



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

RENATO LIMA SOUSA

**APROVEITAMENTO DE CONSTITUINTE DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E SUA APLICAÇÃO**

**PALMAS
2025**

RENATO LIMA SOUSA

**APROVEITAMENTO DE CONSTITUINTE DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E SUA APLICAÇÃO**

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

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

PALMAS

2025

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

S725a Sousa, Renato Lima
 Aproveitamento de constituinte do resíduo da construção civil para a
 produção de carvão ativado e sua aplicação / Renato Lima Sousa. –
 Palmas, TO, 2025.
 44 p. : il.

 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. Resíduo da construção civil. 2. Pirólise. 3. Carvão ativado. I.
 Pedroza, Marcelo Mendes. II. Título.

CDD 624

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

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

RENATO LIMA SOUSA

APROVEITAMENTO DE CONSTITUINTE DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E SUA APLICAÇÃO

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 de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 23 / 06 / 2025

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador (IFTO)



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



Eng. Matheus Gomes Arruda (IFTO)

AGRADECIMENTOS

Neste trabalho estão anos de esforço e sacrifícios, resultado também de decisões precipitadas que tomei quando era mais jovem, mas que, de certa forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui. Dedico a conclusão dessa fase da minha vida aos meus pais, que, durante todo o período da graduação, não permitiram que me faltasse nada e sempre me proporcionaram os meios necessários para alcançar essa conquista.

Dedico também aos meus amigos, que me apoiaram e incentivaram, não me deixando perder o ânimo de estudar e ouvindo as minhas reclamações e queixas com compaixão e empatia.

Ao meu orientador, Dr. Marcelo Pedroza, pelo apoio durante esta etapa, sempre se mostrando solícito, com bom humor e um conhecimento admirável, nunca me deixando à deriva na elaboração deste trabalho.

À construtora ELMO, local no qual coletei as amostras e pude observar de perto como é a situação do descarte de resíduos da construção civil, tema pelo qual me interessei e abordei nesse trabalho.

Aos colegas de curso, que, direta ou indiretamente, me ajudaram nos estudos e na realização dos trabalhos, projetos e demais atividades exigidas pelos professores.

Ao Instituto Federal do Tocantins, ao seu corpo docente e à sua infraestrutura, que me auxiliaram na elaboração deste trabalho e ao longo de toda minha jornada acadêmica, local que citarei com orgulho sempre que me perguntarem onde fiz minha graduação.

RESUMO

SOUSA, Renato Lima. **Aproveitamento de constituinte de resíduo da construção civil para a produção de carvão ativado e sua aplicação.** 2025. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2025.

A Construção Civil é um dos setores de maior crescimento no país, representando uma parcela significativa do Produto Interno Bruto brasileiro. Contudo, esse crescimento também resulta na geração de toneladas de resíduos sólidos, muitos dos quais são descartados de forma irregular, causando poluição e desperdício. Entre esses resíduos, destaca-se a madeira, amplamente utilizada em diversas aplicações na construção civil. Embora seja um material orgânico com tempo de degradação relativamente curto, seu descarte inadequado em locais impróprios provoca impactos ambientais negativos. Este trabalho teve como objetivo aproveitar a madeira descartada na construção civil como resíduo para a produção de carvão ativado, utilizando o processo de pirólise e avaliando sua capacidade de adsorção de poluentes. Para isso, foi realizada a análise imediata da amostra de madeira coletada, que são: teor de umidade (15,83%), teor de cinzas (1,79%), teor de material volátil (72,21%), teor de carbono fixo (10,15%) e densidade. Em seguida, foi realizada a pirólise da biomassa em reator de leito fixo nas temperaturas de 550° e 650°C, durante 30 minutos, para a obtenção do carvão ativado. Foram realizados os mesmos ensaios de caracterização no carvão. Em relação ao rendimento, o carvão ativado obtido à 650° foi maior (74,16%) em relação ao de 550°C (25,69%). Foi realizado também o teste de adsorção do corante azul de metileno, e o carvão se mostrou promissor, com resultados excelentes de adsorção, variando entre 0,50mg/g e 14,51mg/g, com 11 variações de concentração de carvão e corante. Com base nesses resultados, pôde-se constatar que a madeira advinda de resíduos da construção civil é uma ótima alternativa na produção desse material, causando um impacto financeiro e ambiental extremamente positivo.

Palavras-chave: Construção civil, Resíduos, Madeira, Pirólise, Carvão ativado, Adsorção

ABSTRACT

SOUSA, Renato Lima. **Aproveitamento de constituinte de resíduo da construção civil para a produção de carvão ativado e sua aplicação.** 2025. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2025.

