



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

LEYANDERSON CARLOS RODRIGUES SILVA

**ADSORÇÃO DE CORANTE QUÍMICO EM CARVÃO ATIVADO DE COCO
BABAÇU**

**PALMAS
2025**

LEYANDERSON CARLOS RODRIGUES SILVA

**ADSORÇÃO DE CORANTE QUÍMICO EM CARVÃO ATIVADO DE COCO
BABAÇU**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

PALMAS

2025

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

R696a Rodrigues Silva, Leyanderson Carlos
 Adsorção de corante químico em carvão ativado de coco babaçu /
 Leyanderson Carlos Rodrigues Silva. – Palmas, TO, 2025.
 41 p.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)
 – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins -
 IFTO, Palmas, TO, 2025.

 Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza.

 1. Carvão ativado. 2. babaçu. 3. Pirolise. I. Pedroza, Marcelo Mendes.
 II. Título.

CDD 624

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

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

LEYANDERSON CARLOS RODRIGUES SILVA

ADSORÇÃO DE CORANTE QUÍMICO EM CARVÃO ATIVADO DE COCO
BABAÇU

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

Aprovado em: 02 / 07 / 2025

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza (IFTO)
Orientador



Profa. Dra. Elaine da Cunha Silva Paz (IFTO)



Profa. MSc. Evanuzia Miranda da Silva (IFTO)

DEDICATÓRIA

Dedico a realização desse grande feito para toda minha família, meu pai Luís Carlos, minha mãe Bernaldina, meu irmão Leydson e todos aqueles que sempre torceram e me apoiaram nessa jornada cheia de altos e baixos, porém finalizada com grande êxito graças a contribuição de todos. Eterna gratidão a cada um, amo todos vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradecer principalmente a Deus por ter sempre me dado forças em todos os momentos, me abençoado e guiado para passar por todos os obstáculos e conclusão dessa etapa importante em minha vida.

Aos meu país, Luís Carlos e Bernaldina, pela paciência e compreensão que tiveram apesar de todos os percalços e acima de tudo pelo apoio que sempre deram. Em especial meu pai que sempre foi minha inspiração para me moldar no homem que almejo ser. Obrigado por tudo meu objetivo sempre foi dar orgulho a essas pessoas mais que especiais em minha vida.

A toda minha família, tios, tias, primos, primas, especialmente aos meu padrinho Jair e minha madrinha Maria Luiza por terem me auxiliado e apoiado tanto quando me mudei para Palmas para iniciar essa jornada tão enriquecedora. Não poderia deixar de mencionar minha prima Maila que considero como Irmã, sempre me ajudando no que fosse.

Não poderia esquecer de mencionar meu compadre Guilherme e minha comadre Brenda, sempre me escutando e torcendo por mim, obrigado serei sempre grato.

Agradecer ao Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedrosa, meu orientador, que não mediu esforços para me ajudar nessa etapa do curso, com colaboração e grande profissionalismo.

Aos meus grandes amigos que sempre estiveram comigo, em todos os momentos, Marcus, Giovana Rissatti, Laryssa, Hiure, Isabella, Renato e Ítalo, contribuíram de forma incalculável para o êxito desse desafio e por ter tornado essa árdua jornada mais leve e descontraída, amizades que irei levar no meu coração por toda minha vida.

A todos os professores do curso por ter compartilhado todo seu conhecimento para nos alunos, muito obrigado a todos vocês.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), campus Palmas, que proporcionou toda experiencia e anos de convívio.

Não poderia esquecer da Atlético Concreta que me proporcionou tantos momentos de descontração e alegria durante o curso, por muitos momentos sendo responsável por deixar nós alunos mais à vontade durante os períodos.

A Jackeliny Matias por se tornar uma pessoa tão especial, sempre me aconselhando e apoiando, te amo muito, obrigado.

A todos aqueles que posso não ter lembrado de mencionar, mas que de alguma maneira contribuíram para a finalização com êxito desse sonho, serei eternamente grato, a todos o meu mais sincero obrigado!

*“Às vezes a felicidade demora a chegar; Aí é
que a gente não pode deixar de sonhar;
Guerreiro não foge da luta e não pode correr;
Ninguém vai poder atrasar quem nasceu pra
vencer”.*

(Grupo Revelação)

RESUMO

A crescente demanda por soluções sustentáveis no tratamento de águas e o alto volume de resíduos gerados por atividades agroindustriais motivam a busca por alternativas que aliem eficiência, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental. Neste contexto, o presente trabalho tem como proposta principal investigar o potencial do resíduo do coco babaçu, abundante em regiões como o Tocantins, na produção de carvão ativado para a remoção de corantes químicos presentes em águas contaminadas. A pesquisa teve início com a coleta do resíduo na região do Bico do Papagaio (TO), onde o babaçu é amplamente explorado. Em laboratório, o material passou por processos de secagem, trituração e caracterização físico-química. Em seguida, foi submetido à pirólise em reator de leito fixo, operando a 650 °C, para a produção do carvão ativado. Após o processo, o carvão obtido foi novamente caracterizado, revelando propriedades importantes para sua aplicação como adsorvente: teor de umidade de 5,84%, cinzas em 19,70%, material volátil de 16,24% e um expressivo teor de carbono fixo, de 58,22%, indicando alto grau de carbonização e estrutura adequada para retenção de contaminantes. A etapa seguinte envolveu testes de adsorção utilizando o corante azul de metileno em soluções aquosas. Por meio do planejamento experimental do tipo Delineamento de Faces Centradas (DFC), foi possível avaliar a influência da massa de carvão e da concentração do corante na eficiência do processo. Os melhores resultados foram obtidos com a menor massa de carvão (0,20 g) e maior concentração de corante (100 mg/L), atingindo uma razão de adsorção de 14,96 mg/g. Os resultados evidenciam que o carvão ativado produzido a partir do babaçu tem alto potencial como material adsorvente, especialmente em soluções com baixa carga de contaminantes. Além de contribuir para a preservação ambiental e valorização de resíduos regionais, o estudo reforça a importância de tecnologias acessíveis e sustentáveis no enfrentamento da escassez de água potável.

Palavras-chave: Babaçu. Biomassa. Pirólise. Carvão ativado. Adsorção.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable water treatment solutions and the high volume of waste generated by agro-industrial activities motivate the search for alternatives that combine efficiency, economic viability and environmental responsibility. In this context, the main purpose of this study is to investigate the potential of babassu coconut residue, abundant in regions such as Tocantins, in the production of activated carbon for the removal of chemical dyes present in contaminated water. The research began with the collection of the residue in the Bico do Papagaio region (TO), where babassu is widely exploited. In the laboratory, the material underwent drying, grinding and physical-chemical characterization processes. It was then subjected to pyrolysis in a fixed bed reactor, operating at 650°C, for the production of activated carbon. After the process, the obtained charcoal was characterized again, revealing important properties for its application as an adsorbent: moisture content of 5.84%, ash content of 19.70%, volatile matter of 16.24% and a significant fixed carbon content of 58.22%, indicating a high degree of carbonization and a structure suitable for retaining contaminants. The next step involved adsorption tests using methylene blue dye in aqueous solutions. Through the experimental planning of the Centered Face Delineation (DFC) type, it was possible to evaluate the influence of the charcoal mass and the dye concentration on the efficiency of the process. The best results were obtained with the lowest charcoal mass (0.20 g) and highest dye concentration (100 mg/L), reaching an adsorption ratio of 14.96 mg/g. The results show that the activated charcoal produced from babassu has high potential as an adsorbent material, especially in solutions with low contaminant load. In addition to contributing to environmental preservation and the valorization of regional waste, the study reinforces the importance of accessible and sustainable technologies in addressing the shortage of drinking water.

