

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS**

VICTOR GUILHERME FREITAS DA SILVA BEZERRA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO CAVACO DE MADEIRA E
SUA APLICAÇÃO NA ADSORÇÃO DE CORANTES**

PALMAS - TO

2025

VICTOR GUILHERME FREITAS DA SILVA BEZERRA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO CAVACO DE MADEIRA E
SUA APLICAÇÃO NA ADSORÇÃO DE CORANTES**

Pré-projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus* Palmas, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dra. Marcelo Mendes Pedroza

PALMAS - TO

2025

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

-
- B574p Bezerra, Victor Guilherme Freitas da Silva
Produção de carvão ativado a partir do cavaco de madeira e sua aplicação na adsorção de corantes : p / Victor Guilherme Freitas da Silva Bezerra. – Palmas, TO, 2025.
43 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, 2025.
- Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza
1. Cavaco de madeira. 2. Carvão ativado. 3. Pirólise. I. Pedroza, Marcelo Mendes. II. Título.

CDD 624

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

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

VICTOR GUILHERME FREITAS DA SILVA BEZERRA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO CAVACO DE MADEIRA E
SUA APLICAÇÃO NA ADSORÇÃO DE CORANTES**

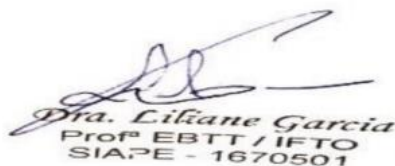
Pré-projeto do Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia
Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins – *Campus* Palmas, como
requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza (Orientador)



Dra. Liliane Garcia
Profª EBTT / IFTO
SIAPE - 1670501

Prof. Dra. Liliane Garcia da Silva
IFTO



Eng Matheus Gomes Arruda
IFTO

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso é um marco significativo que reflete não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também o resultado de um esforço coletivo e do apoio inestimável de pessoas que acreditaram em mim.

Minha profunda gratidão a Deus, por me conceder força, sabedoria e por zelar pela saúde e bem-estar da minha família, especialmente neste momento peculiar e desafiador da história.

À minha família, meu alicerce e porto seguro, agradeço o amor incondicional, a compreensão e o incentivo constante ao longo de toda esta jornada. Vocês são os pilares inabaláveis da minha vida.

Ao meu orientador, estendo meu mais sincero agradecimento. Sua dedicação e, acima de tudo, a orientação perspicaz foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Seu vasto conhecimento e o incentivo em cada etapa foram fundamentais para que eu pudesse alcançar este resultado.

Aos professores do curso de Engenharia Civil, sou imensamente grato pela excelência no ensino, pelo conhecimento e experiência compartilhados que contribuíram de forma decisiva para minha formação acadêmica e profissional.

Aos meus amigos, que vivenciaram intensamente essa rotina comigo, sou grato pelo companheirismo, pelas valiosas trocas de experiências, pelo incentivo nos momentos mais difíceis e pela celebração de cada conquista.

RESUMO

BEZERRA, Victor Guilherme Freitas da Silva. **Produção de carvão ativado a partir do cavaco de madeira e sua aplicação na adsorção de corantes**. 2025. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2025.

O cavaco de madeira é um subproduto gerado em serrarias, composto por fragmentos de madeira de 5 a 50 mm, tradicionalmente descartados. No entanto, ele tem sido reaproveitado em indústrias sustentáveis, destacando-se por seu baixo impacto ambiental e origem renovável. Seu uso inclui geração de energia, sendo uma alternativa ao carvão mineral, reduzindo a pegada de carbono. Além disso, sua aplicação em processos sustentáveis promove o reaproveitamento de matéria-prima e minimiza o desperdício. A pesquisa investiga a produção de carvão ativado (CA) a partir do cavaco, analisando sua caracterização físico-química e propriedades de adsorção. O estudo visa fomentar tecnologias sustentáveis, explorando o cavaco como matéria-prima para adsorventes ambientais e fortalecendo práticas ecológicas e inovadoras. Este trabalho teve como objetivo utilizar o cavaco de madeira no processo de pirólise para a produção de carvão ativado. A biomassa foi caracterizada através das análises imediatas: teor de umidade (3,7%), material volátil (78,5%), cinzas (2,0%) e carbono fixo (15,8%). O experimento de pirólise do resíduo foi realizado em reator de leito fixo, em temperaturas de 550 e 650 °C, durante o tempo de 30 min à uma taxa de 30 °C/min. Os rendimentos de carvão obtidos nos ensaios de pirólise a 550 °C e 650 °C foram, respectivamente, de 23,5% e 20,5%. Foi realizado o teste de adsorção do corante azul de metileno utilizando o carvão ativado produzido a 650 °C, conforme o planejamento delineado de faces centradas. Esse planejamento envolveu 11 combinações diferentes de massa de carvão e concentração de corante. Os resultados obtidos variaram de uma razão de adsorção de (0,58 mg/g a 7,42 mg/g), com massas de material variando entre (1,00 g e 0,40 g). Dessa forma, analisando os resultados encontrados, entende-se que o carvão ativado, produzido através da pirólise do cavaco de madeira, é um adsorvente eficaz.

Palavras-chave: Carvão ativado. Cavaco de madeira. Adsorvente. Pirólise. Adsorção.

ABSTRACT

BEZERRA, Victor Guilherme Freitas da Silva. **Production of activated carbon from wood chips and its application in the adsorption of dyes**. 2025. 45p. Final Course Work – Bachelor's Degree in Civil Engineering – Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. Palmas, 2025.

Wood chips are a byproduct generated in sawmills, consisting of wood fragments measuring 5 to 50 mm and traditionally discarded. However, they have been reused in sustainable industries, notable for their low environmental impact and renewable origin. Their uses include energy generation, serving as an alternative to coal, reducing the carbon footprint. Furthermore, their application in sustainable processes promotes the reuse of raw materials and minimizes waste. This research investigates the production of activated carbon (AC) from wood chips, analyzing their physical-chemical characteristics and adsorption properties. The study aims to promote sustainable technologies, exploring wood chips as a raw material for environmental adsorbents and strengthening ecological and innovative practices. This work aimed to use wood chips in the pyrolysis process for the production of activated carbon. The biomass was characterized through immediate analyses: moisture content (3.7%), volatile matter (78.5%), ash (2.0%), and fixed carbon (15.8%). The residue pyrolysis experiment was carried out in a fixed-bed reactor at temperatures of 550 and 650 °C for 30 min at a rate of 30 °C/min. The charcoal yields obtained in the pyrolysis tests at 550 °C and 650 °C were, respectively, 23.5% and 20.5%. The methylene blue dye adsorption test was performed using the activated charcoal produced at 650 °C, according to the face-centered design. This design involved 11 different combinations of charcoal mass and dye concentration. The results obtained ranged from an adsorption ratio of 0.58 mg/g to 7.42 mg/g, with material masses varying between 1.00 g and 0.40 g. Therefore, analyzing the results found, it is understood that activated charcoal, produced through the pyrolysis of wood chips, is an effective adsorbent.