Civil construction is one of the fastest-growing sectors in the country, representing a significant portion of Brazil's Gross Domestic Product. However, this growth also results in the generation of tons of solid waste, much of which is improperly disposed of, causing pollution and waste. Among these residues, wood stands out, as it is widely used in various applications within the construction sector. Although it is an organic material with a relatively short degradation time, its improper disposal in unsuitable locations causes negative environmental impacts. This study aimed to reuse discarded wood from construction activities as a raw material for the production of activated carbon, using the pyrolysis process and evaluating its pollutant adsorption capacity. For this purpose, proximate analysis was carried out on the collected wood sample, which showed the following results: moisture content (15.83%), ash content (1.79%), volatile matter content (72.21%), fixed carbon content (10.15%), and density. Then, the biomass underwent pyrolysis in a fixed-bed reactor at temperatures of 550°C and 650°C for 30 minutes to produce the activated carbon. The same characterization tests were conducted on the resulting carbon. In terms of yield, the activated carbon obtained at 650°C showed a higher result (74.16%) compared to that obtained at 550°C (25.69%). The methylene blue dye adsorption test was also carried out, and the carbon proved to be promising, with excellent adsorption results ranging from 0.50 mg/g to 14.51 mg/g, considering 11 variations of carbon and dye concentration. Based on these results, it was concluded that wood from construction waste is an excellent alternative for the production of activated carbon, offering extremely positive environmental and economic impacts.

Keywords: Construction industry, Waste, Wood, Pyrolysis, Activated carbon, Adsorption

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição química média da madeira folhosa.....	15
Tabela 2	Valores das variáveis nos ensaios de adsorção.....	28
Tabela 3	Caracterização da biomassa.....	30
Tabela 4	Densidade da biomassa.....	30
Tabela 5	Rendimento do carvão ativado da madeira.....	31
Tabela 6	Valores do kg do carvão ativado em lojas de varejo, em reais.....	32
Tabela 7	Caracterização do carvão ativado.....	33
Tabela 8	Razão de adsorção das amostras.....	34
Tabela 9	Coeficiente de regressão e valores estatísticos.....	35
Tabela 10	Resultado da razão de adsorção das amostras por ANOVA.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Contribuição das variáveis na razão de adsorção.....	36
Gráfico 2	Gráfico de predição do modelo de razão de adsorção.....	37
Gráfico 3	Relação tridimensional entre a razão de adsorção e as variáveis.....	38

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Bandejas de proteção.....	15
Figura 2	Resíduos de madeira descartados.....	16
Figura 3	Atividades que serão realizadas durante a pesquisa.....	19
Figura 4	Amostras de madeira coletadas.....	20
Figura 5	Estufa utilizada para secagem da amostra.....	21
Figura 6	Pesagem das amostras.....	22
Figura 7	Amostras no forno mufla.....	23
Figura 8	Biomassa sendo pesada.....	25
Figura 9	Pesagem da amostra após a pirólise.....	25
Figura 10	Reator de leito fixo.....	26
Figura 11	Amostras na mesa de agitação.....	27
Figura 12	Comparativo de coloração de amostras após a adsorção.....	28

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	Sociedade Americana de Testagem e Materiais
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
RCC	Resíduos da Construção Civil
SELUR	Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana
SEMAD	Secretaria de Meio Ambiente e desenvolvimento Sustentável
SINDUSCON-SP	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SST	Sólido Suspenso Total
uT	Unidade de Turbidez

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Problema De Pesquisa.....	13
1.2	Justificativa.....	13
1.3.	Objetivos.....	13
1.3.1	Objetivo Geral.....	13
1.3.2	Objetivos Específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Resíduos da Construção Civil no Brasil.....	14
2.2	A Madeira na Construção Civil e seus Impactos ambientais.....	14
2.3	Composição Química da Madeira e seu Potencial como Biomassa..	16
2.4	O Carvão Ativado, suas Propriedades e Aplicações.....	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1	Coleta do Material e Caracterização da Biomassa.....	19
3.1.1	Umidade.....	21
3.1.2	Teor de Cinzas.....	22
3.1.3	Material Volátil.....	23
3.1.4	Teor de Carbono Fixo.....	23
3.1.5	Densidade.....	24
3.2	Pirólise da Madeira.....	24
3.3	Caracterização do Carvão Obtido.....	26
3.3.1	Densidade.....	26
3.3.2	Teor de Cinzas.....	26
3.3.3	Umidade.....	26
3.3.4	Material Volátil.....	26
3.3.5	Teor de Carbono Fixo.....	26
3.4	Ensaio de Adsorção.....	27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1	Análise Imediata.....	29
4.2	Pirólise da Madeira.....	31
4.3	Caracterização do Carvão.....	32
4.4	Ensaio de Adsorção.....	34
4.4.1	Razão de Adsorção.....	35

5.	CONCLUSÃO.....	39
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a ABREMA (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente), órgão resultante da fusão entre a ABRELPE, ABETRE E SELUR, em 2023 foram geradas aproximadamente 44 milhões de toneladas de Resíduos da Construção Civil (RCC), sendo 1,6 milhão apenas no Norte do país. Estima-se que desses RCCs gerados, cerca de 86% dos RCC sejam descartados de forma irregular, em locais como lixões, “bota-foras”, corpos d’água e encostas, contribuindo significativamente para a degradação ambiental (Alves, 2024).

A madeira, amplamente utilizada na construção civil em formas de pallets, folhas de madeirite e tábuas, é um dos componentes presentes nos RCC e frequentemente descartada de maneira inadequada. Esse descarte irregular resulta na perda de seu potencial de reutilização e reciclagem, que poderia ser explorado para diversas finalidades, como produção de carvão ativado, junto com outros tipos de biomassa. (Demirbas *et al.*, 2009). Apesar de ser um material que veio do próprio meio ambiente, com um tempo de decomposição relativamente curto, o descarte inadequado representa uma perda significativa de recursos e oportunidades, além de danoso à natureza (Neto *et al.*, 2004).