Keywords: Babassu. Biomass. Pyrolysis. Activated carbon. Adsorption.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estados do Brasil que se destacam na produção do babaçu	18
Tabela 2 – Fatores e níveis utilizados.	26
Tabela 3 – Ordem dos experimentos no planejamento experimental	27
Tabela 4 – Comparativo entre resultados de análises da biomassa	31
Tabela 5 – Rendimento do carvão ativado a 650 °C	31
Tabela 6 – Comparativo entre resultados de análises do carvão obtido com o de outros autores.....	32
Tabela 7 – Resultados do ensaio de adsorção do carvão 650 °C	33
Tabela 8 – Coeficientes de regressão e valores estatísticos.....	34
Tabela 9 – Resultado da razão de adsorção das amostras por ANOVA.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Partes componentes do babaçu observados por meio de um corte transversal	16
Figura 2 – Municípios do Tocantins que se destacam na produção do babaçu.....	17
Figura 3 – Procedimentos realizados no decorrer da pesquisa	20
Figura 4 – Estufa utilizada para secagem da amostra	21
Figura 5 – Reator de leito fixo utilizado no ensaio de pirólise.....	24
Figura 6 – Autoclave utilizado no ensaio de pirólise	24
Figura 7 – Mesa agitadora orbital tecnal modelo “ShakerTE 141”.....	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Contribuição das variáveis para a razão de adsorção	35
Gráfico 2 – Gráfico de predição do modelo da razão da adsorção	36
Gráfico 3 – Relação tridimensional entre a razão de adsorção e as variáveis	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
3 JUSTIFICATIVA.....	14
4 OBJETIVOS	15
4.1 Objetivo Geral.....	15
4.2 Objetivos Específicos	15
5 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
5.1 Características Fisiológicas do Babaçu	16
5.2 Produção do Babaçu no Tocantins e no Brasil	16
5.3 Biomassa para o Carvão Ativado	18
5.4 Degradação Termoquímica.....	18
5.5 Experiências com Pirólise do Resíduo do Babaçu.....	19
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
6.1 Coleta do Resíduo.....	21
6.2 Caracterização da Biomassa	21
6.2.1 Umidade.....	22
6.2.2 Teor de Cinzas.....	22
6.2.3 Material Volátil.....	23
6.2.4 Teor de Carbono Fixo.....	23
6.3 Pirólise do Resíduo do Babaçu	24
6.4 Caracterização do Carvão	25
6.4.1 Umidade.....	25
6.4.2 Teor de Cinzas.....	25
6.4.3 Material Volátil.....	25
6.4.4 Teor de Carbono Fixo.....	25
6.5 Ensaio de Adsorção	26
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
7.1 Caracterização da Biomassa do Caoco Babaçu <i>in Natura</i>	29
7.1.1 Análise Imediata da Biomassa do Coco Babaçu.....	29
7.2 Ensaio de Pirólise	29
7.2.1 Rendimento do Carvão Ativado	31
7.3 Caracterização do Carvão Ativado.....	31
7.4 Ensaio de Adsorção.....	33
7.4.1 Razão de Adsorção (Q).....	34
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as agroindústrias têm investido no aumento de sua capacidade de processamento, o que gera grandes quantidades de subprodutos, sendo alguns reaproveitados como ração animal. Entretanto, em muitos casos, esses subprodutos são vistos como um custo operacional para as empresas, levando ao descarte de grandes volumes, o que contribui para a contaminação ambiental (Melo *et al.*, 2011).

Nesse contexto o babaçu é um dos principais produtos da extração vegetal no Brasil. As florestas secundárias formadas pelos babaçuais estão localizadas na região de transição entre a Amazônia, o Cerrado e o Nordeste semiárido, onde vive um dos maiores contingentes do campesinato do país (Porro, 2019).

Dessa forma, buscam-se alternativas sustentáveis de descarte ou meios para o melhor aproveitamento dessa biomassa residual. Com isso, uma das alternativas apresentadas para o aproveitamento desse resíduo é a produção de carvão ativado (Schultz, 2016), que é um material altamente adsorvente, eficaz e muito utilizado para o tratamento de águas residuais (Pereira, 2022).

Consoante a isso, o consumo de água doce cresceu seis vezes no último século e continua a aumentar a uma taxa de 1% ao ano, impulsionado pelo crescimento populacional, pelo desenvolvimento econômico e pelas mudanças nos padrões de consumo (ONU, 2021). Nesse sentido, evidencia-se a necessidade de desenvolvimento de métodos e tecnologias para possibilitar o acesso à água por mais pessoas.

Dessa maneira, destaca-se, que a utilização do resíduo proveniente do babaçu para a produção de carvão ativado, se torna uma saída interessante tanto para a economia, como para o meio ambiente.

Portanto, por meio do processo de degradação termoquímica (pirólise), realizada na ausência parcial ou total de oxigênio, é possível transformar a biomassa residual do babaçu em carvão ativado. Por consequência, o presente trabalho tem como objetivo degradar o resíduo do babaçu, caracterizar o carvão obtido e aplicar o carvão ativado em um processo de adsorção de corante químico.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

A expressiva quantidade de resíduos gerados pela indústria, principalmente a alimentícia e a redução da disponibilidade de água potável são questões significativas no mundo. Atrelado a isso, garantir um futuro energético sustentável é um dos maiores desafios para a sociedade neste século, devido a diversos fatores sociais, tecnológicos, econômicos e políticos relacionados ao progresso e à exploração dos recursos naturais (Hosenuzzaman *et al.*, 2015).

Dessa forma, seria viável, eficiente e sustentável a utilização da biomassa residual do babaçu para a produção de carvão ativado através do processo de degradação térmica e aplicá-lo em um processo de adsorção de corante químico?

3 JUSTIFICATIVA

Segundo levantamento realizado pelo IBGE, em 2022, foram produzidas cerca de 30 mil toneladas de babaçu. Além disso, em 334 municípios (no Maranhão, Pará, Tocantins, Piauí e Bahia) ainda existem 12,5 milhões de hectares de babaçuais (Porro, 2019).

Dessa forma, buscam-se alternativas para a utilização dessa biomassa residual do babaçu. Vale salientar, que a biomassa é apontada como a maior fonte de energia renovável (Rodrigues, 2019), tornando-se um dos principais fatores que justificam o interesse da pesquisa. Portanto, deseja-se estudar as características dos produtos obtidos através da pirólise do resíduo do babaçu, com foco no carvão ativado para a adsorção de corante químico no tratamento de água.

4 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a degradação termica do coco babaçu por pirolise em reator de leito fixo para produção de carvão ativado, processo de degradação térmica do coco babaçu.

Objetivos Específicos

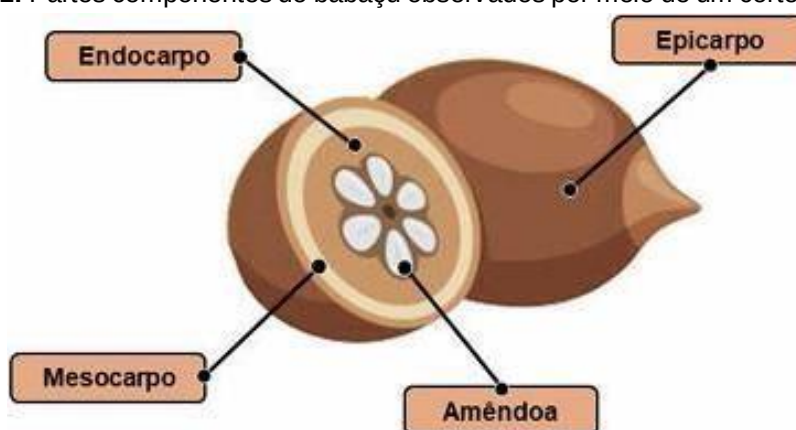
- Caracterizar a biomassa do coco babaçu quanto as características fisico-químicas;
- Realizar a pirólise da biomassa em reator de leito fixo para produzir carvão ativado;
- Determinar as características do carvão ativado obtido após a pirólise;
- Aplicar o carvão ativado em um processo de adsorção de corante químico.

5 REVISÃO DE LITERATURA

Características Fisiológicas do Babaçu

O fruto de babaçu é composto por quatro partes (Figura 1): **epicarpo**, que representa cerca de 15% do peso do fruto e é formado por fibras com alto poder calorífico; **endocarpo**, responsável por 60% do peso do fruto, também com elevado poder calorífico, sendo utilizado na produção de carvão; **mesocarpo**, que corresponde a aproximadamente 20% do fruto e é composto por 60% de amido, sendo destinado principalmente à fabricação de ração animal; e **amêndoas**, que representam de 6 a 7% do peso do fruto e contêm um teor de óleo superior a 60.

Figura 1: Partes componentes do babaçu observados por meio de um corte transversal.



Fonte: Santos *et al.* (2023).