Keywords: Activated carbon. Wood chips. Adsorbent. Pyrolysis. Adsorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corte esquemático - Carvão comum e Carvão ativado.....	15
Figura 2 - Carvão ativado adsorve gases e produtos químicos	15
Figura 3 – Fluxograma geral do processo	16
Figura 4 - Fluxograma contendo os testes e experimentos a serem realizados	18
Figura 5 - Cavaco de madeira, proveniente da fragmentação de madeira.....	19
Figura 6 - Estufa modelo TE-393/180L	20
Figura 7 - Dessecador.....	21
Figura 8 - Forno mufla	22
Figura 9 - Reator termoelétrico utilizado nos processos de pirólise	24
Figura 10 - Equipamentos envolvidos na pirólise	25
Figura 11 - Autoclave Vertical.....	26
Figura 12 - Mesa agitadora orbital	29
Figura 13 - Espectrofotômetro modelo HACH DR 6000.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores e níveis empregados.....	28
Tabela 2 - Ordem dos experimentos no planejamento experimental	28
Tabela 3 - Comparativo entre trabalhos de análise imediata da biomassa	32
Tabela 4 - Rendimento do carvão ativado 550 °C e 650 °C	32
Tabela 5 - Comparativo entre os rendimentos de carvão ativado 550 °C e 650 °C	33
Tabela 6 - Resultados do ensaio de adsorção do carvão 650 °C.....	34
Tabela 7 - Coeficientes de regressão e valores estatísticos	35
Tabela 8 - Resultado da razão de adsorção das amostras por ANOVA	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Contribuição das variáveis para a razão de adsorção.....	36
Gráfico 2 - Gráfico de predição do modelo da razão de adsorção.....	37
Gráfico 3 - Relação tridimensional entre a razão de adsorção e as variáveis.....	38
Gráfico 4 - Relação entre Razão de Adsorção x Variáveis independentes.....	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ASTM – Sociedade Americana de Teste e Materiais

cm – Centímetro

DFC – Delineamento de Faces Centradas

E – Eficiência de remoção

FAS – Federação Agrícola Estrangeira

IFTO – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

Km – Quilômetro

LARSEN – Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética

g – Grama

min – Minuto

mL – Mililitro

mm – Milímetro

nm – Nanômetro

MPa – Mega – Pascal

NBR – Normas Brasileiras

Q – Razão de adsorção

RPM – Rotações por minuto

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Propriedades e Aplicações	14
3.2 Carvão ativado e seu processo.....	14
3.3 Biomassa	16
3.4 Pirólise.....	17
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
4.2 Coleta do Material	19
4.3 Caracterização da biomassa	19
4.3.1 Análise imediata	19
4.3.1.1 Umidade	20
4.3.1.2 Teor de cinzas.....	21
4.3.1.3 Material volátil	22
4.3.1.4 Teor de carbono fixo	23
4.3.2 Densidade	23
4.4 Pirólise do material.....	23
4.4.1 Balanço de Massa e Rendimento	26
4.5 Caracterização do carvão.....	27
4.5.1 Análise imediata	27
4.5.1.1 Umidade	27
4.5.1.2 Material volátil	27
4.5.1.3 Teor de cinzas.....	27
4.5.1.4 Teor de carbono fixo	27

4.5.2 Ensaio de adsorção.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5.1 Caracterização da Biomassa.....	31
5.1.1 Análise imediata	31
5.2 Rendimento do Carvão Ativado do Cavaco de Madeira	32
5.3 Teste de Adsorção	33
5.3.1 Razão de adsorção (Q).....	34
6 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

No processamento das árvores em serrarias, pequenos pedaços de madeira são gerados. Esses pedaços, com tamanhos variando entre 5 e 50 mm, muitas vezes são descartados. No entanto, o cavaco de madeira encontrou um destino sustentável em empresas que valorizam tecnologia e práticas ambientais. Os cavacos de madeira têm uma variedade de usos, sendo um material versátil e útil em diversas indústrias (SALMERON, 2022).

Além de ser uma forma de aproveitamento de resíduos da indústria madeireira, o uso de cavacos de madeira também é considerado uma alternativa mais sustentável em comparação com outros materiais, como o carvão mineral. Isso se deve à sua origem renovável e ao menor impacto ambiental em sua produção e queima. O cavaco de madeira contribui significativamente para a redução da pegada de carbono e a promoção de práticas ecológicas (SALMERON, 2022).

Contudo, comercialmente, o cavaco de madeira é acessível e produtivo na geração de energia, oferecendo uma solução econômica para diversas indústrias. O uso de cavaco de madeira contribui para o reaproveitamento de matéria-prima, reduzindo o desperdício e o impacto ambiental. O cavaco de madeira desempenha um papel crucial em processos sustentáveis, na produção de energia principalmente no reaproveitamento de resíduos da indústria madeireira. Sobretudo o seu uso inteligente contribui para um mundo mais verde e eficiente (SALMERON, 2022).

Neste contexto, o presente trabalho de pesquisa tem como objetivo central investigar a produção de carvão ativado (CA) utilizando cavaco de madeira como matéria-prima. O estudo se concentra na caracterização físico-química do CA resultante, bem como na avaliação de suas propriedades de adsorção. Espera-se que a pesquisa demonstre o potencial do cavaco de madeira como matéria-prima para a produção de CA de alta qualidade, com propriedades de adsorção promissoras para diversas aplicações ambientais.

A presente pesquisa busca contribuir para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e inovadoras, promovendo a valorização de resíduos vegetais e a produção de um material de grande utilidade em diversas aplicações industriais. Os resultados obtidos poderão fornecer subsídios para a criação de novas oportunidades de aproveitamento de recursos naturais e a mitigação de impactos ambientais decorrentes da produção e utilização de materiais adsorventes convencionais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar o potencial do cavaco de madeira como matéria-prima para a produção de carvão ativado, de modo a contribuir para o desenvolvimento de tecnologias limpas e sustentáveis.

2.2 Objetivos específicos

- Preparar e caracterizar o cavaco de madeira;
- Realizar a pirólise de cavaco de madeira;
- Caracterizar o carvão ativado produzido;
- Aplicar o carvão ativado em processo de adsorção de corante químico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Propriedades e Aplicações

A utilização do cavaco de madeira como precursor para a produção de carvão ativado tem se mostrado uma estratégia promissora para agregar valor a esse resíduo e fornecer um adsorvente eficiente para tratamento ambiental. Segundo estudos recentes, a composição lignocelulósica do cavaco favorece a formação de uma estrutura porosa após os processos de carbonização e ativação (FERREIRA et al., 2023).

O cavaco de madeira é um material proveniente da fragmentação de madeira por meio de processos mecânicos, resultando em pequenas lascas ou pedaços utilizados para diversas finalidades industriais. Geralmente, é obtido a partir de restos de madeira de serrarias, podas, toras e indústrias moveleiras, tornando-se um subproduto de baixo custo e amplamente disponível. Segundo estudos, o cavaco de madeira apresenta alto teor de celulose, hemicelulose e lignina, componentes que influenciam suas propriedades físico-químicas e sua aplicação em processos industriais (OLIVETTI NETO, 2002).

O cavaco de madeira possui diversas aplicações, sendo comumente utilizado como biomassa para geração de energia térmica e elétrica, além de servir como matéria-prima para a produção de painéis de madeira reconstituída (MDF, aglomerados) e biocarvão. Estudos indicam que o cavaco de madeira também pode ser aproveitado para a fabricação de carvão ativado, sendo um material promissor para aplicações ambientais (COSTA et al., 2021).

Assim, a valorização de resíduos lignocelulósicos, como o cavaco de madeira, para a produção de carvão ativado representa uma alternativa sustentável e economicamente viável para aplicações ambientais. A estrutura porosa do carvão ativado possibilita sua ampla utilização na remoção de contaminantes de soluções aquosas, tornando-se um material de grande interesse para o tratamento de efluentes industriais e outros processos de purificação. Dessa forma, o aproveitamento desse subproduto pode contribuir para a economia circular e para a minimização de impactos ambientais associados ao descarte de resíduos sólidos.