Entre os potenciais de reaproveitamento da madeira está a produção de carvão ativado, um material amplamente utilizado no tratamento de água e efluentes devido à sua alta capacidade de adsorção. A produção de carvão ativado ocorre por meio do processo de pirólise, que transforma a madeira em um material poroso com elevada área superficial, ideal para a remoção de poluentes, como corantes, metais pesados e compostos orgânicos (Norouzi *et al.*, 2018). Esse processo não apenas agrega valor a um resíduo descartado, mas também contribui para a redução de impactos ambientais, oferecendo uma solução sustentável para o problema do descarte inadequado.

Este trabalho tem como objetivo analisar o potencial de aproveitamento da madeira proveniente da construção civil para a produção de carvão ativado por meio do processo de pirólise. Além disso, será avaliada a capacidade de adsorção do material produzido, utilizando como parâmetro o corante azul de metileno. O trabalho busca demonstrar a viabilidade técnica e ambiental da madeira de construção civil, contribuindo para a gestão sustentável dos RCC e para o desenvolvimento de tecnologias que promovam o reaproveitamento de materiais descartados.

1.1. Problema de Pesquisa

Com o aumento do setor de construção civil no Brasil, a quantidade de lixo e resíduos oriundos dessa atividade também aumentam proporcionalmente, entre eles a madeira (Abrelpe, 2011). Como grande parte desse material é depositado em local inadequado, causando impactos ambientais, pode-se utilizá-lo como biomassa para a produção de carvão ativado, e dessa forma, evitar o desperdício e fornecer uma alternativa mais sustentável para o tratamento de águas.

1.2. Justificativa

Como o setor da construção civil é um dos maiores geradores de resíduos sólidos, encontrar alternativas e soluções mais sustentáveis para o reuso e reciclagem desses resíduos é essencial para garantir um futuro mais limpo e alinhado com os princípios da sustentabilidade (Confea, 2023).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Avaliar o potencial de aproveitamento de resíduos de madeira provenientes da construção civil para a produção de carvão ativado por meio do processo de pirólise, analisando suas características físico-químicas e capacidade de adsorção de poluentes.

1.3.2. Objetivos Específicos

- I.** Caracterizar fisicamente e quimicamente a biomassa de madeira residual coletada da construção civil quanto aos teores de umidade, cinzas, voláteis, carbono fixo e densidade;
- II.** Produzir carvão ativado a partir da biomassa residual utilizando o processo de pirólise em diferentes temperaturas (550°C e 650°C) e determinar o rendimento obtido em cada condição;
- III.** Realizar a caracterização do carvão ativado obtido quanto às mesmas propriedades físico-químicas da biomassa original.;
- IV.** Avaliar a capacidade de adsorção do carvão ativado produzido na remoção do corante azul de metileno, determinando a eficiência em diferentes concentrações do adsorvente e adsorvato.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Resíduos da Construção Civil no Brasil

De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA, de 05 de julho de 2002, os RCC são classificados nas seguintes classes (Brasil, 2002):

Classe A - Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, como telhas, tijolos, peças de concreto, argamassas, peças cerâmicas para revestimento etc.

Classe B - Resíduos recicláveis para outras destinações, como plásticos, madeiras, metais, vidros e gesso.

Classe C - Resíduos que ainda não possuem tecnologia apropriada para reutilizá-los ou reciclá-los

Classe D - Resíduos perigosos ou voláteis oriundos da construção civil, como tintas, solventes ou contaminados, incluindo telhas que contenham amianto etc.

Essa classificação é fundamental para que se possa elaborar planos de manejo dos RCC, evitando o descarte e manipulação de materiais danosos à saúde humana e ao meio ambiente, além de estabelecer diretrizes de coleta, transporte, tratamento (caso seja necessário) e disposição final dos resíduos. No caso da madeira, vê-se que está incluída nos materiais de classe B, que incluem os resíduos recicláveis para outras destinações (Brasil, 2002).

2.2. A Madeira na Construção Civil e Seus Impactos Ambientais

A madeira é amplamente utilizada na construção civil, de diversas formas, como construção pesada externa, como pontes, torres, utilizando espécies como cedro rosa, angico-preto e pinus, construção pesada interna, em formato de vigas, pilares, caibros bandejas (Figura 1) e formas de concreto, as madeiras mais utilizadas nesse tipo são peroba-rosa e angelim vermelho, construções leves, como esquadrias, forros, tendo como referência o Ipê (Zenid, 2009). Além de materiais mais simples, como pallets para armazenamento de outros materiais, escoramentos, mobília e decoração.

Figura 1: Bandejas de proteção



Fonte: Próprio autor, 2025

Dependendo do seu uso, sua vida útil é bastante curta, devido à sua fragilidade e exposição a agentes naturais, como sol e chuva (Cruz; Nunes, 2009). Após seu uso, o material é descartado junto com outros tipos de resíduos, e são enviados para estações de reciclagem, aterros sanitários e os que não possuem uma destinação correta são descartados no meio ambiente (Barillari *et al.*, 2002).

