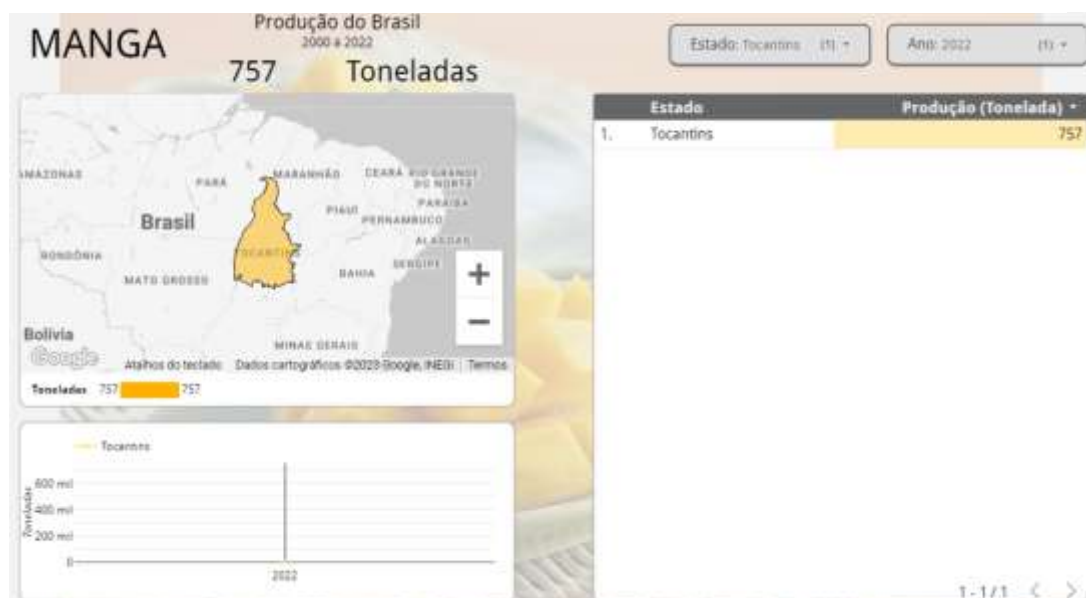
Dentre as diversas variedades, a Tommy Atkins (nativa da América do Norte) é a mais produzida e detém a maior participação no volume de manga comercializado no mundo, principalmente por sua cor intensa, alta produção e resistência ao transporte em longas distâncias. Porém, variedades de melhor sabor estão surgindo no mercado mundial, em detrimento de Tommy Atkins, como Palmer (SEBRAE, 2020).

Dados da Valexport (Campos, 2020) mostram que, em média, cada propriedade que cultiva manga no Nordeste cria quatro empregos diretos por hectare irrigado apenas através das exportações. No pico da colheita, nos 6 mil hectares destinados à exportação, o número total de empregos diretos chega a 24 mil e cerca de 30 mil indiretos.

### 5.7.2 Tocantins

A produção brasileira de mangas no Tocantins em 2022 foi de 757 t produzidas em 81 hectares (IBGE, 2022), como demonstrado na Figura 6.

**Figura 6** - Produção de Manga no Tocantins



Fonte: IBGE (2022)

## 5.8 Degradação Termoquímica

Devido aos problemas relacionados com a procura global por combustíveis fósseis, está a ser promovida a degradação termoquímica conhecida como pirólise da biomassa. É um método que permite utilizar materiais de origem orgânica para a produção de gás, petróleo e carvão, elementos de alto valor energético e de grande importância para o atendimento das necessidades energéticas globais (Pedrosa, 2011).

A pirólise é definida como a degradação térmica de material orgânico na ausência parcial ou completa de um agente oxidante ou em um ambiente em que não ocorre gaseificação intensiva do material devido à existência de concentração suficiente de oxigênio. Existem dois tipos de pirólise, pirólise convencional e pirólise rápida, que diferem em variáveis como taxa de

aquecimento, temperatura, tempo de residência das fases sólida e gasosa e produtos desejados. Para a produção de carvão vegetal, o processo convencional de pirólise é direcionado especificamente (Pedrosa, 2011).

### **5.9 Experimento com pirólise da manga**

De acordo com os autores Moraes e Cols (2011), realizaram cromatografia gasosa bidimensional para análise qualitativa dos componentes do bio-óleo provenientes da pirólise da casca e caroço da manga. Eles identificaram 167 compostos, dos quais 26 tinham concentração superior a 1%. Eles usaram cromatografia e uma ferramenta de deconvolução espectral, que por sua vez possibilitou a separação de compostos nos casos em que a separação cromatográfica não era possível.