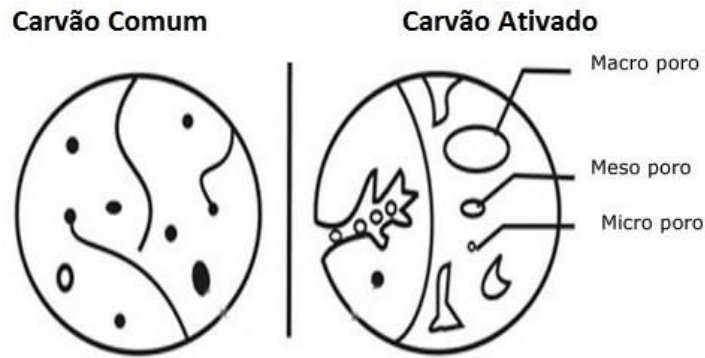
3.2 Carvão ativado e seu processo

O carvão ativado é um material carbonáceo altamente poroso, amplamente utilizado como adsorvente em processos de purificação de água, tratamento de efluentes e remediação ambiental. Sua produção envolve a carbonização de biomassa e a ativação física ou química para o desenvolvimento de sua estrutura porosa (SANTOS et al., 2019).

O carvão ativado é reconhecido como um composto carbonáceo poroso, caracterizado por conter uma proporção reduzida de heteroátomos, sobretudo oxigênio, ligados à estrutura de

carbono. Sua notável área superficial específica e uma porosidade significativamente desenvolvida conferem a esse material a habilidade de adsorver moléculas, presentes em fase líquida ou em fase gasosa (GORGULHO et al., 2008). A Figura 1 ilustra um corte esquemático do carvão comum e do carvão ativado.

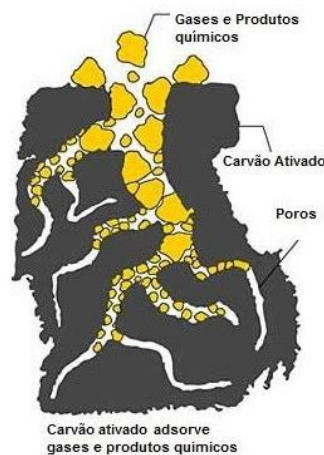
Figura 1 – Corte esquemático - Carvão comum e Carvão ativado



Fonte: Láctea Científica (2017)

Devido à sua elevada área superficial e estrutura altamente porosa, o carvão ativado possui uma excelente capacidade de adsorção (Figura 2), sendo eficaz na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos em soluções aquosas. Estudos demonstram sua aplicação na remoção de corantes sintéticos, metais pesados e compostos farmacêuticos de efluentes industriais (OLIVEIRA et al., 2022).

Figura 2 - Carvão ativado adsorve gases e produtos químicos

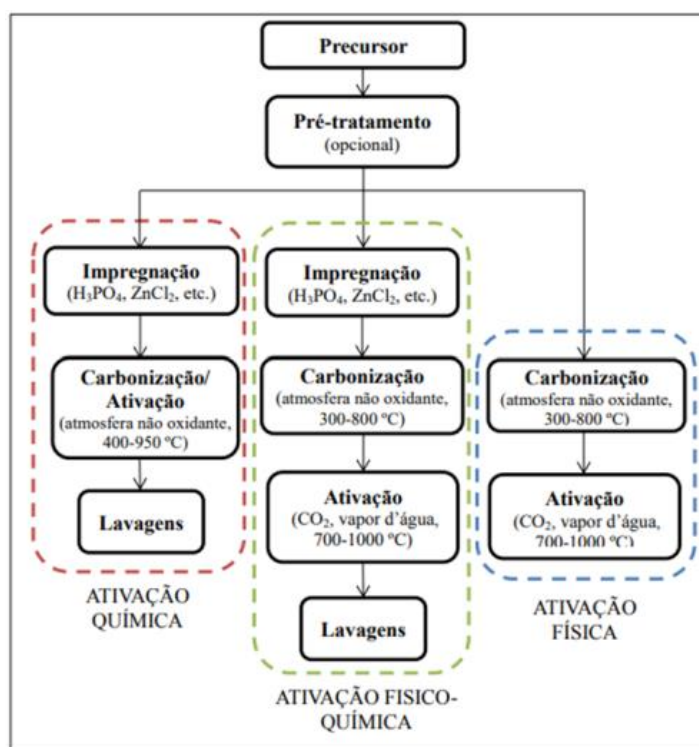


Fonte: Láctea Científica (2017)

O carvão ativado exibe uma boa eficácia ao interagir com uma variedade extensa de materiais, adsorvendo moléculas de diversos tamanhos sem afetar a estrutura do substrato. Essas propriedades atribuem-lhe uma importância significativa no contexto do tratamento adequado de resíduos líquidos. Diversos materiais que contenham uma concentração elevada de carbono têm a capacidade de ser transformados em carvão ativado, incluindo, mas não se limitando a ossos de animais, madeira, resíduos minerais, resíduos vegetais, e petróleo (RAMOS, 2009).

A fabricação de carvão ativado pode ou não envolver uma fase de pré-tratamento, que engloba procedimentos como lavagem, secagem ao sol ou em forno, trituração, moagem e peneiramento do material precursor (CÂNDIDO, 2019), conforme Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma geral do processo



Fonte: Cândido (2019)

3.3 Biomassa

A biomassa refere-se a materiais orgânicos renováveis derivados de plantas e resíduos agroindustriais, podendo ser utilizados como fonte de energia ou na produção de carvão ativado.

A biomassa apresenta elevado potencial para conversão em carvão ativado devido à sua composição lignocelulósica, que favorece a formação de uma estrutura altamente porosa após a carbonização e ativação (OLIVEIRA et al., 2022).

Diversos tipos de biomassa podem ser utilizados na produção de carvão ativado, incluindo resíduos agrícolas (casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar), madeira e seus subprodutos (cavacos, serragem) e resíduos urbanos (lodo de esgoto). Estudos mostram que a escolha da biomassa influencia diretamente as propriedades físico-químicas do carvão ativado obtido (SANTOS et al., 2021).

3.4 Pirólise

A pirólise é um processo termoquímico de degradação da biomassa em atmosfera inerte e em altas temperaturas (300-800°C), resultando na formação de carvão, líquidos pirolíticos e gases combustíveis. Esse processo é amplamente utilizado na produção de carvão ativado, pois promove a remoção de componentes voláteis e cria uma estrutura porosa (MOURA et al., 2023).