O descarte inadequado da madeira (Figura 2) no meio ambiente traz diversos impactos negativos, como a contaminação do solo e água, caso a madeira possua algum tratamento com conservantes, sendo o mais comum o arseniato de cobre cromatado (CCA) (Hasan *et al.*, 2011), produto a base de arsênio (cancerígeno), cobre e cromo (metal pesado). Esses três elementos podem causar um impacto negativo na saúde humana e do meio ambiente. O CCA ainda é muito utilizado na indústria madeireira brasileira.

Outro problema causado pelo descarte incorreto da madeira é o aumento do volume dos aterros sanitários e pontos de descarte, reduzindo sua vida útil e contribuindo para a necessidade de novas áreas de disposição de RCC, o descarte inadequado aumenta o desperdício desse material e consequentemente a maior necessidade dessa matéria prima, contribuindo para a exploração de florestas. A proliferação de pragas e insetos também é uma consequência do descarte incorreto da madeira da construção civil (Neto *et al.*, 2004).

Ao utilizar a madeira descartada na construção civil para a produção de carvão ativado, evita-se o desperdício desse material, além de promover ações benéficas ao

meio ambiente, como a diminuição do desmatamento, melhora na qualidade da água, ar e solo, redução de volume nos aterros e a promoção de novas tecnologias para reciclagem e reaproveitamento de RCC.

Figura 2: Resíduos de madeira descartados



Fonte: Próprio autor, 2025

2.3 Composição Química da Madeira e seu Potencial como Biomassa

A madeira, conforme Klock *et al.* (2005), é constituída de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química média da madeira folhosa

Componente Químico	Composição (%)
Celulose	43-47
Hemicelulose	25-35
Lignina	16-24
Extrativos	3-7

Fonte: Adaptado Klock *et al.* (2005).

- **Celulose:** Polímero linear de glicose, responsável pela estrutura da parede celular da planta.
- **Hemicelulose:** Polímero com estrutura mais ramificada, composto por diversos açúcares, como xilose, arabinose e galactose.

- **Lignina:** Substância complexa que atua como um "adesivo" entre as fibras de celulose e hemicelulose, dando rigidez e resistência à madeira.
- **Extrativos:** Compostos orgânicos como taninos, resinas, óleos essenciais e fenóis.

A madeira é uma excelente fonte de biomassa para a produção de carvão ativado devido à sua alta concentração de carbono (entre 45% a 50%) (Santos *et al.*, 2011) e a presença de componentes que podem ser convertidos em carvão com alta porosidade, o que é essencial para as propriedades de adsorção do carvão ativado.

Durante o processo de pirólise, a madeira passa pelo processo de decomposição térmica que resulta em três principais produtos (Almeida, 2008):

- **Carvão:** Carbono residual após a queima e remoção de água e compostos voláteis;
- **Gases voláteis:** Metano, dióxido de carbono e monóxido de carbono são os principais gases produzidos após a pirólise;
- **Bio - óleo** - Substâncias líquidas que podem ser refinadas para produzir biocombustíveis ou produtos químicos

2.4. O Carvão Ativado, suas Propriedades e Aplicações

O carvão ativado é constituído de carbono, com heteroátomos na estrutura (hidrogênio ou oxigênio) e constituintes inorgânicos, dependendo de qual material foi obtido o carvão. (Silberman *et al.*, 2023)

A forma cristalina do carvão ativado é semelhante à da grafita, porém, na última os átomos de carbono encontram-se em arranjos de formato hexagonal, laminares e espaçados. Na formação do carvão ativado por pirólise, ocorre a perda de pequenas moléculas que não permitem a estruturação ordenada da grafita. As lâminas se ordenam de forma aleatória e desorganizada, o que permite que resíduos orgânicos se acomodem nos espaços da estrutura do produto final. Tais resíduos são retirados, liberando a porosidade, o que justifica o grande caráter adsorvente do carvão ativado. (Rodriguez-Reinoso, 2016).

O carbono na sua forma de carvão ativado é um excelente purificador de micropoluentes, como corantes, detergentes, resquícios de medicamentos, pesticidas etc. (Sarma, 2018). A madeira atualmente é uma das principais biomassas utilizadas na produção do carvão ativado, devido ao seu alto teor de carbono, porém, ainda possui

um alto custo de produção, por isso atualmente são estudadas outras alternativas de biomassa para a produção do material. (Gou; Lua, 2003).

Para transformar o carvão vegetal comum em carvão ativado, ocorrem dois estágios separados: a pirólise da biomassa seguida por sua gaseificação controlada. O objetivo da pirólise é a retirada de espécies não carbonosas e a produção de uma massa fixa de carbono com uma estrutura porosa rudimentar.