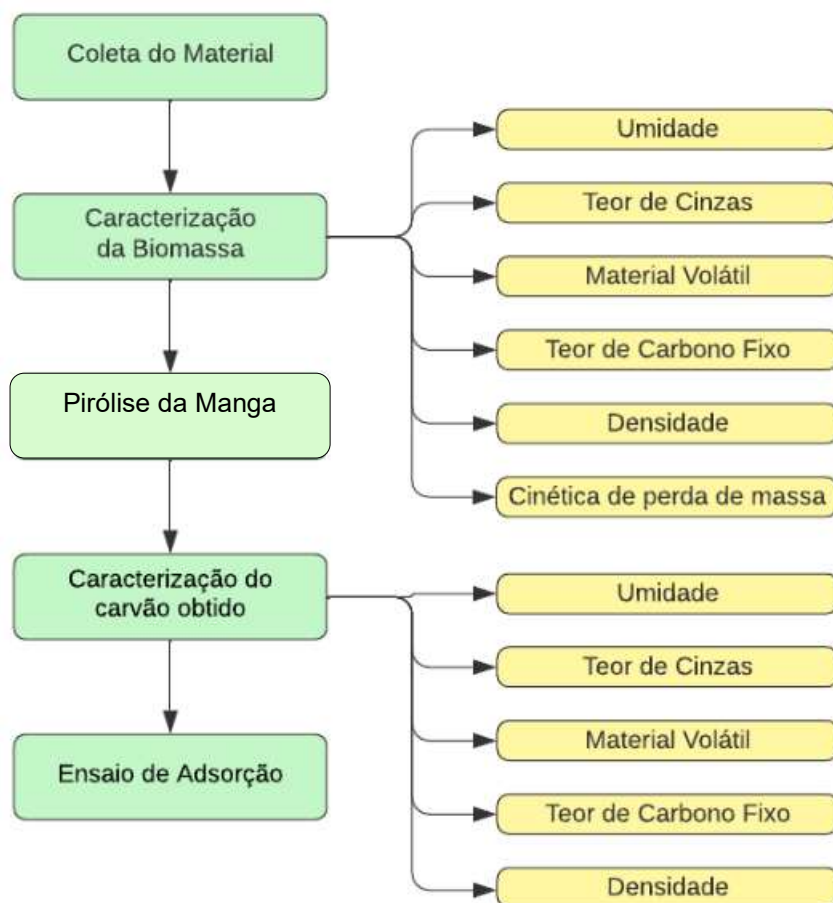
Conforme o autor Santos (2015) caracterizou e avaliou o potencial de utilização da manga pirolisada como adsorventes de contaminantes inorgânicos. Os contaminantes utilizados foram zinco, alumínio, cádmio, cobre, níquel e chumbo. Utilizando microscopia eletrônica de varredura e área superficial, foi possível observar superfícies porosas e heterogêneas em materiais cujas propriedades aumentaram com o aumento da temperatura de pirólise.

Também foi possível observar que as interações contaminante-adsorvente ocorreram de forma espontânea e os processos de adsorção tiveram natureza física devido aos baixos valores de entalpia. Por fim, concluiu-se que é recomendado o uso de casca e caroço de manga pirolisadas como material adsorvente.

## **6. PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS**

### **6.1 Metodologia**

As atividades que desenvolvidas durante esta pesquisa estão apresentadas na Figura 6. Os ensaios experimentais de caracterização da amostra foram realizados no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do IFTO, *campus* Palmas.

**Fluxograma 2** - Atividades a serem realizadas durante a pesquisa

Fonte: Autor

## 6.2 Caracterização da Biomassa

A manga foi analisada para obtenção de dados amostrais quanto ao teor de umidade, teor de cinzas, matéria volátil, teor de carbono fixo, densidade e realizado teste de cinética de perda de massa. A amostra foi seca em estufa a 60 °C conforme Figura 7 e triturada em misturador industrial. A porção da amostra utilizada foi a do material que passou pela peneira de malha 16 e ficou retido na peneira de malha 20.

**Figura 7:** Estufa utilizada para secagem da amostra.



**Fonte:** Autor (2024)

### 6.2.1 Determinação da umidade

A determinação da umidade foi executada de acordo com a norma ASTM D 3173-85. Foi pesada uma massa de aproximadamente 1g de manga triturada que foi adicionada a um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. Em seguida a amostra foi aquecida em uma estufa à temperatura de 105 °C por um período de 1 hora. Posteriormente o cadinho foi colocado em um dessecador por 15 minutos e pesado. A análise foi realizada em triplicata e o teor de umidade foi determinado de acordo com a Equação 1:

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

(Equação.1)

A= peso do cadinho vazio + peso da amostra

B= peso do cadinho + peso amostra pós-aquecimento na estufa

C= peso da amostra

### 6.2.2 Teor de Cinzas

O teor de cinzas foi calculado segundo o método sugerido por Sanchez *et al.*, (2009), em que uma massa de aproximadamente 1g de manga triturada em triplicata é adicionada a cadinhos de porcelana com peso constante pré-determinado.

A amostra foi calcinada a uma temperatura de 710 °C durante 60 minutos em um forno mufla da marca EDG Equipamentos, modelo W-One. Em seguida os cadinhos foram colocados em um dessecador por 1 hora para esfriar e posteriormente pesados. O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma ASTM 2415-66/86 e seus resultados foram obtidos através da Equação 2:

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

(Equação.2)

A= peso do cadinho + peso amostra após calcinação

B= peso do cadinho vazio

C= peso da amostra

### 6.2.3 Material Volátil

De acordo com método sugerido por Sanchez *et al.*, (2009), a determinação do teor de material volátil da biomassa da manga foi obtida em triplicata pesando cerca de 1g de amostra em um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi aquecida em um forno mufla à temperatura de 850° C, na ausência de oxigênio por um período de durante 7 minutos. O teor de material volátil foi obtido de acordo com a Equação 3:

$$Material\ Volátil (\%) = \left( \frac{A-B}{C} \right) * 100$$

(Equação.3)

A= peso do cadinho vazio + peso da amostra

B= peso do cadinho + peso amostra pós-aquecimento em forno mufla

C= peso da amostra

#### 6.2.4 Teor de carbono fixo

Para determinação do teor de carbono fixo presente na biomassa foi efetuada a diferença descrita de acordo com a Equação 4:

$$\text{Carbono Fixo (\%)} = 100 - [\text{Umidade(\%)} - \text{Cinzas(\%)} - \text{Material Volátil(\%)}]$$

(Equação.4)

#### 6.2.5 Densidade

Para a determinação da densidade aparente, foi acoplada a uma balança de precisão uma proveta de 100 mL. Posteriormente realizou-se a tara à balança e adicionada a biomassa de manga previamente seca e triturada. Foram obtidas as massas (g) nas sucessivas adições dos respectivos volumes de 20, 40, 60, 80 e 100 mL. A densidade aparente foi obtida através da Equação 5:

$$\text{Densidade} \left( \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right) = \left[ \frac{m(\text{g})}{V(\text{mL})} \right]$$

(Equação.5)

#### 6.2.6 Cinética de perda de massa

O estudo da cinética de perda de massa da manga foi feito ao adicionar aproximadamente 10g do material em um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado e o levar para a estufa a uma temperatura de 50 °C. Periodicamente a amostra foi retirada, pesada, e colocada novamente na estufa, a fim de obter a perda de massa em função do tempo.