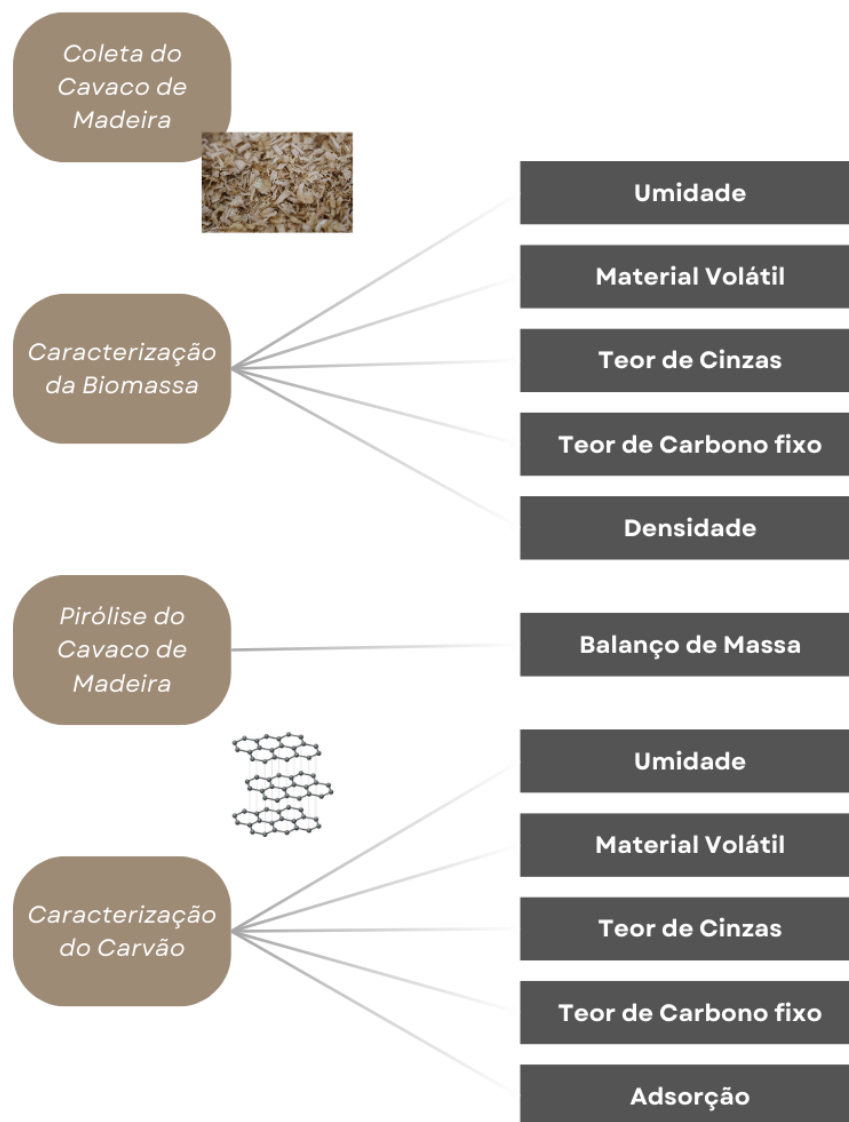
De maneira geral, a pirólise de uma biomassa é considerada como a sobreposição da decomposição dos seus componentes. No caso da madeira, especificamente, além de ocorrer a perda de água do material, os componentes decompostos são a celulose, as hemiceluloses e as ligninas.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As ações neste estudo estão situadas de forma lógica e sequencial na Figura 4. As experimentações foram desenvolvidas no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN), localizado no Instituto Federal do Tocantins (IFTO), no Campus Palmas.

Os experimentos foram conduzidos baseados em normas e metodologias reconhecidas, como as da Sociedade Americana para Ensaio e Materiais (American Society for Testing and Materials – ASTM, em inglês).

Figura 4 - Fluxograma contendo os testes e experimentos a serem realizados



Fonte: Autor (2025)

4.2 Coleta do Material

O resíduo foi coletado proveniente do descarte consistindo em pequenos pedaços de madeira resultantes dos processos de corte, desbaste ou aparo de toras (Figura 5), utilizada na loja de madeiras "On Madeiras", localizada na cidade de Palmas, Tocantins.

Figura 5 - Cavaco de madeira, proveniente da fragmentação de madeira



Fonte: Autor (2025)

4.3 Caracterização da biomassa

Com o intuito de caracterizar a biomassa estudada (cavaco de madeira), alguns procedimentos foram realizados para obter essas características, tais como: análise imediata e a densidade. O material vai passar por uma secagem em estufa à 50 °C por um período de 1 horas, com o objetivo de remover o excesso de umidade, decorrente da sua origem.

4.3.1 Análise imediata

A análise imediata equivale aos experimentos para determinar o teor de umidade, teor de cinzas, teor de material volátil e teor de carbono fixo.

4.3.1.1 Umidade

A umidade foi determinada de acordo com a norma ASTM D3173-87, seguindo a Equação 1. Nesse sentido, uma amostra com aproximadamente 1 grama foi colocada em um cadinho de porcelana, registrando-se os valores dos pesos iniciais. O recipiente foi depositado em uma estufa modelo TE-393/180L (Figura 6) a uma temperatura de 105 °C por um período de 1 hora.

Figura 6 - Estufa modelo TE-393/180L



Fonte: Autor (2025)

Em seguida, o material foi retirado da estufa e transferido para um dessecador (Figura 7), onde permaneceu por 15 minutos, sendo pesado após esse intervalo. Com os dados obtidos, a Equação 1 foi aplicada para calcular o percentual de umidade.

$$Umidade(\%) = \frac{(p - p')}{a} \times 100 \quad (Equação 1)$$

Onde:

$p \rightarrow$ Peso do recipiente vazio + peso da amostra (g)

$p' \rightarrow$ Peso do recipiente + peso da amostra seca (g)

$a \rightarrow$ Peso da amostra inicial (g)

Figura 7 - Dessecador



Fonte: Autor (2025)

4.3.1.2 Teor de cinzas

A amostra de 1 grama, colocada em um cadinho de porcelana de peso conhecido e foi calcificada em um forno mufla (Figura 8), por um período de 60 minutos, a uma temperatura de 710 °C. Em seguida, foi colocado em um dessecador (Figura 7) por 1 hora para esfriar e, depois, serem pesados. O teor de cinzas foi estabelecido de acordo com a norma ASTM D3174-04, seguindo a Equação 2.

Figura 8 - Forno mufla

Fonte: Autor (2025)

$$\text{Teor de Cinzas(\%)} = \frac{(p' - p_0)}{a} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

p' → Peso do recipiente vazio + peso da amostra (g)

p_0 → Peso do recipiente + peso da amostra seca (g)

a → Peso da amostra inicial (g)

4.3.1.3 Material volátil

Seguindo a norma ASTM D3175-07, a Equação 3. Assim, durante um período de 7 minutos, a amostra foi aquecida em um forno mufla a uma temperatura de 850 °C na ausência de oxigênio. Após o aquecimento no tempo e temperatura estipulados, o teor de material volátil foi determinado.

$$\text{Material Volátil(\%)} = \frac{(p - p')}{a} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

p → Peso do recipiente vazio + peso da amostra (g)

$p' \rightarrow$ *Peso do recipiente + peso da amostra seca (g)*

$a \rightarrow$ *Peso da amostra inicial (g)*

4.3.1.4 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo na biomassa, foi determinado por a diferença descrita de acordo com a *Equação 4*.

$$\text{Teor}(\%) = 100 - (\text{Umidade}(\%) - \text{Teor de Cinzas}(\%) - \text{Material Volátil}(\%)) \quad (\text{Equação 4})$$

4.3.2 Densidade

Para determinar a densidade aparente, foi utilizada uma proveta de 100 mL, vinculada a uma balança de precisão para tarar o peso. Após esse procedimento, frações da biomassa foram colocadas progressivamente na proveta, anotando-se os respectivos pesos nos intervalos de volumes equivalentes a 20, 40, 60, 80 e 100 mL. Com os dados obtidos, a densidade média do material foi calculada utilizando a *Equação 5*.

$$\text{Densidade}(g/mL) = \frac{m}{V} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$m \rightarrow$ *Massa (g)*

$V \rightarrow$ *Volume (mL)*

4.4 Pirólise do material

Neste estudo, foram realizados dois procedimentos de pirólise com temperaturas distintas, sendo elas 550 °C e 650 °C. Ambos os experimentos foram processados por 30 minutos nas temperaturas propostas, com uma taxa de aquecimento de 30 °C por minuto.

O material que sofrer o processo de pirólise foi alocado, já previamente seco em estufa a 50 °C, em uma barca metálica e pesado em uma balança analítica, assim como a barca vazia, com o intuito de aferir a massa de resíduo a ser pirolisada e analisar o rendimento. Após isso, esse recipiente contendo a amostra foi inserido em um reator termoeletrico (Figura 9), do modo mais centralizado possível, a fim de garantir uma uniformidade no procedimento.