A amêndoa é a parte do fruto mais amplamente utilizada, da qual se extrai um óleo rico em ácidos láuricos. Esse óleo é empregado como óleo de cozinha e na produção de sabão, sabonetes, combustíveis, lubrificantes e cosméticos em geral (Lorenzi *et al.*, 1996). As outras partes do fruto também têm diversas aplicações. As folhas são utilizadas na fabricação de telhados para casas, cestas e outros produtos artesanais. O palmito e a seiva podem ser consumidos na alimentação humana. O caule ou estipe pode ser aproveitado em estruturas de construção e, quando em decomposição, utilizado como adubo (Lorenzi, 2002; Silva, 2008).

Produção de Babaçu no Tocantins e no Brasil

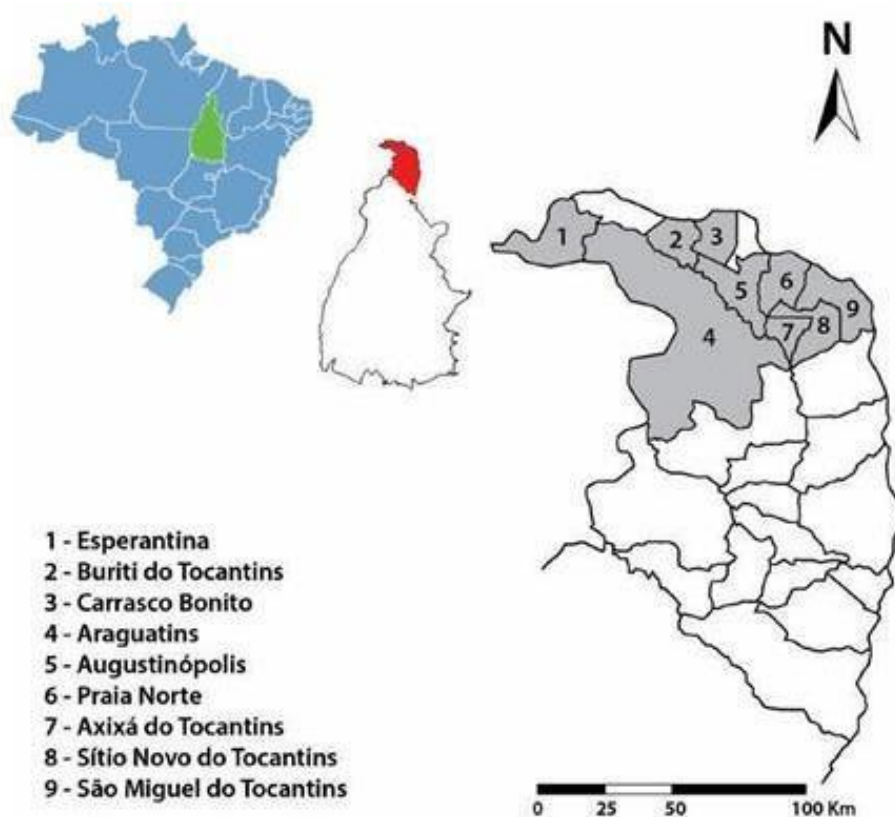
O babaçu (*Orbignya Phalerata Martius*) é uma palmeira oleaginosa nativa do Brasil, com uma vasta distribuição, abrangendo principalmente os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Mato Grosso (Lorenzi *et al.*, 1996).

Nessas regiões, observa-se uma grande variabilidade no porte da planta, produtividade e características dos frutos e amêndoas, entre outros fatores.

Segundo levantamento do IBGE, em 2022, foram produzidas 30.478 toneladas de babaçu, com um valor de produção de R\$ 71,295 milhões, totalmente proveniente do extrativismo e da agricultura familiar, em 334 municípios (no Maranhão, Pará, Tocantins, Piauí e Bahia) ainda existem 12,5 milhões de hectares de babaçuais.

No Tocantins, o babaçu pode ser observado em boa parte dos municípios a partir do centro do estado. Entretanto, é na microrregião conhecida como Bico do Papagaio que os babaçuais se destacam ainda mais ativos na paisagem (figura 2).

Figura 2: Municípios do Tocantins que se destacam na produção do babaçu.



Fonte: IPHAN (2017).

No cenário nacional o destaque de produção é o estado do Maranhão, como pode ser observado na Tabela 1:

Tabela 1: Estados do Brasil que se destacam na produção do babaçu.

Produção do Babaçu em Toneladas			
Estados	2014	2015	2016
Ceará	254	185	179
Bahia	268	273	249
Tocantins	271	231	257
Piauí	3.787	3.640	3.500
Maranhão	79.305	73.640	57.191

Fonte: adaptado de IBGE (2017).

Biomassa para o Carvão Ativado

A utilização de biomassa no Brasil é de extrema importância devido à intensa atividade agrícola e à grande geração de resíduos agroindustriais. A solução para esse problema representa um desafio significativo para os pesquisadores, e os processos desenvolvidos devem visar não apenas a redução desses resíduos, mas também a valorização desses materiais.

Biomassa pode ser definida como toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal, enquanto biomassa energética refere-se aos materiais que, por serem biomassa, podem ser aproveitados para a geração de energia (Mesa-Pérez, 2004).

A agricultura brasileira gera uma grande quantidade de resíduos vegetais, incluindo caule, folhas, cascas e biomassa. Esses materiais apresentam características variadas e, diante do problema ambiental causado pela produção excessiva de resíduos, a reutilização dos subprodutos dessa atividade torna-se fundamental, agregando valor ao processo (Pereira, 2022).

Degradação Termoquímica

Diante dos desafios relacionados à demanda mundial por combustíveis fósseis, a degradação termoquímica da biomassa, a pirólise, ganha destaque, processo esse que possibilita a conversão de materiais orgânicos em gás, óleo e carvão, substâncias de alto valor energético, essenciais para atender às crescentes demandas energéticas globais.

Define-se pirólise como sendo a degradação termoquímica da matéria orgânica na ausência parcial ou total de oxigênio, comumente empregado em temperaturas que variam de 300 a 1000°C (Pedroza *et al.*, 2014). A pirólise pode ser classificada em convencional e rápida, sendo que elas se diferenciam em aspectos como taxa de aquecimento, temperatura, tempo de residência das fases sólida e gasosa, e os produtos desejados. O processo de pirólise convencional é utilizado especificamente para a produção de carvão (Pedroza, 2011).

Experimentos com Pirólise do Resíduo do Babaçu

A conversão termoquímica da biomassa de coco de babaçu foi realizada com o objetivo de produzir e caracterizar o carvão vegetal, utilizando-se temperaturas superiores a 400 °C ao longo de todo o processo (Silva, 2022). Com isso, chegou à conclusão que a absorbância, porosidade e análise termogravimétrica observada no carvão vegetal define-o com propriedades desejáveis para a produção de carvão ativado.