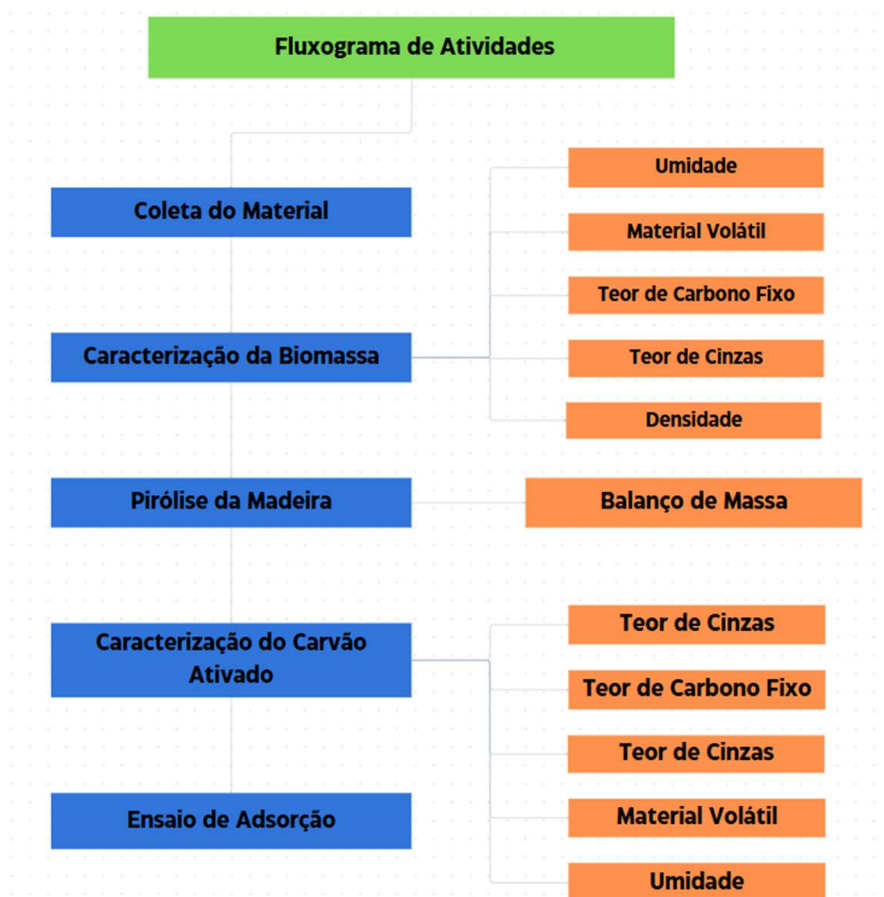
No segundo estágio, os poros ainda estão obstruídos, com depósitos carbonosos remanescentes da etapa de pirólise, e por isso possuem baixa capacidade de adsorção. A adsorção é então majorada pela ativação dos poros com sua gaseificação forçada, seja utilizando vapor, gás carbônico ou ambos (Rodriguez, 2016).

O que faz o carbono ativado ser tão eficaz na remoção de substâncias nocivas e poluentes dá-se pela sua estrutura microporosa, alta área superficial e elevado grau de reatividade superficial. É utilizado para diversos fins, como remover odores, pigmentos, substâncias nocivas e filtrar soluções líquidas. Devido à sua versatilidade, o material é utilizado nas indústrias alimentícias, farmacêuticas, petrolífera, química, e também no tratamento de água potável e residual (Bansal; Goyal, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades que foram desenvolvidas durante esta pesquisa estão ilustradas na Figura 3. Os ensaios experimentais de caracterização da amostra foram realizados no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do IFTO, campus Palmas.

Figura 3: Atividades que foram realizadas durante a pesquisa



Fonte: Próprio autor, 2025

3.1. Coleta do Material e Caracterização da Biomassa

O material foi coletado no canteiro de obras do empreendimento Acqua Design, da construtora Elmo, localizada no bairro Orla 14, na cidade de Palmas – TO. Foram recolhidas amostras de madeira (Figura 4) de pallets, formas de concreto, tábuas, escoras etc. para serem levadas ao laboratório LARSEN e depois analisadas.