#### 6.2.7 Pirólise da casca e caroço da manga

A conversão térmica foi realizada em um reator tubular de inox com leito fixo de 100 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro externo. A biomassa foi alimentada no reator na forma seca e triturada após passar por um forno a uma temperatura de 60 °C. O reator foi aquecido através de um forno dividido inclinável e operado em lotes usando vapor como gás de arraste.

O tubo de inox é um compartimento onde é colocada a manga triturada. O vapor d'água passa por toda a extensão do tubo e transporta do leito os produtos gasosos obtidos durante a pirólise.

**Figura 8** - Reator de Leito Fixo



Fonte: Autor (2024).

### **6.3 Caracterização do carvão obtido**

A caracterização do carvão foi realizada de acordo com os métodos descritos a seguir.

#### **6.3.1 Densidade**

Para determinação da densidade aparente, o método utilizado foi o mesmo definido para a determinação da densidade da manga triturada.

#### **6.3.2 Teor de cinzas**

O teor de cinzas do carvão foi obtido de acordo com o método de Sanchez *et al.*, (2009), descrito anteriormente para a determinação do teor de cinzas da casca de manga triturada.

#### **6.3.3 Umidade**

A umidade do carvão foi obtida segundo a norma ASTM D 3173-85, de acordo com o método descrito anteriormente para a biomassa.



A Tabela 1 mostra os níveis dos fatores empregados. O pH da solução do corante foi ajustado a 7. A agitação foi mantida igual a 70 rpm. O tempo de adsorção foi de 30 minutos.

**Tabela 1-** Níveis dos Fatores empregados no Planejamento Experimental, durante a adsorção do corante azul de metileno

| Fatores                        | Níveis |      |     |      |        |
|--------------------------------|--------|------|-----|------|--------|
|                                | (-1,4) | (-1) | (0) | (+1) | (+1,4) |
| Massa de carvão (g)            | 0,08   | 0,2  | 0,5 | 0,8  | 0,92   |
| Concentração do corante (mg/L) | 3,4    | 20   | 60  | 100  | 117    |

**Fonte:** Autor (2023)

Os experimentos foram realizados de forma aleatória, com três repetições no ponto central, conforme Tabela 2.

**Tabela 2-** Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial DCCR

| Ordem dos Experimentos | Fatores             |                                |
|------------------------|---------------------|--------------------------------|
|                        | Massa de carvão (g) | Concentração do corante (mg/L) |
| 1                      | -                   | -                              |
| 2                      | +                   | -                              |
| 3                      | -                   | +                              |
| 4                      | +                   | +                              |
| 5                      | 0                   | 0                              |
| 6                      | 0                   | 0                              |
| 7                      | 0                   | 0                              |
| 8                      | -1,4                | 0                              |

|    |     |      |
|----|-----|------|
| 9  | 0   | 1,4  |
| 10 | 1,4 | 0    |
| 11 | 0   | -1,4 |

---

**Fonte:** Autor (2023)

## 7. RESULTADO E DISCUSSÕES

### 7.1 Caracterização da Biomassa

Para caracterização da biomassa, foram obtidos os resultados da Análise imediata e do estudo de cinética de perda de massa, apresentados e discutidos a seguir.

#### 7.1.1 Análise Imediata da manga

A densidade aparente obtida para a manga foi de 0,414g/mL, o que pode indicar a necessidade de adensamento para transporte, a fim de viabilizar sua utilização em locais distantes da unidade geradora.

O teor de umidade é o percentual de massa de água perdida em relação à massa total quando a amostra é submetida a temperaturas próximas a 100 °C. Têm-se que a umidade está relacionada com a capacidade de combustão do material, sendo grandezas inversamente proporcionais. As biomassas com umidade inferior a 10% como adequadas para processos de transformação termoquímica. Foi obtido um valor de 6,145% para o teor de umidade da manga, levando a concluir que após a secagem, é uma biomassa adequada para combustão e processos como pirólise por apresentar uma baixa umidade Almeida (2008).

O teor de cinzas diz respeito ao percentual de compostos inorgânicos na biomassa, dentre estes, cálcio, ferro, fósforo, magnésio e sódio, por exemplo. Para a obtenção desse valor, submete-se a biomassa a uma combustão em temperaturas na faixa de 800 °C, na qual os componentes orgânicos reagem

com o oxigênio, restando somente material inorgânico. Para a manga, o valor obtido para esse parâmetro foi de 2,589%

No caso do teor de material volátil, é obtido o percentual dos materiais que se volatilizam nas temperaturas de 850°C, e o valor é diretamente proporcional à reatividade da biomassa. Nesse parâmetro, o valor obtido para a casca da manga foi de 75,102%.