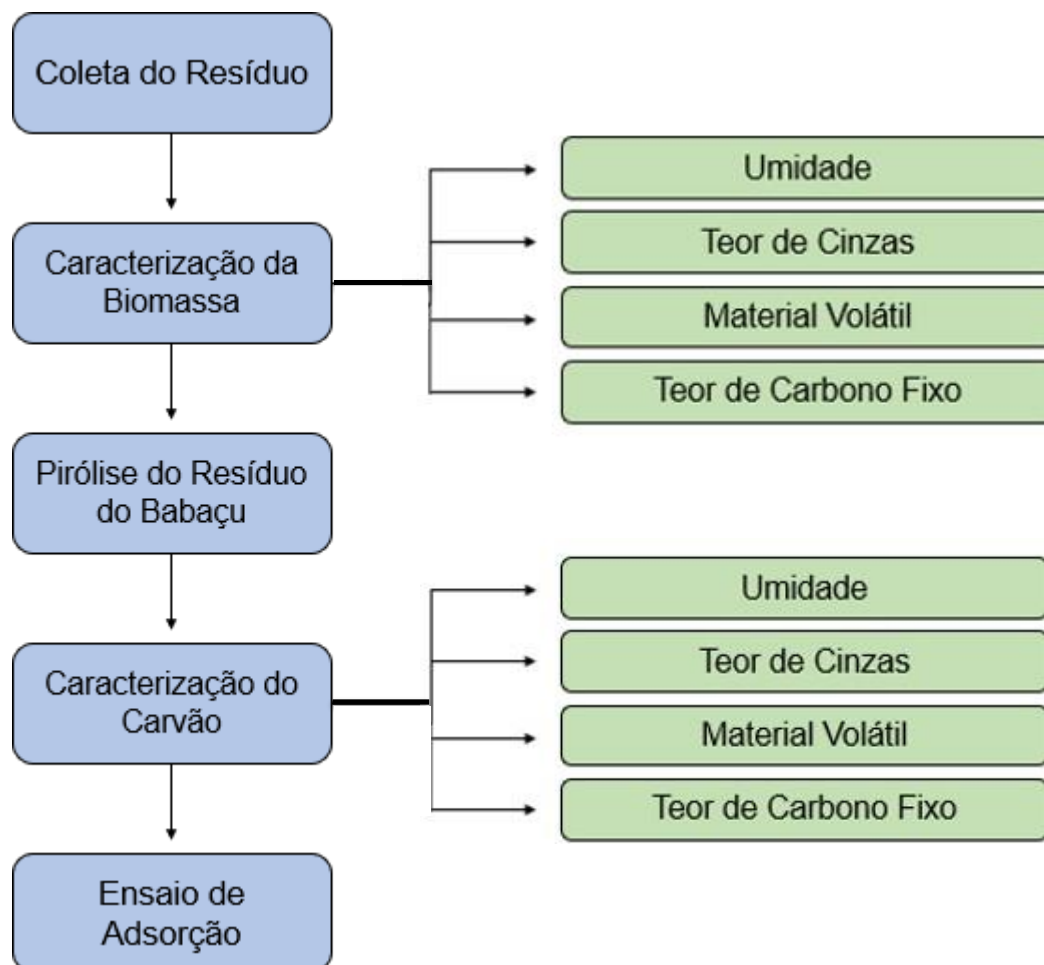
O potencial de adsorção do carvão obtido por meio da pirólise da biomassa de babaçu foi avaliado em estudo realizado por Sousa (2018). Através da realização dessa avaliação mostrou-se que o endocarpo do coco babaçu, quando submetido a pirólise, tem grande potencial adsorptivo e deve ser melhor explorado. Na produção do carvão ativado, o rendimento obtido foi de 34%, superior ao encontrado na literatura para materiais semelhantes.

Além disso, os estudos cinéticos mostraram que o A pirólise do epicarpo do babaçu foi realizada com o objetivo de obter carvão ativado, conforme descrito por Pires (2021). O biocarvão obtido passou por processo de ativação física, com o propósito de aumentar a área superficial do carvão. Posteriormente, foi utilizado em ensaios de adsorção com o corante azul de metileno e tartrazina em soluções aquosas. Os resultados mostraram bons coeficientes de remoção para o azul de metileno 99,6% (m/m), e capacidade baixa remoção de tartrazina 47,6% (m/m) em comparação.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo e os ensaios experimentais de caracterização da amostra foram realizados no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do Instituto Federal do Tocantins (IFTO), *Campus* Palmas. Nesse tópico será apresentado a preparação, os materiais utilizados, a metodologia e os procedimentos que foram realizados para a obtenção do carvão ativado através da pirólise da biomassa residual do babaçu. Os procedimentos realizados nessa pesquisa estão apresentados na Figura 3.

Figura 3: Procedimentos realizados no decorrer da pesquisa.



Fonte: Autoria Própria (2025).

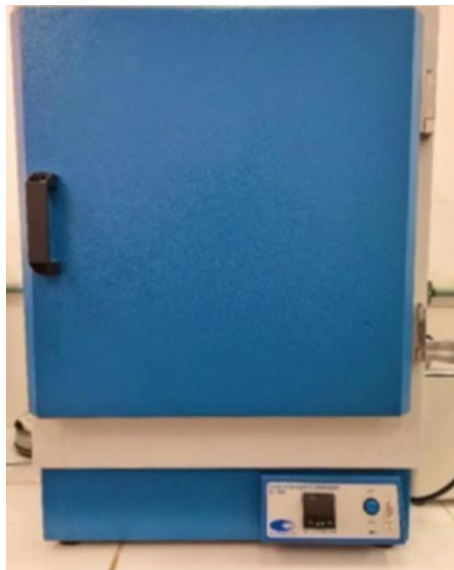
Coleta do Resíduo

A coleta do material foi realizada na cidade de Tocantinópolis localizada na região do Bico do Papagaio, interior do estado do Tocantins, pois, foi observado uma grande produção do babaçu nessa região, devido a presença da empresa Tobasa Bioindustrial de Babaçu, pioneira no desenvolvimento de tecnologias e processos para o extrativismo florestal e aproveitamento do coco babaçu.

Caracterização da Biomassa

Nessa etapa o resíduo do babaçu passou por procedimentos para se determinar a umidade, o teor de cinzas, o material volátil, o teor de carbono fixo, a densidade e realizou-se um ensaio de cinética de perda de massa da amostra *in natura*. Inicialmente a amostra foi seca em uma estufa (Figura 4) a uma temperatura de 60°C, e posteriormente foi triturada em um liquidificador industrial. A parte da amostra utilizada foi aquela referente ao material passante na peneira de malha 16 e retida na peneira de malha 20.

Figura 4: Estufa utilizada para secagem da amostra.



Fonte: Pereira (2022).

Umidade

A determinação do teor de umidade foi realizada conforme a norma ASTM D 3173-87. Para isso, foi pesada uma quantidade aproximada de 1g de resíduo de babaçu triturado, e colocada em um cadinho de porcelana com peso constante previamente determinado. Em seguida, a amostra foi aquecida em uma estufa a 105 °C por 1 hora. Após esse tempo, o cadinho foi transferido para um dessecador e deixado por 15 minutos antes da pesagem. Esse procedimento foi repetido em triplicata, e o teor de umidade calculado conforme a Equação 1, apresentada a seguir:

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

Onde:

A = peso do cadinho vazio + peso da amostra (em gramas);

B = peso do cadinho + peso amostra pós-aquecimento na estufa (em gramas);

C = peso da amostra (em gramas).

Teor de Cinzas

Para determinar o teor de cinzas, seguiu-se o método descrito por Sanchez *et al.* (2009), no qual uma amostra de aproximadamente 1g de resíduo do babaçu triturada foi adicionada em triplicata a cadinhos de porcelana com peso constante previamente determinado. A amostra foi calcinada a cerca de 710 °C por 60 minutos em um forno mufla da marca EDG Equipamentos, modelo W-One. Após a calcinação, os cadinhos foram transferidos para um dessecador, onde permaneceram por 1 hora para esfriar, antes de serem pesados. O teor de cinzas foi calculado conforme a norma ASTM D 2415:2020, e os resultados foram obtidos por meio da Equação 2, apresentada a seguir:

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

Onde:

A = peso do cadinho vazio + peso da amostra (em gramas);

B = peso do cadinho + peso amostra pós-aquecimento na estufa (em gramas);

C = peso da amostra (em gramas).

Material Volátil

Para a determinação do teor de material volátil da biomassa do resíduo do babaçu, seguiu-se o método proposto por Sanchez *et al.* (2009), que prevê a realização do processo em triplicata, com uma amostra de aproximadamente 1g pesando em um cadinho de porcelana com peso constante previamente determinado. A amostra foi aquecida em um forno mufla a 850° C, na ausência de oxigênio, por um período de 7 minutos. O teor de material volátil foi calculado utilizando a Equação 3:

$$\text{Material Volátil (\%)} = \left(\frac{A-B}{C} \right) * 100 \quad \textbf{(Equação 3)}$$

Onde:

A = peso do cadinho vazio + peso da amostra (em gramas);

B = peso do cadinho + peso amostra pós-aquecimento na estufa (em gramas);

C = peso da amostra (em gramas).