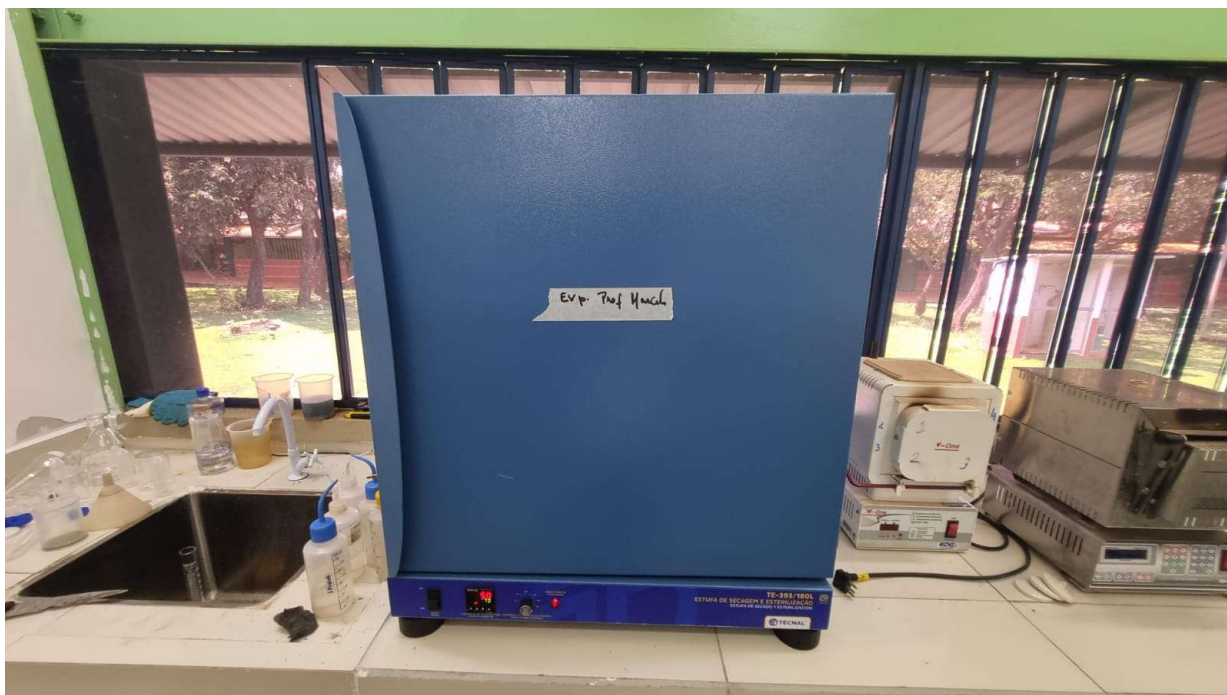
Figura 4: Amostras de madeira coletadas



Fonte: Próprio autor, 2025

A análise da madeira foi realizada para obter dados da amostra relacionados à umidade, teor de cinzas, material volátil, teor de carbono fixo e densidade. Em seguida, a amostra foi submetida a secagem em estufa a 60 °C, como ilustrado na Figura 5, e em seguida inserida no reator de leito fixo para o início do processo de pirólise.

Figura 5: Estufa utilizada para secagem da amostra



Fonte: Próprio autor, 2025

3.1.1. Umidade

A determinação do teor de umidade do material foi feita baseada na norma ASTM D3173-87. Foi utilizada uma amostra com cerca de 1g dentro de um cadinho de porcelana, e suas massas iniciais medidas e registradas. O recipiente foi inserido em uma estufa modelo SP-200 a uma temperatura de 105 °C por 1 hora.

Após esse período, o cadinho foi retirado da estufa e transferido para um dessecador, local onde permaneceu por 15 minutos, sendo pesado após esse intervalo. Após registrar os dados, a Equação 1 foi aplicada para obter o percentual de umidade.

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

A= peso do cadinho vazio + peso da amostra inicial

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

C= peso da amostra inicial

3.1.2. Teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado conforme o método proposto por Sanchez *et al.* (2009). Para isso, cerca de 1 g de madeira triturada foi pesada em triplicata e acondicionada em cadinhos de porcelana previamente pesados (Figura 6). As amostras foram submetidas à incineração em forno mufla (modelo W-One, da EDG Equipamentos) a 710 °C por 60 minutos. Após esse processo, os cadinhos foram transferidos para um dessecador, onde permaneceram por 1 hora para resfriamento antes de serem novamente pesados. O cálculo do teor de cinzas seguiu a norma ASTM 2415-66/86, sendo os resultados obtidos por meio da Equação 2.

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

A= peso do cadinho + peso amostra após incineração

B= peso do cadinho vazio

C= peso da amostra inicial

Figura 6: Pesagem das amostras



Fonte: Próprio autor, 2025

3.1.3. Material Volátil

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

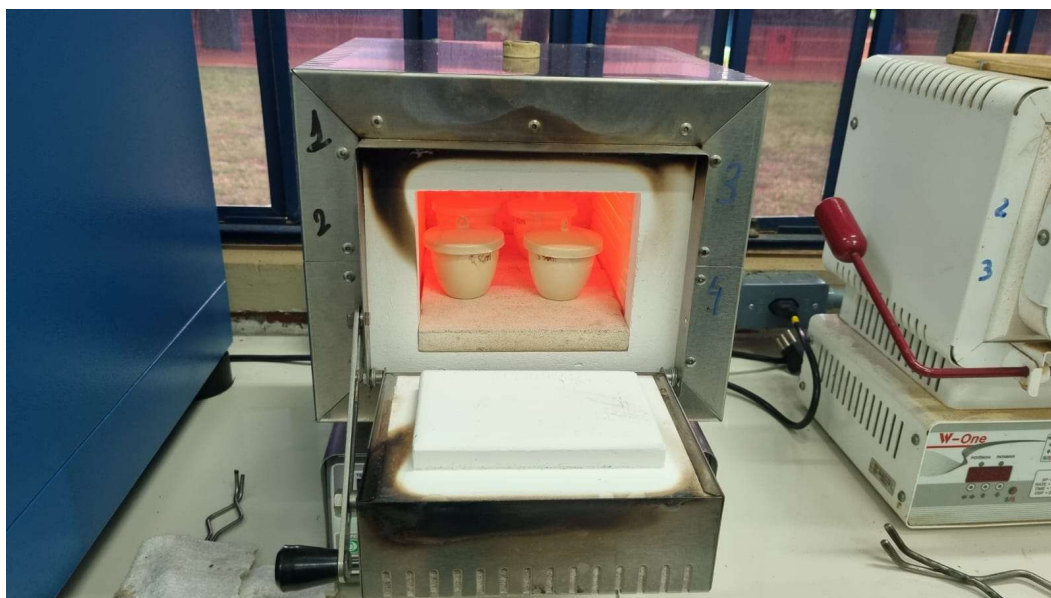
$$\text{Material Volátil (\%)} = \left(\frac{A-B}{C} \right) * 100 \quad (\text{Equação.3})$$