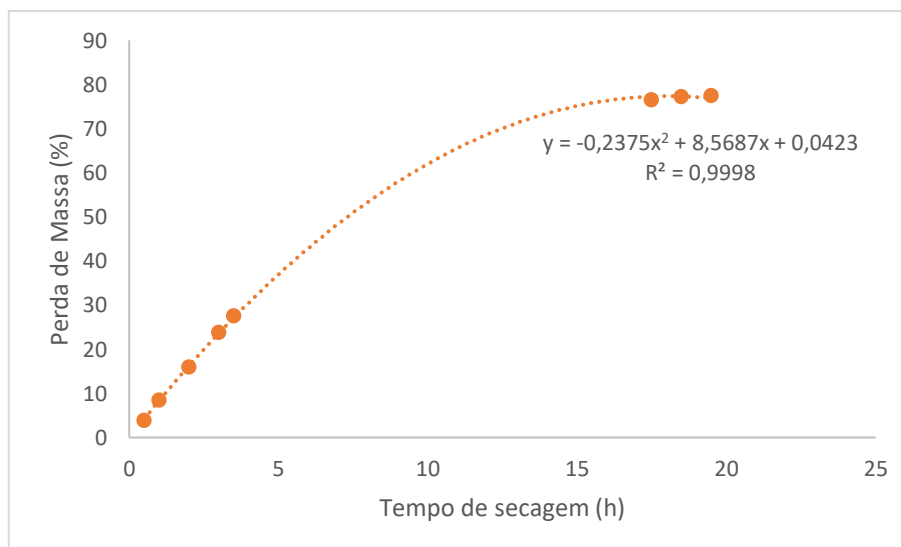
O teor de carbono fixo da manga triturado foi de 16,165%, e diz respeito ao material restante após a liberação dos materiais voláteis, sem a umidade e as cinzas. Esse parâmetro está diretamente associado ao teor de lignina, explicado possivelmente pelo fato deste composto ser mais resistente à degradação térmica, ao ser comparado com a celulose e à hemicelulose.

De acordo com o autor Maia (2021), produziu carvão ativado a partir da pirólise da casca da castanha de caju, e obteve resultados de adsorção que apontam para o uso no tratamento de águas cinzas. A autora obteve baixos valores de umidade (6,1%) e altos valores de material volátil (75,1%), da mesma forma que a manga, indicando que essa biomassa é adequada para o processo de pirólise e o carvão obtido tem alto poder de adsorção.

#### 7.1.1. Estudo cinético da perda de massa

Os resultados obtidos na cinética de perda de massa estão apresentados de forma gráfica na Figura 9.

**Figura 9** - Gráfico de perda de massa em função do tempo



Fonte: Autor, 2024.

Obeve-se um modelo quadrático para a cinética de perda de massa da biomassa em função do tempo na temperatura controlada em estufa de 50°C com coeficiente de ajuste ( $R^2$ ) de 0,9998. Observa-se a tendência de estabilização da perda de massa após as 19 horas, com uma perda de 77,47% ao final do processo. Com essa perda de massa, é possível obter aproximadamente 225,3kg de biomassa para pirólise para cada tonelada de manga de resíduo da indústria. Machado (2019), produziu carvão ativado a partir do sabugo de milho, com propriedades adequadas para adsorção de cloro residual, e obteve uma perda de massa da amostra úmida de 79% na temperatura de 50°C, ou seja, para cada tonelada de biomassa seria obtido 210kg de material adequado para a pirólise.

## 7.2 Rendimento de carvão do processo de pirólise

O rendimento de carvão da manga pirolisada com a taxa de aquecimento de 30°C/min na temperatura de 600 °C foi de 26,2%. Esse dado nos mostra que com uma tonelada de resíduo bruto, é possível obter 59,03kg de carvão ativado através do processo de pirólise nas condições apresentas nesse estudo.

## 7.3 Caracterização do carvão

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise imediata do carvão obtido e da biomassa, para fins comparativos.

**Tabela 3** – Comparativo das características da Biomassa e do Carvão Ativado

| Material                       | Biomassa | Carvão Ativado |
|--------------------------------|----------|----------------|
| Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,500    | 0,221          |
| Umidade (%)                    | 6,145    | 0,562          |
| Cinzas (%)                     | 2,589    | 11,413         |
| Material Volátil (%)           | 75,102   | 21,036         |
| Carbono Fixo (%)               | 16,165   | 66,988         |

Fonte: Autor (2024).

Percebe-se uma diminuição de 90,85% no teor de umidade, redução prevista em decorrência da amostra ser submetida a altas temperaturas. Após a pirólise da biomassa, o teor de material volátil teve uma redução de 71,99%, o teor de cinzas apresentou um aumento de 340,82% e o carbono fixo teve um

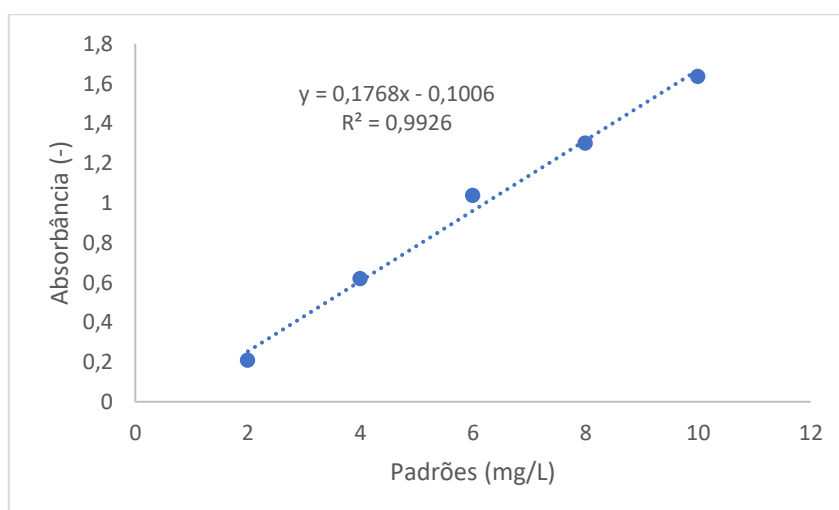
incremento de 314,4%.

Conforme o autor Maia (2021), também observou em seu trabalho com a casca da castanha de caju, redução no teor de umidade e no teor de material volátil, além de um aumento no teor de cinzas e no carbono fixo, apresentando assim, resultados esperados de um processo de pirólise.

#### 7.4 Ensaio de adsorção

A Figura 10 mostra a curva de calibração do espectrofotômetro obtida para o comprimento de onda de 660 nm, com os valores de absorbância medidos nos padrões de concentração de corante de 2, 4, 6, 8 e 10 mg/L.