Figura 9 - Reator termoeletrico utilizado nos processos de pirólise



Fonte: Autor (2025)

A Figura 10 revela os aparelhos que foi utilizado no sistema de pirólise. Antes de iniciar o processo de degradação térmica, se fez necessário ajustar o reator termoeletrico com as características específicas para o processo de pirólise, como a temperatura, a taxa de aquecimento da matéria e o tempo de permanência da biomassa no reator. Além disso, foi definido a potência da autoclave vertical (Figura 11), que foi responsável por produzir o vapor d'água utilizado como gás de arraste no procedimento de pirólise.

Figura 10 - Equipamentos envolvidos na pirólise



Fonte: Autor (2025)

Figura 11 - Autoclave Vertical



Fonte: Autor (2025)

4.4.1 Balanço de Massa e Rendimento

O balanço de massa de entrada e saída do processo pirolítico foi baseado no princípio da Lei de Conservação de Massa, popularizada pelo químico Antoine Lavoisier. Nesse sentido, foi aferido o peso de biomassa que entrará no reator e o peso do carvão obtido após o procedimento, calculando o balanço de massa (Equação 6) e o rendimento (Equação 7).

$$Mc = Me - Ms \quad (\text{Equação 6})$$

$$\text{Rendimento}(\%) = \frac{Mc}{Me} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$Mc \rightarrow$ Massa do carvão (g)

$M_e \rightarrow$ Massa de entrada (g)

$M_s \rightarrow$ Massa de saída (g)

4.5 Caracterização do carvão

O carvão ativado que foi obtido após o processo de pirólise, passara por uma caracterização semelhante à da biomassa, conforme os métodos elencados a seguir.

4.5.1 Análise imediata

4.5.1.1 Umidade

O teor de umidade foi determinado conforme o exposto no item 4.3.1.1, seguindo as recomendações da norma ASTM D3173-87.

4.5.1.2 Material volátil

O teor de material volátil foi definido de acordo com o item 4.3.1.3 e as instruções da norma ASTM D3175-07.

4.5.1.3 Teor de cinzas

O teor de cinzas foi aferido seguindo o item 4.3.1.2 e as orientações da norma ASTM D3174-04.

4.5.1.4 Teor de carbono fixo

A determinação do teor de carbono fixo foi definida pela metodologia previamente exposta no item 4.3.1.4.

4.5.2 Ensaio de adsorção

Para o ensaio de adsorção, foi utilizado o carvão ativado produzido nessa pesquisa obtido na temperatura de 650 °C e taxa de aquecimento igual a 30 °C/min, na forma de pó, com granulometria de 0,45 mm. Este ensaio foi realizado no LARSEN-IFTO/Campus Palmas.

Com o objetivo de determinar os distintos valores e direcionar o estudo, o experimento foi realizado com o auxílio do software “Protimiza Experimental Design”, desenvolvido por Maria Isabel Rodrigues e Paulo Costa. O software foi programado com base na metodologia denominada Delineamento de Faces Centradas (DFC), que permite a avaliação eficiente de dados em um espaço multidimensional, analisando a relação entre as variáveis dependentes (respostas) e as variáveis independentes: massa do carvão (X1) e concentração da solução do corante (X2).

Nesta abordagem, para melhorar a avaliação, os fatores são codificados em três níveis: (-1), (0) e (+1). Esses códigos representam os níveis mínimo, médio e máximo, no qual foi utilizado no teste, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores e níveis empregados

Fatores	Unidade	Níveis		
		-1	0	1
Massa de carvão (X1)	g	0,40	0,70	1,00
Concentração do corante (X2)	mg/L	20	60	100

Fonte: Autor (2025)

Com o auxílio do programa, foi estipulado o número de experimentos necessários para a análise, estabelecendo uma repetição igual a 1 e o número de pontos centrais igual a 3, totalizando 11 experimentos, que abrangem todas as combinações possíveis de níveis, além dos três pontos centrais. Dessa forma, os frascos de Erlenmeyer foram numerados e preenchidos conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Ordem dos experimentos no planejamento experimental

Experimentos	Níveis decodificados		Níveis codificados	
	Massa de carvão (g)	Concentração do corante (mg/L)	X1	X2
1	0,40	20	-1	-1
2	1,00	20	+1	-1
3	0,40	100	-1	+1
4	1,00	100	+1	+1
5	0,40	60	-1	0
6	1,00	60	+1	0
7	0,70	20	0	-1
8	0,70	100	0	+1
9	0,70	60	0	0
10	0,70	60	0	0
11	0,70	60	0	0

Fonte: Autor (2025)

Para determinar a capacidade de adsorção do carvão produzido, foi empregada o corante (Azul de Metileno), de fórmula química $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$ foi empregada no teste, sendo utilizados um volume padrão de 30 mL de solução em todos os testes. O ensaio foi realizado em uma mesa de agitação (Figura 12), durante o período de 30 minutos com uma rotação igual a 30 rpm.

Figura 12 - Mesa agitadora orbital



Fonte: Autor (2025)

Após o teste de adsorção, as amostras foram filtradas em papel analítico e a concentração de azul de metileno resultante foi determinada em espectrofotômetro, a 660 nm (Figura 13).

Figura 13 - Espectrofotômetro modelo HACH DR 6000



Fonte: Autor (2025)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização da Biomassa

Com a finalidade de caracterizar a biomassa, foi feita a análise imediata no qual está incluso a determinação do teor de umidade, teor de cinzas, teor de carbono fixo e material volátil.

5.1.1 Análise imediata

De acordo com (ALMEIDA, 2008), para transformações em processos termoquímicos, um teor de umidade de até 10% é considerado adequado. Nesse contexto, o cavaco de madeira, que apresentou um teor de umidade de 3,7% (Tabela 3). O teor de umidade representa a quantidade de água perdida pela biomassa quando submetida a temperaturas próximas de 100 °C. Isso ocorre porque, ao ser aquecida, a amostra sofre uma redução de peso devido à evaporação da água presente em sua composição. Sendo assim, quanto menor for o teor de umidade, maior será a produção de calor (DO VALE et al., 2000), configura-se como uma biomassa apropriada para combustão e processos como a pirólise.

De acordo com (PEREIRA, SEYE, 2014), o teor de cinzas representa a fração da biomassa que não sofre combustão. (FERNANDES et al. 2015) destacam que um alto teor de cinzas não é ideal, pois, além de reduzir o poder calorífico, também gera uma maior quantidade de resíduo. Nesse sentido, o valor de 2,0% (Tabela 3) encontrado no cavaco de madeira, tornando a biomassa mais eficiente para processos energéticos.

O teor de carbono fixo pode ser definido como a quantidade de carbono que há presente em uma biomassa (DIONIZIO, 2017). A maior parcela de fonte energética que há em uma biomassa é o teor de carbono fixo (PIRES, 2013). De acordo com os autores (CHAVES et al., 2013), a porcentagem alta do teor de carbono fixo trará um maior conteúdo energético. Assim, o teor de carbono fixo encontrado no cavaco de madeira foi equivalente a 15,8%.

No cavaco de madeira o material volátil encontrado foi de 78,5%. De acordo com (VIEIRA, 2012) a biomassa ao apresentar um alto teor volátil tem maior facilidade de queimar e incendiar, ou seja, quanto maior for o teor volátil presente no carvão, mais rápido ele queimará.