A= peso do cadinho vazio + peso da amostra

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

C= peso da amostra

Figura 7: Amostras no forno mufla



Fonte: Próprio autor, 2025

3.1.4. Teor de carbono fixo

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

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

(Equação.4)

3.1.5. Densidade

Para a determinação da densidade aparente, foi anexada à uma balança de precisão uma proveta de 250 mL. Em seguida, tara-se a balança e se adiciona a madeira previamente seca. Foram obtidas as massas (g) nas sucessivas adições dos respectivos volumes de 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 e 250 mL. A densidade aparente foi obtida através da Equação 5:

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

(Equação.5)

3.2. Pirólise da Madeira

Foram realizados dois experimentos de pirólise, o primeiro a 550°C e o segundo a 650°C, a uma taxa de aquecimento de 30°C/min, em um período de 30 minutos. O material, após passado pela estufa, foi inserido em uma barca metálica e pesado (Figura 8), também foi calculada a massa da barca vazia, para registrar a massa da madeira a ser incinerada, bem como seu rendimento pós pirólise (Figura 9). Em seguida, a barca com a biomassa foi inserida no reator para que se inicie o processo.

Figura 8: Biomassa sendo pesada



Fonte: Próprio autor, 2025

Figura 9: Pesagem da amostra após a pirólise



Fonte: Próprio autor, 2025

O reator (Figura 10) foi configurado para que atinja a temperatura desejada, na taxa desejada. Além disso, a autoclave vertical, que produz o vapor utilizado como gás de arraste também foi preparada.

Figura 10: Reator de leito fixo



Fonte: Próprio autor, 2025

3.3. Caracterização do Carvão Obtido

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

3.3.1. Densidade

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

3.3.2. Teor de cinzas

O teor de cinzas do carvão foi obtido seguindo o método de Sanchez *et al.*, (2009), descrito anteriormente para a determinação do teor de cinzas da madeira.

3.3.3. Umidade

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

3.3.4. Material volátil

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

3.3.5. Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo foi calculado através da diferença descrita segundo a Equação 4 descrita anteriormente na caracterização da biomassa.

3.4. Ensaio de Adsorção

O experimento foi conduzido em uma mesa de agitação (Shaker TE 141) (Figura 11), utilizando o carvão ativado obtido nesta pesquisa, produzido a temperaturas de 650 °C, com uma taxa de aquecimento de 30 °C/min. O material foi utilizado na forma de pó, apresentando granulometria de 0,45 mm.

Figura 11: Amostras na mesa agitadora



Fonte: Próprio autor, 2025

A solução corante Azul de Metileno foi utilizada no experimento, sendo utilizados um volume padrão de 30 mL de solução em todos os ensaios. 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.

Foram realizados 11 experimentos, com duas variáveis independentes (Tabela 2) de forma que todas as combinações possíveis fossem utilizadas. Com o auxílio do software Protimiza Experimental Design, obteve-se a regressão linear e a equação geral da razão de adsorção. A metodologia utilizada foi a de Delineamento de Faces Centradas (DFC)

Em seguida, o líquido filtrado pelo papel analítico foi analisado em um espectrofotômetro, que mediu a absorbância da substância no comprimento de onda anteriormente mencionado, e depois os dados foram analisados na avaliação da eficiência do carvão utilizado.

Além disso, foi feita a análise a olho nu para verificar inicialmente a eficiência da adsorção do azul de metileno (Figura 12)

Tabela 2: Valores das variáveis nos ensaios de adsorção

Exp.	Massa de carvão (g)	Concentração do corante (mg/L)
1	0,20	20
2	0,80	20
3	0,20	100
4	0,80	100
5	0,20	60
6	0,80	60
7	0,50	20
8	0,50	100
9	0,50	60
10	0,50	60
11	0,50	60

Fonte: Próprio autor, 2025

Figura 12: Comparativo de coloração de amostras após a adsorção



Fonte: Próprio autor, 2025

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Imediata

Após a coleta do material, foi feita a caracterização da amostra, com 5 experimentos: umidade, teor de cinzas, material volátil, teor de carbono fixo e densidade. A umidade representa o total de água contido na biomassa e que foi evaporado após o período em estufa, acarretando na redução de massa da madeira, na amostra testada, a biomassa apresentou um teor de umidade de 15,83%, valor considerado acima do favorável, de acordo com Almeida (2008).

O próximo ensaio foi o de teor de cinzas, que corresponde à parte da biomassa que não passa pelo processo de combustão. No experimento, obteve-se um valor de 1,79% de teor de cinzas, valor baixo e considerado favorável (Fernandes *et al.*, 2015) para a utilização dessa madeira como carvão ativado.