**Figura 10** – Curva de calibração.



**Fonte:** Autor, 2024.

A curva de calibração gerou coeficiente de ajuste ( $R^2$ ) de 0,9926, apontando um bom ajuste dos resultados a linha de tendência.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados do ensaio de adsorção realizado com o delineamento de faces centradas, conforme apresentado na metodologia, para diferentes concentrações de corante e quantidade de carvão.

**Tabela 4** – Resultado do teste de adsorção em relação à massa de carvão e concentração de corante

| Experimentos | Massa do Carvão (g) | Concentração do Corante (mg/L) | Absorbância do filtrado | Eficiência de remoção (%) | Razão de adsorção (mg/g) |
|--------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1            | 0,20                | 10                             | 0,26                    | 19,36                     | 0,31                     |

|    |      |    |      |       |      |
|----|------|----|------|-------|------|
| 2  | 1    | 10 | 0,01 | 94,36 | 0,27 |
| 3  | 0,20 | 20 | 1,3  | 0     | 0,05 |
| 4  | 1    | 20 | 0,08 | 86,42 | 0,49 |
| 5  | 0,20 | 15 | 0,52 | 0     | 0,20 |
| 6  | 1    | 15 | 0,01 | 95,47 | 0,44 |
| 7  | 0,60 | 10 | 0,01 | 93,49 | 0,46 |
| 8  | 0,60 | 20 | 0,38 | 42,09 | 0,41 |
| 9  | 0,60 | 15 | 0,04 | 89,84 | 0,65 |
| 10 | 0,60 | 15 | 0,03 | 91,01 | 0,66 |
| 11 | 0,60 | 15 | 0,04 | 90,43 | 0,65 |

Fonte: Autor, 2023.

A figura 11 mostra a solução de corante com concentração de 10mg/L antes e após o ensaio de adsorção com a massa de carvão de 1g.

**Figura 11** - Solução de concentração 10mg/L antes e após a adsorção



Fonte: Autor, 2024.

### 7.5 Eficiência de Remoção(E)

As respostas obtidas para essa variável indicam a eficiência da remoção do corante pelo carvão nas condições em que ele foi submetido. Os coeficientes de regressão do planejamento experimental para a resposta de Eficiência de remoção(E).

Já o efeito significativo de cada variável atribuído à eficiência de remoção demonstra que somente a variável massa de carvão apresentou uma influência considerável na variável nas situações estudadas.

O baixo p-valor (0,0006) apresentado pela variável massa de carvão, indica que essa variável é significativa para o modelo, gerado pela análise de regressão, apresentado abaixo para a variável Eficiência de remoção.

$$E = 85,18 + 42,81 X_1 - 29,57 X_1^2 - 13,12 X_2 - 9,51 X_2^2 + 2,86 X_1 X_2 \text{ (Eq. 6)}$$

6)

Onde:  $X_1$  = massa do carvão (g);  $X_2$  = concentração do corante (mg/L);  
E = Eficiência de remoção(%).

A análise de variância (ANOVA) da Eficiência de remoção(E) das amostras de carvão produzido da casca da manga quando utilizado azul de metileno está demonstrada na Tabela 5.

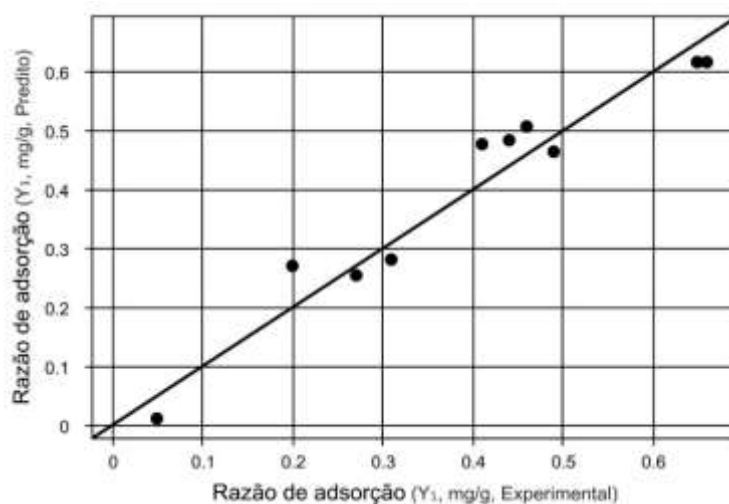
**Tabela 5** – ANOVA para eficiência de remoção das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno

| Fonte de variação | Soma dos Quadrados | Graus de liberdade | Quadrado Médio | F calculado | P valor |
|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------|---------|
| Regressão         | 15103,4            | 5                  | 3020,7         | 16,1        | 0,00424 |
| Resíduos          | 941                | 5                  | 188,2          |             |         |
| Falta de ajuste   | 940,3              | 3                  | 313,4          | 927,3       | 0,00108 |
| Erro puro         | 0,7                | 2                  | 0,3            |             |         |
| Total             | 16044,4            | 10                 |                |             |         |

$R^2 = 94,14\%$

**Fonte:** Autor, 2024.

Para a variável Eficiência de remoção (E), o valor de Fcalculado (16,1) foi superior ao valor do Ftabelado (5,05), o que indica que para a ANOVA, possui alta significância sobre a precisão do método. A figura 12 compara os valores obtidos com os valores pressupostos para o teste de adsorção do índice de azul de metileno.

**Figura 12** – Valores analisados x valores esperados para Eficiência de remoção

Fonte: Autor, 2024.

Os pontos do gráfico apresentaram proximidade a linha central, constatando-se que mudanças na variável preditora interferem na variável resposta. Como verificado anteriormente, o baixo p-valor também justifica essa relação.

Pode-se perceber que valores mais altos de eficiência de remoção são encontrados em maiores massas de carvão, sofrendo pouca influência da concentração do corante.