Tabela 3 - Comparativo entre trabalhos de análise imediata da biomassa

Variável analítica	Biomassa desta pesquisa	Outros autores	
		Pedroza et al. (2023) ^(a)	Maia (2020) ^(b)
Umidade (%)	3,7	-	6,1
Material volátil (%)	78,5	84,56	75,1
Teor de cinzas (%)	2,0	3,87	2,0
Carbono fixo (%)	15,8	11,57	16,8

^(a)Biomassa a partir das vagens de flamboyant;

^(b) Biomassa a partir da casca de castanha de caju.

Fonte: Próprio autor (2025).

5.2 Rendimento do Carvão Ativado do Cavaco de Madeira

Depois de realizados os processos de pirólise, o peso do carvão produzido foi determinado pela diferença entre os pesos de entrada e saída dos procedimentos, permitindo a análise do rendimento, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Rendimento do carvão ativado 550 °C e 650 °C

Massa (g)	Carvão 550 °C	Carvão 650 °C
Peso da biomassa	34	29,6
Peso do carvão	8	6
Rendimento (%)	23,5	20,5

Fonte: Autor (2025)

Dessa maneira, nota-se que o processo de pirólise realizado a 550 °C produziu 8 gramas de carvão ativado, onde a massa de entrada do cavaco de madeira foi igual a 34 gramas, apresentando, por conseguinte, um rendimento de 23,5%. Enquanto o carvão que foi produzido a 650 °C teve uma massa de 6 gramas, com 29,6 gramas de biomassa inserida, resultando assim em 20,5% de rendimento.

Os valores obtidos e com comparativo ao do (PEDROZA et al., 2023), onde foram realizadas pirólises das vagens de flamboyant, alcançando um rendimento médio de 25,99%, enquanto o aproveitamento médio do cavaco de madeira foi de 22%, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Comparativo entre os rendimentos de carvão ativado 550 °C e 650 °C

Temperatura de pirólise (°C)	Rendimento do carvão (%)	Outros autores	
		Pedroza et al. (2023) (a)	Maia (2020) (b)
550	23,5	25,99	33,10
650	20,5	-	30,40
Rendimento médio (%)	22	25,99	31,75

Fonte: Autor (2025)

A produção de carvão ativado pode ocorrer a partir de qualquer substância orgânica com alto teor de carbono em sua composição, sendo esses carvões amplamente utilizados como adsorventes (DE AGUIAR LINHARES, MARCÍLIO, MELO, 2016). Desse modo, observa-se a eficiência produtiva obtida neste trabalho em comparação com a literatura analisada. Com base no rendimento médio constatado e nos dados de perda de massa, estima-se que uma tonelada de cavaco de madeira em base seca seria capaz de produzir aproximadamente 235 kg de carvão ativado a 550 °C ou 205 kg de carvão processado a 650 °C.

5.3 Teste de Adsorção

Os dados referentes ao teste de adsorção do carvão ativado derivado do cavaco de madeira produzido a 650 °C, onde demonstra a maior taxa de adsorção (7,42 mg/g), estão apresentados na Tabela 6, incluindo a razão de adsorção (Q). A temperatura mais elevada (650 °C) provavelmente favoreceu o desenvolvimento de uma estrutura porosa mais eficiente e com maior área superficial específica, otimizando os sítios ativos para a adsorção. Esses resultados permitem avaliar a capacidade do material em adsorver o corante da solução, possibilitando uma análise comparativa com outros estudos e validando sua eficácia como adsorvente.

Tabela 6 - Resultados do ensaio de adsorção do carvão 650 °C

Exp.	Massa de carvão (g)	Concentração do corante (mg/L)	Razão de adsorção (mg/g)
1	0,40	20	1,45
2	1,00	20	0,58
3	0,40	100	7,42
4	1,00	100	2,95
5	0,40	60	4,44
6	1,00	60	1,78
7	0,70	20	0,83
8	0,70	100	4,23
9	0,70	60	2,52
10	0,70	60	2,54
11	0,70	60	2,54

Fonte: Autor (2025)

Ao inserir esses dados no software "Protimiza Experimental Design", foi desenvolvido um modelo de regressão linear que permitiu compreender como a resposta obtida variava em função da quantidade de carvão utilizado e da concentração do corante testado. Desta forma, o desempenho do carvão ativado durante a adsorção pode ser avaliado com mais detalhes.

5.3.1 Razão de adsorção (Q)

A Tabela 7 lista os coeficientes obtidos na construção do modelo baseado na variável razão de adsorção (Q). Este parâmetro está diretamente relacionado à quantidade de corante adsorvido por unidade de carvão ativado durante o processo de filtração. Portanto, valores elevados de Q são desejáveis, pois indicam que o carvão ativado é mais eficiente na remoção de corantes da solução.

Tabela 7 - Coeficientes de regressão e valores estatísticos

Nome	Coeficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
X1	-1,34	0,08	-16,45	0,0000
X1²	0,58	0,13	4,61	0,0058
X2	1,96	0,08	24,08	0,0000
X2²	0,01	0,13	0,07	0,9438
X1 • X2	-0,90	0,10	-9,04	0,0003

Fonte: Autor (2025)

Com base nos dados obtidos, pode-se estabelecer a equação de regressão linear do modelo estatístico correspondente à taxa de adsorção, conforme mostrado na Equação 8.

$$Q = 2,53 - 1,34X_1 + 0,58X_1^2 + 1,96X_2^2 + 0,01X_2^2 - 0,90X_1 \times X_2 \quad (\text{Equação 8})$$

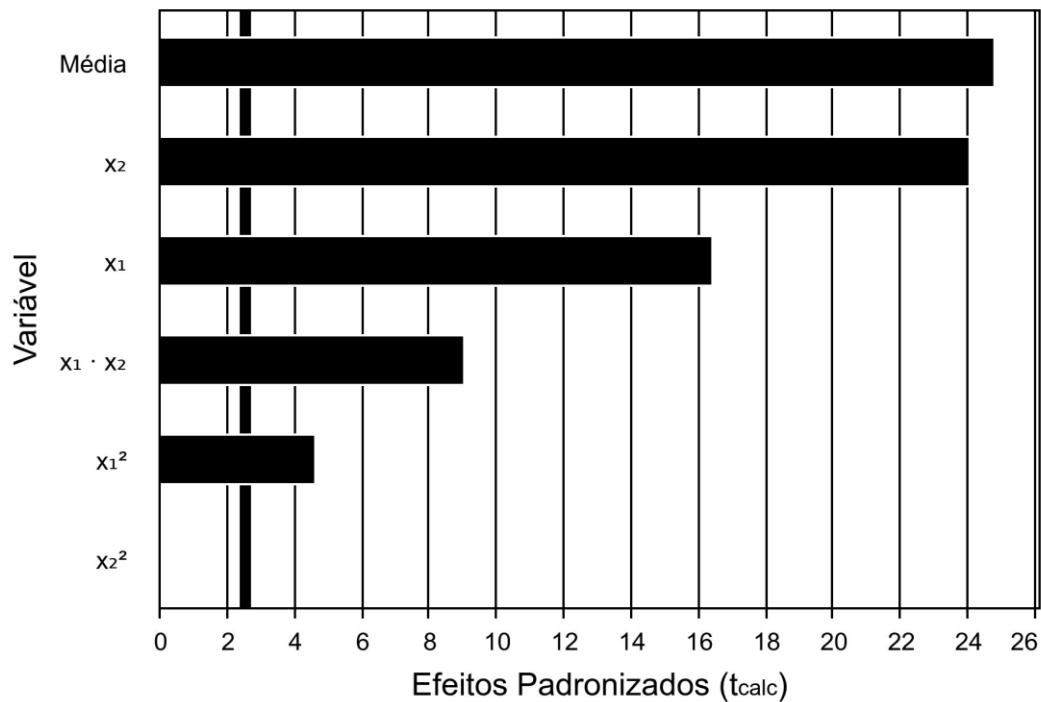
Onde:

$Q \rightarrow$ Razão de adsorção

$X_1 \rightarrow$ Massa de carvão (codificada)

$X_2 \rightarrow$ Concentração do corante (codificada)

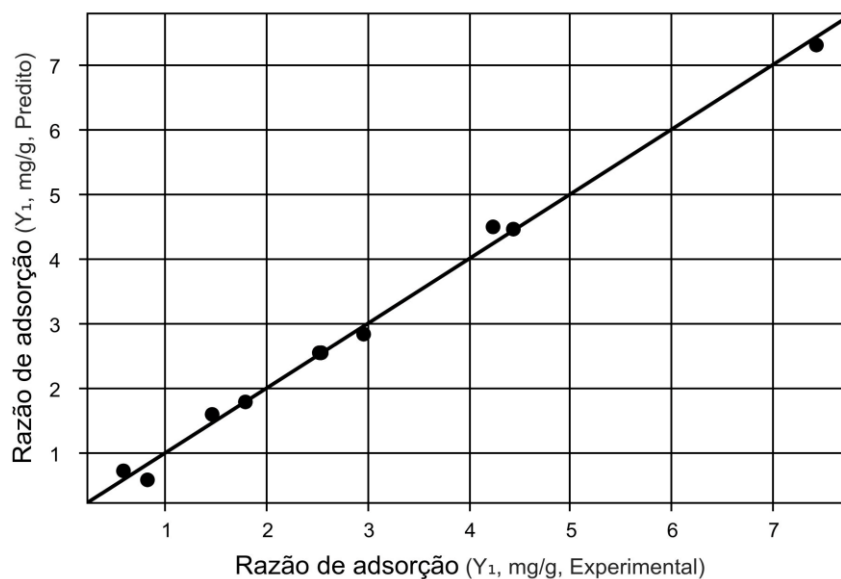
Adicionalmente, foi criado um diagrama de Pareto Gráfico 1, para destacar as variáveis e suas interações que têm maior impacto no processo de adsorção. Portanto, com base no valor p de baixa correlação e na análise do gráfico de Pareto, pode-se observar que a concentração de azul de metileno (X2) é a variável independente com maior impacto estatístico na resposta analítica, seguida pela qualidade do carvão (X1) usado no experimento.

Gráfico 1 - Contribuição das variáveis para a razão de adsorção

Fonte: Autor (2025)

Portanto, com base no valor p de baixa correlação e na análise do gráfico de Pareto, pode-se observar que a concentração de azul de metileno (X_2) é a variável independente com maior impacto estatístico na resposta analítica, seguida pela qualidade do carvão (X_1) usado no experimento.

Como mostrado no gráfico de predição (Gráfico 2), os dados experimentais exibem uma excelente correlação com os valores preditos do modelo, conforme indicado pela proximidade ou pelo alinhamento dos pontos sobre ou acima da diagonal de referência.

Gráfico 2 - Gráfico de predição do modelo da razão de adsorção

Fonte: Autor (2025)

A Tabela 8, a seguir, fornece os resultados ANOVA para a razão de adsorção, que contém informações sobre a significância estatística das variáveis fatoriais e interações incluídas no modelo, bem como os efeitos dos fatores.

Tabela 8 - Resultado da razão de adsorção das amostras por ANOVA

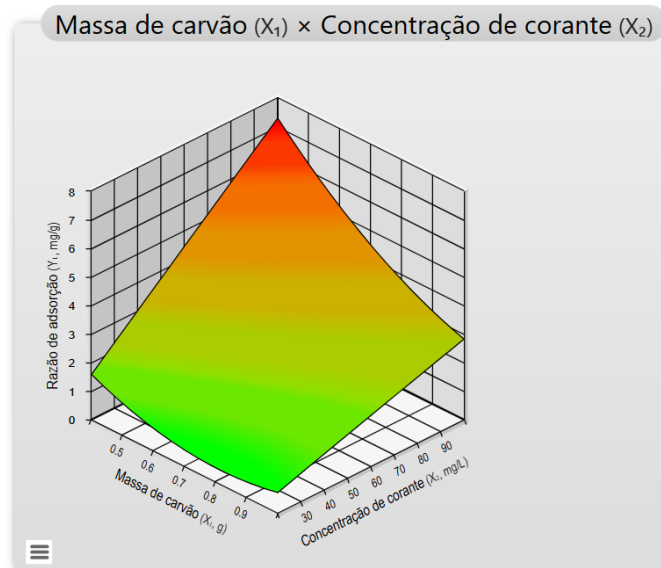
Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	p-valor
Regressão	37,8	5	7,6	191,0	0,00001
Resíduos	0,2	5	0,0	-	-
Falta de Ajuste	0,2	3	0,1	562,4	0,00178
Erro puro	0,0	2	0,0	-	-
Total	38,0	10	-	-	-

Fonte: Autor (2025)

Visto isso, o valor obtido para o coeficiente de determinação R^2 no teste ANOVA para o modelo de adsorção obtido foi 99,62%, o que é um resultado altamente satisfatório. Esse nível de R^2 significa quanto mais próximo da totalidade, maior a capacidade com que o modelo explicou a variação ajustada, o que indica a excelente qualidade do ajuste do modelo à realidade observada.

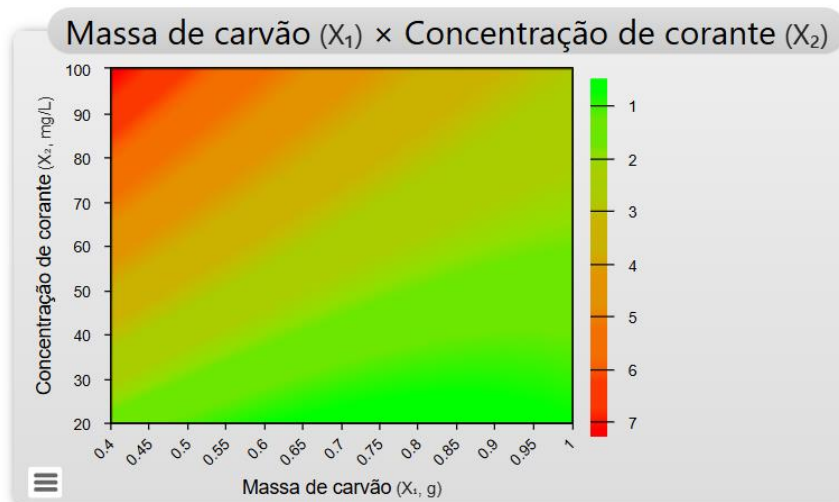
Os Gráficos 3 e 4 apresentam a relação entre as variáveis massa de carvão X_1 , concentração do corante X_2 e razão de adsorção Q . As amostras com maior eficácia na adsorção são assinaladas em tons de vermelho no gráfico, ao passo que a cor verde indica a até então menor capacidade de adsorção.

Gráfico 3 - Relação tridimensional entre a razão de adsorção e as variáveis



Fonte: Autor (2025)

Gráfico 4 - Relação entre Razão de Adsorção x Variáveis independentes



Fonte: Autor (2025)

Desta forma, ao observar o gráfico, é possível perceber que o carvão ativado se destaca na eficiência de todas as massas em questão, proporcionando ainda um melhor desempenho quando a massa utilizada é menor. Ademais, quanto maior é a concentração de azul de metileno, maior a razão de adsorção do carvão produzido a 650 °C.

6 CONCLUSÃO

Este estudo mostra que o processo de adsorção do carvão ativado produzido pode ser de viabilidade econômica e de produção para o comércio, transformando um subproduto de baixo valor agregado em um material de alta performance.