Teor de Carbono Fixo

Após a realização dos ensaios descritos acima, foi possível determinar o teor de carbono fixo presente na biomassa, para isso foi efetuado o cálculo da diferença descrita na Equação 4, a seguir:

$$\text{Carbono Fixo (\%)} = 100 - [\text{Umidade (\%)} - \text{Cinzas (\%)} - \text{Material Volátil (\%)}] \quad \textbf{(Equação 4)}$$

Pirólise do Resíduo do Babaçu

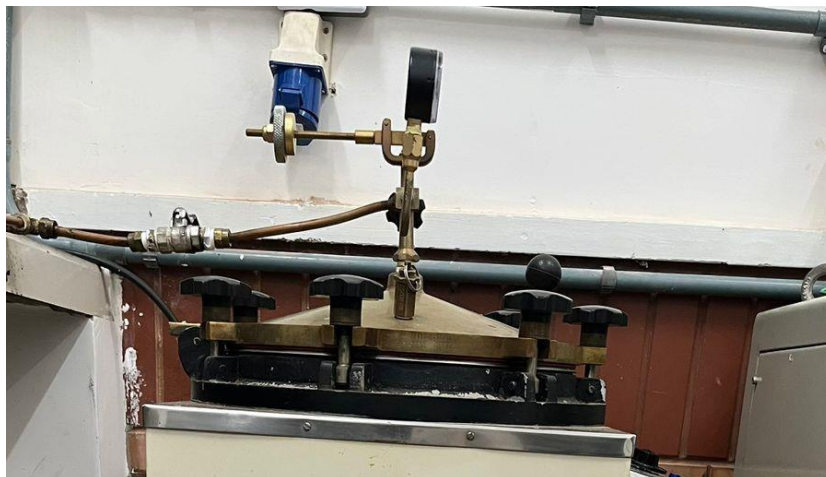
A conversão térmica foi realizada em um reator de leito fixo tubular de aço, com 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm (Figura 5). A biomassa foi introduzida no reator após ser ressecada e triturada, tendo passado por estufa a 60 °C. O reator foi aquecido por um forno bipartido reclinável (marca FLYEVER, modelo FE50RPN, linha 05/50), e o gás de arraste utilizado na reação foi o vapor de água, aquecido a uma temperatura variando entre 127 °C e 133 °C em autoclave (Figura 6).

Figura 5: Reator de leito utilizado no ensaio de pirólise.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 6: Autoclave utilizado no ensaio de pirólise.



Fonte: Autoria própria (2025).

A amostra do resíduo de babaçu triturada foi inserida em um tubo, pelo qual o vapor de água passou ao longo de todo o seu comprimento. Esse vapor transportou os produtos gasosos gerados durante a pirólise para fora do leito. Na extremidade de saída, há um sistema de condensação que converte parte dos vapores produzidos na reação em líquido.

Realizou-se teste de pirólise na temperatura de 650 °C, com tempo de reação de 30 minutos e taxa de aquecimento de 30 °C por minuto. Os produtos obtidos após o processo foram o carvão ativado e o bio-óleo.

Caracterização do Carvão

A caracterização do carvão foi realizada conforme os métodos descritos a seguir:

Umidade

O teor de umidade do carvão foi determinado conforme a norma ASTM D 3173-87, utilizando o método descrito anteriormente (item 6.2.1) para a biomassa.

Teor de Cinzas

O teor de cinzas do carvão foi determinado de acordo com o método de Sanchez *et al.* (2009), conforme descrito no item 6.2.2, aplicado à biomassa de babaçu triturada.

Material Volátil

O teor de material volátil foi obtido utilizando o método de Sanchez *et al.* (2009), conforme descrito anteriormente (item 6.2.3) para a biomassa.

Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo foi calculado pela diferença descrita na Equação 4, conforme detalhado no item 6.2.4 na caracterização da biomassa.

Ensaio de Adsorção

O teste foi realizado em uma mesa de agitação (Shaker TE 141), utilizando o carvão ativado produzido nesta pesquisa, obtido a 650 °C e com uma taxa de aquecimento de 30 °C/min. Além disso, este ensaio foi conduzido no LARSEN do IFTO - *Campus Palmas*.

A solução de corante utilizada foi o Azul de Metileno, com fórmula química $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$, sendo aplicado um volume padrão de 30 ml de solução em todos os testes. Após o ensaio de adsorção, as amostras foram filtradas em papel analítico e a concentração residual de Azul de Metileno foi determinada por espectrofotometria, a 660 nm.

Com a finalidade de identificar os diferentes valores e orientar o desenvolvimento do estudo, o experimento foi conduzido com o auxílio do software “Protimiza Experimental Design”, elaborado por Maria Isabel Rodrigues e Paulo Costa. Esse programa foi configurado com base na metodologia do Delineamento de Faces Centradas (DFC), que possibilita uma análise eficiente em um espaço multidimensional, permitindo avaliar a relação entre as variáveis dependentes (respostas) e as variáveis independentes: massa do carvão (X_1) e concentração da solução do corante (X_2).

Nesta metodologia, os fatores são codificados em três níveis distintos: (-1), (0) e (+1), correspondendo, respectivamente, aos níveis mínimo, médio e máximo, que foram utilizados nos testes conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Fatores e níveis empregados

Fatores	Unidade	Níveis		
		-1	0	1
Massa de carvão (X_1)	g	0,20	0,50	0,80
Concentração do corante (X_2)	mg/L	20	60	100

Fonte: Autoria Própria (2025).

Com o auxílio do software, definiu-se a quantidade necessária de experimentos para a análise, adotando-se uma repetição por ponto experimental e três pontos centrais, resultando em um total de 11 experimentos. Essa configuração contempla todas as combinações possíveis entre os níveis dos fatores, além das repetições nos pontos centrais.

Assim, os frascos de Erlenmeyer foram identificados e preparados de acordo com os parâmetros descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Ordem dos experimentos no planejamento experimental

Experimentos	Níveis decodificados		Níveis codificados	
	Massa de carvão (g)	Concentração do corante (mg/L)	X ₁	X ₂
1	0,20	20	-1	-1
2	0,80	20	+1	-1
3	0,20	100	-1	+1
4	0,80	100	+1	+1
5	0,20	60	-1	0
6	0,80	60	+1	0
7	0,50	20	0	-1
8	0,50	100	0	+1
9	0,50	60	0	0
10	0,50	60	0	0
11	0,50	60	0	0

Fonte: Autoria Própria (2025).

O experimento foi conduzido em uma mesa agitadora orbital, modelo Shaker TE-141 (Figura 7), operando a uma rotação constante de 30 rpm, durante um período de 30 minutos.

Figura 7 - Mesa agitadora orbital tecnal modelo “Shaker TE 141”.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Após a etapa de agitação, o conteúdo dos recipientes foi transferido para funis de vidro equipados com papel filtro qualitativo, com a finalidade de realizar a filtração, separando as partículas de carvão do corante azul de metileno já adsorvido. Em seguida, o filtrado foi submetido à análise em um espectrofotômetro, equipamento que determina a absorbância da solução em função de um comprimento de onda específico no caso do azul de metileno foi a 660 nm.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através dos ensaios de caracterização da biomassa do coco babaçu *in natura*, do ensaio de pirólise a 650°C e da caracterização do carvão obtido.

Caracterização da Biomassa do Coco Babaçu *In Natura*

Visando à caracterização da biomassa, procedeu-se à análise imediata, a qual compreende a quantificação dos teores de umidade, cinzas, carbono fixo e voláteis.

Análise Imediata da Biomassa do Coco Babaçu

A Tabela 4 a seguir apresenta os resultados da análise imediata da biomassa do coco babacu e a comparação com os resultados encontrados por outros autores.

Tabela 4 – Comparativo entre resultados de análises da biomassa.

Variável analítica	Biomassa do coco babaçu	Outros autores	
		Moraes Júnior (2022) ^(a)	Silva (2018) ^(b)
Umidade (%)	6,0	5,07	2,67
Teor de cinzas (%)	3,0	1,55	3,36
Material volátil (%)	84,0	85,47	88,01
Carbono fixo (%)	7,0	7,90	5,95

^(a) Biomassa do mesocarpo do babaçu;

^(b) Biomassa da amêndoa de babaçu degradada.

Fonte: Autoria Própria (2025).

O teor de umidade corresponde à quantidade de água presente em um material, expressa geralmente em porcentagem da massa total da amostra. Esse parâmetro é essencial na caracterização da biomassa, pois influencia diretamente suas propriedades físicas, químicas e energéticas, além de afetar processos como armazenamento, secagem e conversão térmica. Segundo Van Loo e Koppejan (2008), o teor de umidade é um fator crítico que impacta a eficiência dos processos de conversão térmica e o manejo adequado da biomassa.

Biomassas com teor de umidade inferior a 10% são consideradas adequadas para processos de transformação termoquímica (Almeida, 2008). Assim, ao se obter um teor médio de umidade de 6%, pode-se concluir que, após a secagem, a biomassa do coco babaçu apresenta-se como uma excelente matéria-prima para a realização da degradação termoquímica.