### 7.1.2. Razão de adsorção (Q)

Para a Razão de adsorção, obteve-se um modelo gerado a partir de regressão linear, que nos permite observar as relações entre as variáveis. Na Tabela 6, pode-se observar os coeficientes de regressão do modelo para a Razão de adsorção(Q).

**Tabela 6** – Coeficientes de regressão do Planejamento DFC para definição da Razão de adsorção do carvão ativado da manga

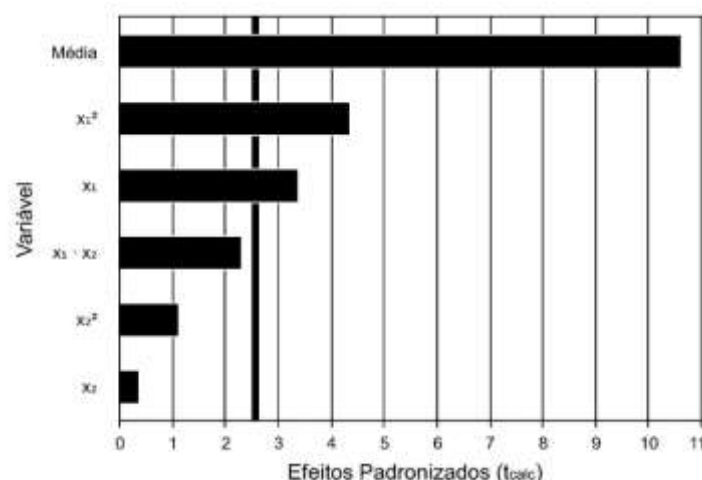
| Fatores        | Coeficiente de Regressão | Erro Padrão | t-calculado | p-valor |
|----------------|--------------------------|-------------|-------------|---------|
| Média          | 0,62                     | 0,06        | 10,61       | 0,0001  |
| X <sub>1</sub> | 0,16                     | 0,05        | 3,39        | 0,0195  |

|             |       |      |       |        |
|-------------|-------|------|-------|--------|
| $X_1^2$     | -0,31 | 0,07 | -4,35 | 0,0074 |
| $X_2$       | -0,02 | 0,05 | -0,37 | 0,7296 |
| $X_2^2$     | -0,08 | 0,07 | -1,13 | 0,3110 |
| $X_1 - X_2$ | 0,13  | 0,06 | 2,32  | 0,0680 |

Fonte: Autor, 2024.

Por meio do Diagrama de Pareto da Figura 13, pode-se analisar as variáveis mais significativas do modelo para o valor da Razão de adsorção do carvão obtido da pirólise da manga. Nesse caso, é possível perceber que, assim como para a eficiência de remoção, somente a variável massa de carvão teve efeito significativo nos resultados.

**Figura 13** – Diagrama de Pareto da Razão de Adsorção (Q) do carvão



Fonte: Autor, 2024.

A Equação 7 representa o modelo obtido e demonstra a relação estatísticas entre os fatores influentes na variável Razão de adsorção.

$$Q = 0,62 + 0,16 X_1 - 0,31 X_1^2 - 0,02 X_2 - 0,08 X_2^2 + 0,13 X_1 X_2 \text{ (Eq. 7)}$$

Onde:  $X_1$  = massa do carvão(g);  $X_2$  = concentração do corante(mg/L);

A Tabela 7 apresenta a análise de variância (ANOVA) da Razão de adsorção do carvão ativado na adsorção do azul de metileno.

**Tabela 7**– ANOVA para Razão de adsorção das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno

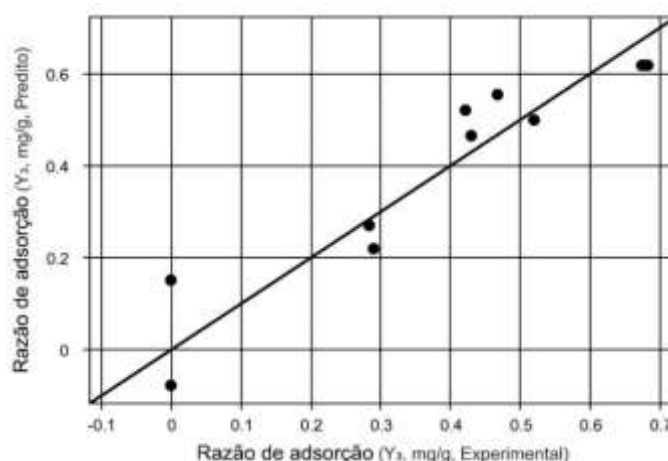
| Fonte de variação | Soma dos Quadrados | Graus de liberdade | Quadrado Médio | F calculado | P valor |
|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------|---------|
| Regressão         | 0,5                | 5                  | 0,1            | 8,3         | 0,01822 |
| Resíduos          | 0,1                | 5                  | 0,00           |             |         |
| Falta de ajuste   | 0,1                | 3                  | 0,0            | 1124,5      | 0,00089 |
| Erro puro         | 0,0                | 2                  | 0,0            |             |         |
| Total             | 0,6                | 10                 |                |             |         |

$R^2 = 89,26\%$

Fonte: Autor, 2024.

Pode-se notar um valor de  $F_{\text{calculado}}$  (8,3) superior ao valor de  $F_{\text{tabelado}}$  (5,05), o que indica que a regressão é significativa. A Figura 14 mostra uma comparação dos valores previstos pelo modelo com os valores observados no experimento. Observa-se que os pontos dos valores experimentais se apresentam próximos a linha dos valores esperados para a razão de adsorção.