O reaproveitamento do cavaco de madeira através do processo de pirólise mostrou-se muito promissor na produção de carvão ativado e os resultados alcançados foram satisfatórios. Esses atributos fortalecem o potencial desse resíduo como matéria-prima economicamente viável para produção de carvão ativado.

O carvão ativado obtido a 650 °C apresentou a maior taxa de adsorção (7,42 mg/g) utilizando a quantidade mínima de massa de carvão experimentada (0,40 g). Além disso, o processo termoquímico apresentou bons rendimentos, superiores a 20%, o que está de acordo com os valores encontrados na literatura.

Portanto, este estudo demonstra que o cavaco de madeira pode ser reaproveitado por meio da produção de carvão ativado, sugerindo que esta é uma solução eficaz. Além disso, a partir do cavaco de madeira e sua subsequente aplicação na adsorção de corantes não apenas oferece uma solução inovadora para o gerenciamento de resíduos, mas também se consolida como uma tecnologia-chave na remediação ambiental, promovendo a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Marlon Brando Bezerra de. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico. 2008. 167 f.** 2008. Tese de Doutorado. Tese (Mestrado)– Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ASTM D3173-87. **Standard Method for Determination of Moisture Content in Biomass, Society of Testing Materials International.** West Conshohocken, 2003.

ASTM D3174-04. **Standard method for ash in the analysis sample of coal and coke.** West Conshohocken, 2004.

ASTM D3175-07. **Standard method for volatile matter in the analysis sample of coal.** West Conshohocken, 2007.

ARAÚJO, L. F.; GUIOTOKU, M. Produção de carvão ativado a partir de resíduo de ErvaMate. **XVIII Encontro de Química da Região Sul**, Curitiba, PR, 11 nov. 2010. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/877781/producao-decarvao-ativado-a-partir-de-residuo-de-erva-mate>> Acesso em: 06 jan. 2025.

ANTÁLIA. MJ 2003. **Pirólise de biomassa: uma revisão da literatura, Parte I pirólise de carboidratos, Em Avanços em Energia Solar**, (Boer, KW, Duffie, JA, Eds.), American Solar Energy Society: Boulder.

CÂNDIDO, N. R. **Produção e Caracterização de carvões de eucaliptos ativados fisicamente com CO₂ ou gás da carbonização.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/RAOABAXKNC/1/disserta_o_de_mestrado_. Acesso em: 17 jan. 2025.

CHAVES, Antonio et al. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DA MADEIRA E CARVÃO VEGETAL DE CLONES DE Eucalyptus spp. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

COUTO, G. M. et al. Utilização de serragem de *Eucalyptus* sp. na preparação de carvões ativados. **SciELO**. Lavras, V. 36, n. 1, p. 69-77, jan./fev., 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/VDHfkcNZJKQxkn6MQm6GWcp/?lang=en>. Acesso em: 20, jan. 2025.

COSTA, L. M. F. **Adsorção do Diclofenaco Sódico Utilizando Carvão Ativado Obtido a partir de Resíduo de Estação de Tratamento de Efluentes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2022.

COSTA, J. R.; ALMEIDA, S. F.; PEREIRA, M. A. **Aproveitamento do cavaco de madeira para produção de carvão ativado**. Revista de Materiais Sustentáveis, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2021.

DE AGUIAR LINHARES, Felipe; MARCÍLIO, Nilson Romeu; MELO, Pedro Juarez. Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química. **Scientia cum Industria**, v. 4, p. 74-79, 2016.

DIONIZIO, A. F. **Aproveitamento energético de resíduos agroindustriais no Distrito Federal**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

DO VALE, Ailton Teixeira et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

DUTTA, B. K. **Principles of Mass Transfer and Separation Processes**. Nova Delhi: PHI Learning, 2009.

FERNANDES, Iara J. et al. Caracterização do resíduo industrial casca de arroz com vistas a sua utilização como biomassa. **6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, p. 1-9, 2015.

FERREIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. C.; MOURA, L. P. **Estudo da ativação do carvão a partir de resíduos de madeira para aplicações ambientais.** Journal of Environmental Chemistry, v. 15, n. 3, p. 89-102, 2023.

GORGULHO, H. F.; MESQUITA, J. P.; GONÇALVES, F.; PEREIRA, M. F. R.; FIGUEIREDO, J. L. Characterization of the surface chemistry of carbon materials by potentiometric titrations and temperature-programmed desorption. **Carbon**, Oxford, 46, 12, 1544-1555, 2008.

GHEDIN, Sara. **Remoção dos corantes têxteis Índigo Carmim e Azul de Metileno pelo processo de adsorção utilizando pirita.** 2022. Dissertação (Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/236300/PGES0043-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 dez. 2023.

OLIVETTI NETO, Aldo. **Qualidade de Cavacos de Eucalipto para Obtenção de Celulose Kraft.** In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 2002, [s.l.]. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2002_Qualidade_Cavacos.pdf

OLIVEIRA, L. S.; SOUZA, D. M.; MARTINS, C. A. **Remoção de corantes em soluções aquosas utilizando carvão ativado.** Revista de Tecnologia e Inovação Ambiental, v. 7, n. 1, p. 32-47, 2022.

PEDROZA, M. M. et al. Activated charcoal production from tree pruning in the Amazon region of Brazil for the treatment of gray water. **Journal of applied research and technology**, v. 19, n. 1, p. 49–65, 2021.

PEREIRA, Thiago Voigtlander; SEYE, Omar. Caracterização física termica de biomassa local. **Cana**, v. 45, n. 43, p. 5-71, 2014.

PROAMBIENTAL TECNOLOGIA. **Você sabe a importância do tratamento de resíduos para sua empresa?** Disponível em: <https://www.proambientaltecnologia.com.br/voce-sabe-a-importancia-do-tratamento-de-residuos-para-sua-empresa/>.

PIRES, A. A. F. **Resíduos lignocelulósicos para biocombustíveis sólidos: caracterização e termogravimetria aplicada.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2013.

RAMOS, Paulize H.; GUERREIRO, Mário C.; RESENDE, Eliane C. de; GONÇALVES, Maraísa. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/w6BHggfdpdZqMGr7HwmJ4wf/>.

RIOS, N. G., Pécora, J. C. L., & Sales, D. (2015). **Carvão ativado: produção e obtenção de suas características.** *Ciência e Natura*, 37(3), 840-866.

SALMERON. **O que é Cavaco de Madeira? Para que serve e suas aplicações.** Disponível em: <https://gruposalmeron.com.br/cavaco-madeira-como-funciona-para-que-server-e-suas-aplicacoes/>, 2022.

SANCHEZ, M. E., MENÉNDEZ, J. A., DOMÍNGUEZ, A., PIS, J. J., MARTÍNEZ, O., CALVO, L. F., BERNAD, P. L. **Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge.** *Biomass and Bioenergy*, 33, p.933-940, 2009.

SANTOS, P. H.; LIMA, J. B.; FREITAS, R. F. **Produção e caracterização de carvão ativado a partir de biomassa.** *Revista Brasileira de Engenharia Química*, v. 26, n. 4, p. 110-124, 2019.

VIEIRA, Ana Carla. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas.** *Universidade Estadual do Oeste do Paraná*, 2012.

YANG H, Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C. **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis.** *Fuel*. 2007; 86(12-13) :1781-88. doi:10.1016/j.fuel.2006.12.013.

ZENI, M., Santos, V. M. R. D., Rodrigues, A. P., & Dallago, R. M. (2020). **Características de biomassa em carvão ativado obtido do mesocarpo do coco verde.** *Revista Agrogeoambiental*, 12(1), 197-204.