O teor de cinzas em uma biomassa corresponde à fração inorgânica que permanece após a completa queima do material em ambiente controlado, sendo composto por minerais como cálcio, potássio, magnésio e sílica. Esse parâmetro é essencial na avaliação da qualidade da biomassa, pois influencia aspectos operacionais, como a formação de incrustações, a corrosão de equipamentos e a eficiência dos processos termoquímicos. Conforme apontam Van Loo e Koppejan (2008), o teor de cinzas tem papel determinante na escolha e no desempenho da biomassa em sistemas de conversão energética. Nesse sentido, o valor de 3,0% (Tabela 4) encontrado na biomassa do coco babaçu pode ser considerado satisfatório, já que indica um baixo teor de cinzas, tornando a biomassa mais eficiente para processos energéticos.

O teor de material volátil de uma biomassa refere-se à fração de compostos orgânicos que se desprendem na forma de gases ou vapores quando o material é aquecido em ambiente controlado, na ausência de oxigênio (pirólise). Na biomassa do babaçu o material volátil encontrado foi de 84%, segundo Demirbas (2004), o conteúdo de voláteis influencia diretamente a eficiência e a estabilidade da queima, além de determinar a facilidade com que a biomassa se inflama e se converte em energia.

O teor de carbono fixo trata-se do conteúdo restante do material após processo de liberação dos materiais voláteis, retirando-se cinzas e umidade (Pereira, 2022). Com isso, o teor médio de carbono fixo da biomassa do coco babaçu *in natura* foi de 7,0 %, valor próximo ao encontrado por Moraes Júnior (2019) obteve 7,9% ao realizar o ensaio com a biomassa do mesocarpo do babaçu.

Ensaio de Pirólise

Rendimento do Carvão Ativado

A Tabela 5 a seguir apresenta o rendimento obtido do carvão ativado, após o ensaio de pirólise realizado a 650 °C.

Tabela 5 – Rendimento do carvão ativado a 650 °C.

Temperatura de pirólise (°C)	Rendimento do carvão (%)
650	21,0

Fonte: Autoria Própria (2025).

A pirólise realizada a 650 °C resultou em um rendimento de aproximadamente 21,0% de carvão. Em estudo similar, Silveira (2018) investigou a pirólise do endocarpo do coco babaçu utilizando temperaturas de 400 °C e 600 °C, obtendo rendimentos de 32,88% e 26,74%, respectivamente, assim fica evidente que com o aumento de sua temperatura sua taxa de rendimento diminui. Esses resultados evidenciam que o rendimento de carvão ativado apresenta comportamento inversamente proporcional à temperatura aplicada durante o processo de pirólise.

Caracterização do Carvão Ativado

Assim como realizado na etapa de caracterização da biomassa, o carvão ativado obtido a 650 °C foi submetido à análise imediata, abrangendo a determinação dos teores de umidade, material volátil, cinzas e carbono fixo. A avaliação desses parâmetros é fundamental para analisar a qualidade do carvão ativado e seu potencial de aplicação em processos específicos.

A Tabela 6 apresenta um comparativo entre os resultados da análise imediata do carvão produzido a partir da biomassa do coco babaçu pirolisada a 650 °C (realizada neste estudo) e os valores encontrados por Silveira (2018) e Silva (2018), os quais utilizaram diferentes partes do fruto e diferentes temperaturas de pirólise.

Tabela 6 – Comparativo entre resultados de análises do carvão obtido com o de outros autores.

Variável analítica	Carvão da biomassa do coco babaçu (650 °C)	Outros autores	
		Silveira (2018) ^(a)	Silva (2018) ^(b)
Umidade (%)	5,84	2,75	3,81
Teor de cinzas (%)	19,70	9,61	12,39
Material volátil (%)	16,24	-	39,20
Carbono fixo (%)	58,22		44,59

^(a)Carvão do mesocarpo do babaçu pirolisado a 600 °C;

^(b) Carvão da amêndoa do babaçu pirolisada a 400 °C.

Fonte: Autoria Própria (2025).S

Observa-se que o carvão obtido neste estudo apresentou um teor de umidade de 5,84%, valor superior aos encontrados por Silveira (2,75%) e Silva (3,81%). Essa diferença pode estar associada tanto às características específicas da biomassa utilizada quanto às condições do processo de secagem anterior à pirólise.

Já em relação ao teor de cinzas, o valor obtido (19,70%) também se destacou por ser superior ao dos outros autores, que encontraram 9,61% e 12,39%, respectivamente. Esse resultado pode estar relacionado a uma maior presença de compostos minerais na amostra utilizada, o que influencia negativamente em algumas aplicações energéticas do carvão, como por exemplo sua aplicação para utilização em termelétricas, na produção de energia através de sua queima, onde o carvão é queimado para aquecer água, assim produzindo vapor que movimentam turbinas gerando eletricidade.

O teor de materiais voláteis, por sua vez, foi de 16,24%, indicando uma significativa degradação térmica da biomassa em função da temperatura elevada do processo. Em comparação, Silva (2018), que utilizou uma temperatura de 400 °C, obteve um teor de voláteis muito mais elevado (39,20%), o que evidencia a influência da temperatura de pirólise nesse parâmetro.

Por fim, o teor de carbono fixo encontrado no presente estudo foi de 58,22%, o maior entre os trabalhos comparados, superando inclusive o valor de 44,59% obtido por Silva (2018). Esse resultado demonstra um elevado grau de carbonização e indica uma maior estabilidade e poder calorífico do carvão produzido.

Dessa forma, considerando os resultados obtidos na análise imediata, o carvão produzido a partir da biomassa do coco babaçu pirolisada a 650 °C apresenta características iniciais que indicam um potencial promissor para aplicações na adsorção de corantes químicos em meio aquoso.

Dentre os parâmetros avaliados, destaca-se o elevado teor de carbono fixo (58,22%), que sugere uma estrutura rica em carbono e, portanto, favorável à formação de superfícies ativas capazes de interagir com moléculas de corantes.

Ensaio de Adsorção

As informações obtidas no teste de adsorção do carvão ativado produzido a 650 °C estão organizadas na Tabela 7, incluindo o valor da razão de adsorção (Q).

Esses dados possibilitam verificar a eficiência do material na remoção do corante da solução, permitindo comparações com resultados de outros trabalhos e contribuindo para a validação de sua eficácia como adsorvente.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de adsorção do carvão ativado 650 °C.

Exp.	Massa de carvão (g)	Concentração do corante (mg/L)	Razão de adsorção (mg/g)
1	0,20	20	2,93
2	0,80	20	0,72
3	0,20	100	14,96
4	0,80	100	3,73
5	0,20	60	8,96
6	0,80	60	2,21
7	0,50	20	1,16
8	0,50	100	5,99
9	0,50	60	3,57
10	0,50	60	3,59
11	0,50	60	3,59

Fonte: Autoria Própria (2025).

A inserção dos dados no software “Protimiza Experimental Design” possibilitou a construção de um modelo de regressão linear, por meio do qual foi possível analisar a variação da resposta em função da massa de carvão utilizada e da concentração do corante. Com isso, tornou-se viável uma avaliação mais aprofundada do desempenho do carvão ativado no processo de adsorção.

Razão de Adsorção (Q)

Os coeficientes obtidos na construção do modelo, baseados na variável razão de adsorção (Q), estão apresentados na Tabela 8.

Esse parâmetro está diretamente relacionado à quantidade de corante adsorvido por unidade de carvão ativado durante o processo de filtração. Portanto, valores elevados de Q indicam maior eficiência do carvão ativado na remoção do corante da solução.

Tabela 8 – Coeficientes de regressão e valores estatísticos.

Nome	Coeficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
X ₁	-3,36	0,28	-11,82	0,0002
X ₁ ²	2,01	0,44	4,58	0,0001
X ₂	3,31	0,28	11,63	0,0001
X ₂ ²	0,00	0,44	0,00	0,9964
X ₁ • X ₂	-2,25	0,35	-6,47	0,0013

Fonte: Autoria Própria (2025).