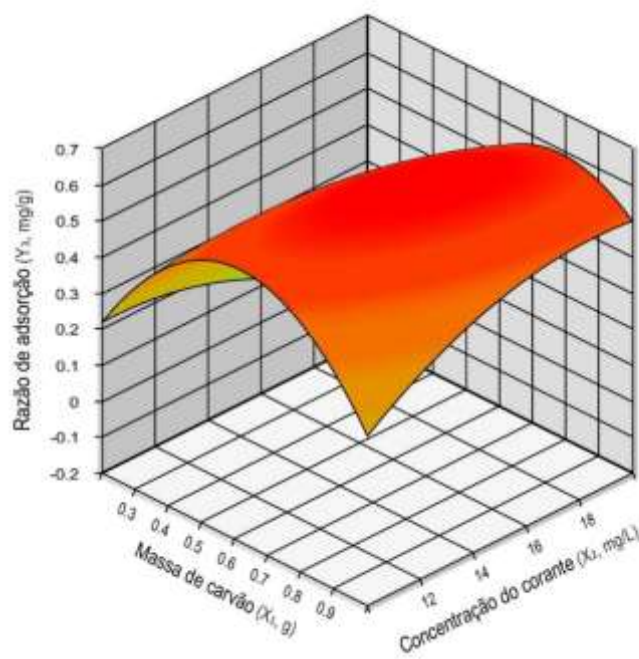
**Figura 14** – Valores obtidos x valores previstos para Razão de Adsorção



Fonte: Autor, 2024.

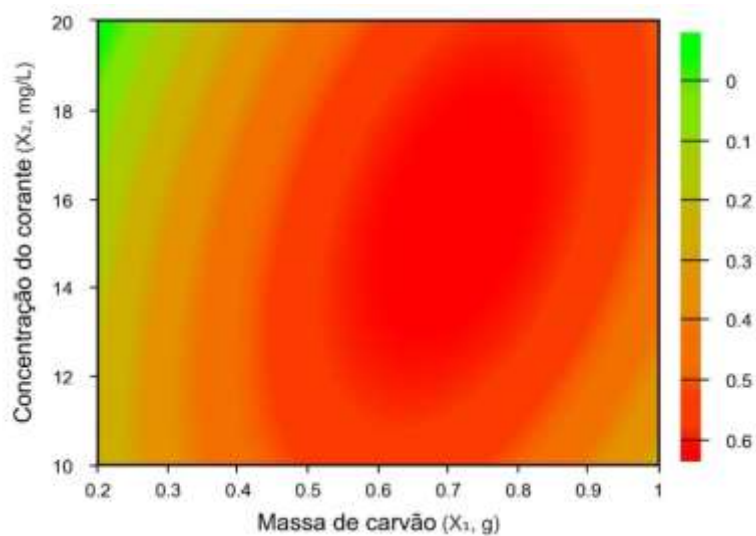
Foi gerado um gráfico de superfície e a curva de nível do mesmo gráfico a partir do planejamento experimental, que estão apresentados nas Figura 14 e 15, respectivamente. A partir deles é possível notar que os maiores valores de Razão de adsorção foram obtidos com massas de carvão por volta de 0,7g, e observa-se que a concentração de corante foi pouco significativa para os valores de razão de adsorção.

**Figura 15** – Gráfico de superfície para a Razão de adsorção do carvão



Fonte: Autor, 2024.

**Figura 16** – Curvas de nível para a Razão de Adsorção do carvão



Fonte: Autor, 2024.

## 8. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho para a caracterização da biomassa, rendimento da pirólise da manga, caracterização do carvão obtido e para o ensaio de adsorção, foi possível tirar seguintes conclusões:

A manga apresentou baixo teor de umidade (6,145%) e alto teor de material volátil (71,102%), o que aponta o uso desse material na produção de carvão ativado através do processo de pirólise.

Após a secagem de uma tonelada de material úmido podem ser obtidos 225,3kg de material seco para a realização do processo de pirólise, e a partir desse material, é possível obter uma massa de 59,03kg de carvão ativado.

Ao analisar aos resultados obtidos no ensaio de adsorção do corante azul de metileno pelo carvão ativado obtido da pirólise da manga, pôde-se perceber que para concentrações de corante que variam de 10 a 20mg/L em um volume de 30mL a massa de carvão ideal para a adsorção está em torno de 0,7g, sendo que, a concentração de corante nessa faixa tem pouca influência sobre os valores de razão de adsorção e eficiência de remoção.

Nas condições estudadas nesse trabalho, o carvão ativado produzido da manga possui alto poder de adsorção.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes.** Érica Janaina Rodrigues de Almeida<sup>1</sup>, Guilherme Dilarri<sup>1</sup>, Carlos Renato Corso<sup>1</sup>. <sup>1</sup>Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida 24 A, nº 1515, 13506-900, Rio Claro - SP.

ANDRADE, P. F. de S. **Fruticultura -Análise da Conjuntura Agropecuária. SEAB** –Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. 2012.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. **Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes.** Dyes and Pigments, v. 78, p. 117-130, 2008.

AZEVEDO, L. C.; DE AZOUBEL, P. M. L.; SILVA, I. R. A.; ARAUJO, A. J. de B.; OLIVEIRA, S. B. **Caracterização físico-química da farinha da casca de manga cv. tommy atkins.**Anais do XXI CBCTA, 2008.

BERGAMASCHI, K. B. **Capacidade antioxidante e composição química de resíduos vegetais visando seu aproveitamento.** 95f. 2010. Dissertação (Mestrado em Agricultura) –Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2010.

CAMARGO, L.K.P.; RESENDE, J.T.V.; GALVÃO, A.G.; BAIER, J.E.; FARIA, M.V. & CAMARGO, C.K. **Caracterização química de frutos de morangueiro cultivados em vasos sob sistemas de manejo orgânico e convencional.** *Semina: Ciências Agrárias*, v.30, p.993-998, 2009.

**Características físico-químicas da manga cv. Palmer em função da fertirrigação com cloreto de potássio** Marcio Alves Carneiro (1); Karla dos Santos Melo de Sousa (2); Ítalo Herbert Lucena Cavalcante (2); Augusto Miguel Nascimento Lima (2); Fernanda Campos Alencar (1) & Eduardo Ribeiro Costa (3). XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal RN, 2015.