A partir dos dados experimentais, foi possível definir a equação de regressão linear correspondente ao modelo estatístico da taxa de adsorção, conforme ilustrado na Equação 10. Além disso, elaborou-se um diagrama de Pareto (Figura 6), com o objetivo de evidenciar as variáveis e interações que mais influenciam o desempenho do processo de adsorção.

$$Q = 3,58 - 3,36 X_1 + 2,01 X_1^2 + 3,31 X_2^2 + 0 X_2^2 - 2,25 X_1 \cdot X_2 \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

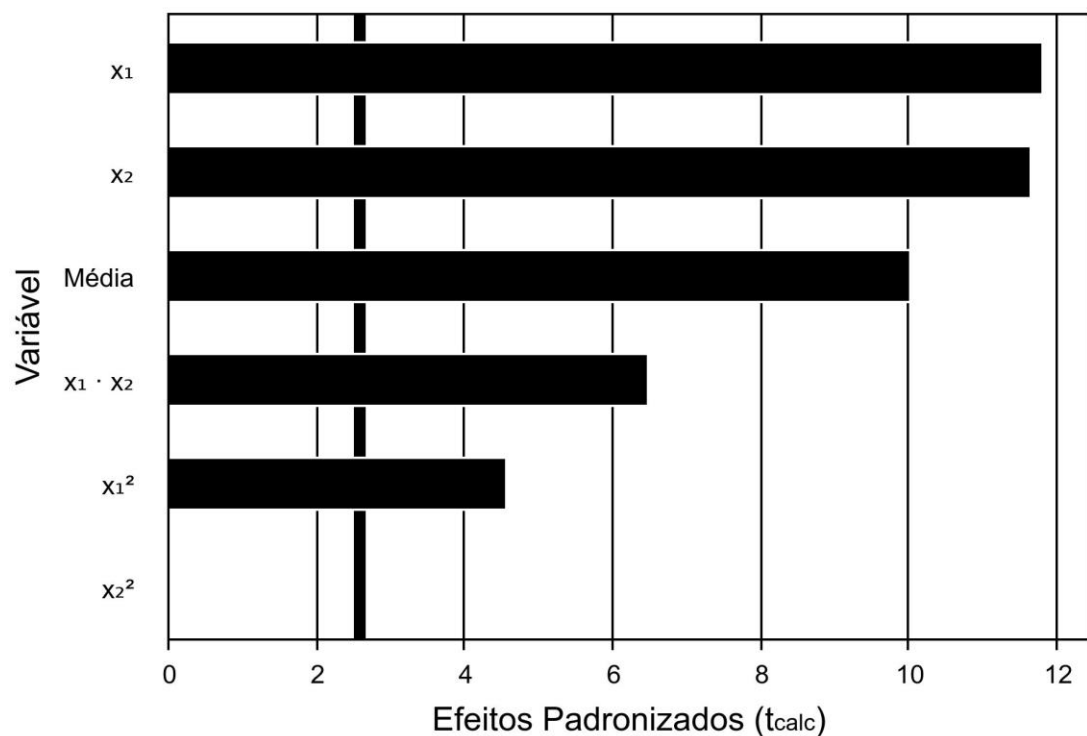
Q = Razão de adsorção;

X₁ = massa de carvão (codificada);

X₂ = concentração do corante (codificada).

Além disso, foi elaborado o Gráfico 1 – Diagrama de Pareto, com o intuito de evidenciar as variáveis e suas interações que exercem maior influência sobre o processo de adsorção. Com base nos valores de p associados à baixa correlação, juntamente com a análise visual do gráfico, observou-se que a concentração do azul de metileno (X_2) representa a variável independente com maior relevância estatística sobre a resposta analítica, seguida pela qualidade do carvão ativado (X_1) utilizado no experimento.

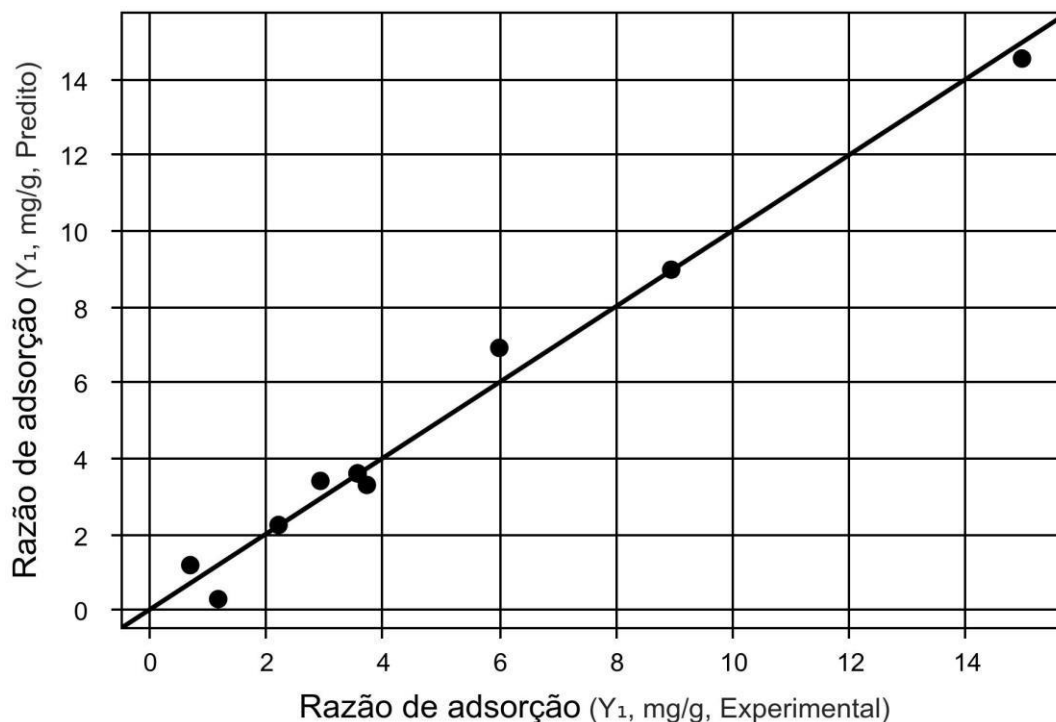
Gráfico 1 – Contribuição das variáveis para a razão de adsorção.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Dessa forma, considerando os valores de p com baixa correlação e a interpretação do diagrama de Pareto, verifica-se que a concentração de azul de metileno (X_2) é a variável independente que exerce maior influência estatística sobre a resposta analítica, seguida pela qualidade do carvão ativado (X_1) utilizado no experimento.

Conforme apresentado no Gráfico 2 (gráfico de predição), os dados experimentais demonstram ótima concordância com os valores previstos pelo modelo, evidenciada pela disposição dos pontos próximos ou alinhados à linha diagonal de referência.

Gráfico 2 – Gráfico de predição do modelo da razão de adsorção.

Fonte: Autoria Própria (2025).

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para a razão de adsorção revelam a significância estatística das variáveis fatoriais e de suas interações, além de indicarem os efeitos individuais de cada fator incluído no modelo. Essas informações estão detalhadas na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Resultado da razão de adsorção das amostras por ANOVA.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	165,0	5	33,0	67,9	0,00014
Resíduos	2,4	5	0,5	-	-
Falta de Ajuste	2,4	3	0,8	6762,9	0,00015
Erro puro	0	2	0	-	-
Total	167,4	10	-	-	-

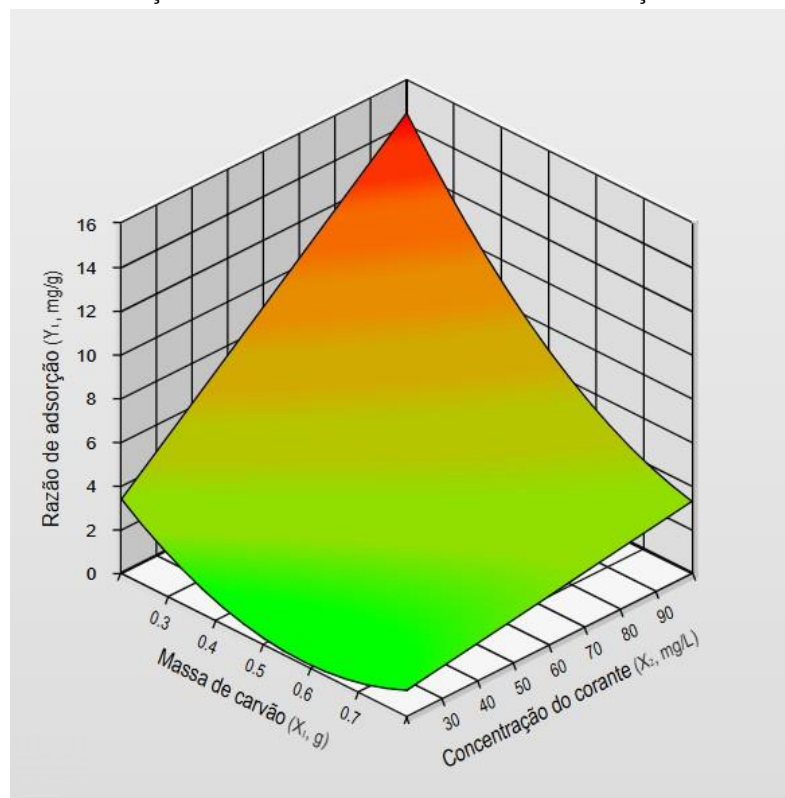
Fonte: Autoria Própria (2025).