CARVALHO, José Márcio; MENDONÇA, Maria Cristina Angélico; REIS, Antônio João dos. **PRODUÇÃO DE MANGA NO BRASIL E SUA COMERCIALIZAÇÃO NOS MERCADOS INTERNO E EXTERNO**. 1997. 60 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração Rural, Universidade Federal de Lavras (Ufla), Lavras, 1997. Disponível em: <http://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/128/125>. Acesso em: 03 agosto. 2023.

CASTRO, G.G. **Determinação dos indicadores de consumo e uso eficiente da água no IFTO – Campus Palmas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2019.

CAVALCANTI, M. T.; SILVA, V. C.; COSTA, T. S.; FLORÊNCIO, I. M.; FLORENTINO, E. R. **Obtenção do amido do endocarpo da manga para diversificação produtiva na indústria de alimentos**. *Revista Verde* (Mossoró –RN –Brasil), v.6, n. 5, p. 80 -83 Dezembro de 2011.

COELHO, E. M.; VIANA, A. C.; AZEVÊDO, L. C. **PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA PARA O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS, COM FOCO NA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE MANGA**. *Cadernos de Prospecção*, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 550-560, 30 dez. 2014. Universidade Federal da Bahia. <http://dx.doi.org/10.9771/s.cprosp.2014.007.056>.

COELHO, L. M.; WOSIACKI, G. **Avaliação sensorial de produtos panificados com adição de farinha de bagaço de maçã**. *Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 30, n. 3, p. 582-588, jul.-set. 2010.

CORREIA, R. C.; ARAUJO, J. L. P. **Cultivo da Mangueira - Mercado Interno; Mercado externo; Características do mercado. Embrapa Semiárido: Sistemas de Produção**, 2 -2ª edição. ISSN 1807-0027. Versão Eletrônica. Ago/2010. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira\\_2ed/mercado.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira_2ed/mercado.htm). Acesso em: 03 novembro. 2023.

DAMIANI, C.; VILAS BOAS, E. V. B.; SOARES JUNIOR, M. S.; CALIARI, M.; PAULA, M. L.; PERERA, D. E. P.; SILVA, A. G. M. **Análise física, sensorial e microbiológica de geleias de manga formuladas com diferentes níveis de**

**cascas em substituição à polpa.** Revista Ciência Rural, v. 38, n. 5, p. 1418-1423, ago. 2008.

FACHINELLO, J.C ; NACHTIGAL, J.C; KERSTEN, E. **Fruticultura: fundamentos e práticas.** Pelotas: Ufpel, 2008. 183 p. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/fruticultura/files/2017/05/Livro-de-Fruticultura-Geral.pdf>. Acesso em: 17 novembro 2023.

FELIPE, É. M. F.; COSTA, J. M. C.; MAIA, A. M.; HERNANDEZ, F. F. H. **Avaliação da qualidade de parâmetros minerais de pós-alimentícios obtidos de casca de manga e maracujá.** Revista Alimentação e Nutrição. Araraquara, v. 17, n. 1, p. 79-83, jan./mar. 2006.

KAUR, M.; SINGH, N.; SANDHU, K. S.; GURAYA, H. S. **Physicochemical, morphological, thermal, and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (Mangifera indica L.).** Food Chem., v.85, p.131-140, 2004.

MONTEIRO, B. A. **Valor nutricional de partes convencionais e não convencionais de frutas e hortaliças.** 68f. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônômicas) -Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrônômicas. - Campus de Botucatu. Botucatu-SP. 2009.

NETO, F.P.L. **Embrapa Semiárido Planta Manga.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/manga/pre-producao/caracteristicas/planta>. Acesso em 25 de novembro de 2023.

OLIVEIRA, Andréa. **Manga: variedades, valor nutricional e benefícios à saúde.** Disponível em: <https://www.cpt.com.br/artigos/manga-variedades-valor-nutricional-e-beneficios-a-saude>. Acesso em: 25 novembro 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010: **The human right to water and sanitation.** Disponível em: [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/64/292](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292)>. Acesso em 22 de outubro de 2023.

PEREIRA.P.S. **QUÍMICOS RESTRITOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA: PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO JUNTO AO SETOR VAREJISTA** Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química – DAENQ – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Química. PONTA GROSSA 2018.

PETRONAS. **Um pouco da história dos lubrificantes e seus usos na indústria e rotinas humanas.** 2018. Disponível em: <https://inovacaoindustrial.com.br/historia-dos-lubrificantes/>. Acesso em: 02 outubro 2023.

Portal Embrapa: **Cultivos: Manga.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/manga>. Acesso em 12 de dezembro de 2023.

SANTOS, Ariadne Guedes. **Diagnóstico do uso da água no IFTO - Campus Palmas e considerações sobre o uso eficiente** / Ariadne Guedes Santos. – Palmas, TO, 2021. 95 p. : il. color.

SILVA, P.C.G.da; COELHO, R.C. Cultivo da Mangueira - **O cultivo da manga no Brasil e no Semiárido nordestino; A importância econômica e social da mangueira no Submédio do Vale do São Francisco**; Organização e coordenação setorial. Embrapa Semiárido: Sistemas de Produção, 2 -2ª edição. Versão Eletrônica. Ago/2010. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira\\_2ed/socioeconomia.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira_2ed/socioeconomia.htm). Acesso em: 02 maio 2022.

SOARES. J.L. **REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR ADSORÇÃO EM CARVÃO MINERAL ATIVADO COM ALTO TEOR DE CINZAS FLORIANÓPOLIS.** 1998 Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação.

UFRJ. Museu Nacional: Horto Botânico. Disponível em:  
<https://museunacional.ufrj.br/hortobotanico/arvoresearbustos/mangiferaindica.html>. Acesso em: 28 de outubro de 2023.