Dessa forma, O coeficiente de determinação (R^2) obtido na análise ANOVA para o modelo de adsorção foi de 98,55%, o que representa um resultado extremamente positivo.

Esse valor indica que, quanto mais próximo de 100%, maior é a habilidade do modelo em explicar a variação dos dados ajustados, demonstrando, assim, uma excelente correspondência entre o modelo estatístico e os dados experimentais observados.

Os Gráficos 3 ilustram a interação entre as variáveis massa de carvão (X_1), concentração do corante ($0X_2$) e razão de adsorção (Q). As regiões em vermelho indicam as amostras com maior desempenho na adsorção, enquanto os tons de verde correspondem às áreas com menor eficiência no processo.

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



Fonte: Autoria Própria (2025).

Assim, ao analisar o gráfico, nota-se que o carvão ativado apresenta a maior eficiência em todas as massas avaliadas, demonstrando um desempenho ainda mais eficaz quando se utilizam menores quantidades de adsorvente. Além disso, observa-se que, à medida que a concentração de azul de metileno aumenta, a razão de adsorção do carvão obtido a 650 °C também se eleva.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como finalidade investigar a viabilidade da utilização da biomassa residual do coco babaçu como matéria-prima para a produção de carvão ativado via degradação termoquímica (pirólise), bem como avaliar sua eficácia na adsorção de corante químico em meio aquoso. A escolha do resíduo vegetal se justifica tanto por sua ampla disponibilidade em regiões produtoras quanto pelo potencial de valorização de um subproduto comumente descartado.

Os resultados obtidos na caracterização da biomassa *in natura* indicaram baixos teores de umidade e cinzas, além de elevada fração de materiais voláteis, configurando um perfil técnico adequado para processos termoquímicos. A pirólise realizada a 650 °C resultou em um carvão com rendimento de 21%, apresentando elevado teor de carbono fixo (58,22%), baixa quantidade de voláteis (16,24%) e teor de umidade de 5,84%. No entanto, o teor de cinzas foi elevado (19,70%), o que pode comprometer determinadas aplicações, especialmente aquelas que demandam materiais com alta pureza superficial e baixa carga mineral.

O desempenho do carvão ativado nos ensaios de adsorção foi satisfatório, com destaque para as amostras que utilizaram menores massas do adsorvente, as quais apresentaram maior razão de adsorção. Observou-se também que a concentração inicial do corante azul de metileno foi a variável com maior impacto na eficiência do processo adsorptivo. A modelagem estatística demonstrou elevada robustez, com coeficiente de determinação (R^2) de 98,55%, confirmando a adequação do modelo proposto e a confiabilidade dos dados experimentais.

Diante dos resultados, conclui-se que o carvão ativado obtido a partir da biomassa do coco babaçu apresenta propriedades físico-químicas compatíveis com aplicações em processos de adsorção, sendo uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável para o tratamento de efluentes contendo corantes. Recomenda-se, para estudos futuros, a aplicação de métodos de ativação física ou química com o intuito de aumentar a área superficial específica e a capacidade adsorptiva do material, além da avaliação frente a outros contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes em águas residuais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. B. B. 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.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2008.
- ASTM D 2415. **Standard Test Method for Ash in Coal Tar and Pitch.** American Society of Testing Materials International. West Conshohocken, 2020.
- ASTM D 3173. **Standard Method for Determination of Moisture Content in Biomass.** American Society of Testing Materials International. West Conshohocken, 1987.
- DEMIRBAŞ, A. **Biomass resources and biomass conversion processes.** Energy Conversion and Management, v. 45, n. 11-12, p. 2371-2382, 2004.
- HOSENUZZAMAN, M. *et al*, **Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 41, 284–297.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em:<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2021>>. Acesso em 22 de dezembro de 2024.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Variável – Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo produto extrativo.** 2017.
- IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Universo cultural da palmeira babaçu.** 2017. Disponível em:<http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/universo_cultural_da_palmeira_babacu>. Acesso em: 02 de janeiro de 2025.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.** 3.ed. Nova Odessa, Plantarum, v.1, 2002. 352p.
- LORENZI, H. *et al*. **Palmeiras do Brasil: nativas e exóticas.** Nova Odessa: Plantarum, 1996.303p.
- MELO, P. S. *et al*. **Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais.** Ciência Rural. 2011, p. 41, 1089.
- MESA-PEREZ, J. M. **Testes em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leite fluidizado: critérios para sua otimização.** 164 p. Unicamp, Campinas, SP, 2004.
- MORAES JÚNIOR, A. de S. Caracterização físico-químico e termográfica do biochar de partes do coco de babaçu (*Orbygnia Phalerata*) e avaliação do potencial aplicação em atividades agrícolas. 2022. 58. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2022.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Agências da ONU lançam Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. 2021. Disponível em: <<https://abre.ai/onu-recursoshidricos>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2024.

PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. Tese de Doutorado, UFRN, programa de Pós-graduação em Engenharia Química, 2011.

PEDROZA, M. M. *et al.*, **Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 105, p. 108-115, 2014.

PEREIRA, M. V. F. **Aproveitamento da casca de banana para a produção de carvão ativado**. 2022. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2022.

PIRES, A. R. **Obtenção de carvão ativado a partir do epicarpo do coco de babaçu para adsorção de poluentes em meio aquoso**. 41 p. Monografia. Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Tocantins. *Campus* de Palmas. 2021.

PORRO, R. **A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em comunidades agroextrativistas**. EMBRAPA Amazônia Oriental. Belém, PA. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum., Belém, v. 14, n. 1, p. 169-188, jan.-abr. 2019.

RODRIGUES, C. R. **Degradação Térmica da Casca de Arroz e Utilização do Carvão Obtido no Processo para Polimento de Águas Cinzas**. 2019. 97f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2019.

SANTOS, S. S. *et al.* **Babaçu: explorando suas características e potencialidades**. Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina – PI. 2023.

SANCHEZ, M. E. *et al.* **Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge**. Biomass and Bioenergy, v. 33, p. 933-940, 2009.

SCHULTZ, J. **Obtenção de carvão ativado a partir de biomassa residual para a adsorção de poluentes**. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Química, Curitiba, 2016.

SILVA, C. B. de S.. **Estudo da amêndoa de babaçu como matéria-prima para produção de biocombustíveis**. 2018. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SILVA, J. S. **Efeito das condições de pirólise no preparo do carvão vegetal de coco babaçu utilizando-se radiação de micro-ondas**. Open Science Research III. Editora Científica Digital. Vol. 3. 2022.

SILVA, M. S. da *et al.* (2024). **Análise do babaçu como fonte de biomassa para produção de briquetes na região meio norte do Brasil**. REVISTA FOCO, 17(5), e5279.

SILVA, M. R. **Distribuição do babaçu e sua relação com os fatores geoambientais na bacia do rio Cocal, Estado do Tocantins**. 2008. 91f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SILVEIRA, A. J. da M. **Viabilidade técnica de pirólise da biomassa do coco: produção de bioóleo, biocarvão e biogás**. Rio Largo, 2018. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) - Centro De Ciências Agrárias da Universidade Federal De Alagoas.

SOUZA, M. C. S. de. **Adsorção de azul de metileno utilizando carvão ativado produzido a partir do endocarpo do coco babaçu**. 65 p. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, *Campus Bagé*, Bagé, 2018.

VAN LOO, S.; KOPPEJAN, J. **Manual de combustão e co-combustão de biomassa**. Londres: Earthscan, 2008. 366.