O material volátil encontrado na amostra foi de 72,21%, materiais com alto material volátil possuem uma facilidade maior para queimar, segundo Vieira (2012).

Em seguida, o calculou – se o teor de carbono fixo, que é a quantidade de carbono em uma biomassa. Quanto maior o teor de carbono, maior eficiência energética conforme Chaves *et al.*, (2013).

Por fim, executamos o ensaio de densidade, utilizando a madeira em forma de serragem e calculando a relação entre massa e volume.

A seguir (Tabela 3) estão os valores encontrados nos ensaios executados de caracterização da amostra.

Tabela 3: Caracterização da biomassa

Variável analítica	Biomassa desta pesquisa	Lôbo (2021)	Davies (2025)
Umidade (%)	15,83	5,97	11,83
Material volátil (%)	72,21	81,9	93,44
Teor de cinzas (%)	1,79	0,66	2,58
Teor de carbono fixo (%)	10,15	11,47	3,98

Fonte: Próprio autor, 2025

Pôde-se constatar que a biomassa obtida a partir da madeira de resíduos da construção civil apresentou semelhanças comparado ao de Lôbo (2021), enquanto a de Davies (2025) mostrou uma maior variação dos resultados.

Para contextualização, O carvão de Davies (2025) foi produzido a partir da poda de mangueiras, e utilizando uma metodologia diferente. Primeiramente, as amostras de madeiras foram inseridas em forno mufla à 900°C por 1 hora, após o resfriamento, o carvão vegetal passou pelo processo de ativação utilizando temperaturas de 400°, 550° e 700°C, utilizando o ativador químico cloreto de zinco (ZnCl_2), diferente do carvão obtidos nos outros dois experimentos.

A densidade foi calculada (Tabela 4) utilizando a metodologia citada anteriormente.

Tabela 4: Densidade da biomassa

Massa (g)	Volume (mL)	Densidade (g/mL)
4,22	30	0,1406
8,15	60	0,1358
12,25	90	0,1361
16,28	120	0,1356
20,38	150	0,1358
24,33	180	0,1351
28,7	210	0,1366
33,9	250	0,1356

Fonte: Próprio autor, 2025

A densidade média obtida foi de 0,1364 g/mL.

4.2 Pirólise da madeira

O processo de pirólise da biomassa foi realizado no LARSEN, sob supervisão do professor Dr. Marcelo Mendes Pedroza e com auxílio de alunos do Instituto Federal. Foram feitas pirólises com temperaturas de 550° e 650°C

Após a pirólise, foram calculadas as massas perdidas durante o processo (Tabela 5).

Tabela 5: Rendimento do carvão ativado da madeira

Massa (g)	Carvão 550°C	Carvão 650°C	Lôbo (2021)
Peso da biomassa (g)	37,68	34,02	-
Peso do carvão (g)	9,68	8,79	-
Rendimento (%)	25,69	25,83	21,86

Fonte: Próprio Autor, 2025

Percebe-se que, no processo de pirólise, o rendimento dos dois carvões foi semelhante, com diferença de menos de 0,15% entre as duas temperaturas. Enquanto o rendimento do carvão de Lôbo (2021) foi menor, também a uma temperatura de 650 °C.

O carvão produzido a partir da pirólise dos resíduos de madeira da construção civil pode ser utilizado em diversas áreas, inclusive comercializado. Com rendimento de 25-26% em média, 1 tonelada da biomassa utilizada nesse trabalho é capaz de gerar entre 250kg e 260kg de carvão pronto para uso, gerando lucro para a construtora, que pode investir em equipamentos para a produção do carvão e agregar valor a esse material.

Caso a construtora queira comercializar o carvão, é importante realizar uma pesquisa de preço e mercado, já que é um setor com alta discrepância em relação à construção civil. Porém, a narrativa de reciclagem e diminuição de RCC na natureza pode se tornar uma campanha forte, com alto apelo ambiental e econômico. O carvão é utilizado em várias indústrias, como a química, cosmética, alimentícia, farmacêutica,

agropecuária etc. (Bansal; Goyal, 2005), além de ser um excelente purificador de impurezas na água (*apud* Sarma; Lee, 2018).

A construtora pode realizar testes de adsorção em diversos tipos de materiais, para que consiga elaborar um relatório completo acerca da capacidade de adsorção geral do carvão produzido, dando mais transparência ao consumidor e mostrando estar vendendo um produto de qualidade e seguro.

Quanto aos preços encontrados no mercado, há uma variação identificada em diversos sites, desde grandes empresas de varejo, como Amazon e Mercado Livre, até lojas mais específicas, como a Casa dos Químicos (Tabela 5). Um ponto observado na venda por esses sites é a falta de transparência sobre os dados de adsorção, algo que a construtora pode utilizar como diferencial, deixando essas informações especificadas no momento da venda.

A seguir (Tabela 6), estão os valores do quilo do carvão ativado encontrado em diversas lojas online, em reais:

Tabela 6: Valores do kg do carvão ativado em lojas de varejo, em reais

Loja	Acquapex	Yellowfish	Casa dos Químicos	Mundo dos Naturais	Filtros Curitiba	Mundo Cerealista
Preço (R\$/kg)	21,75	26,33	16,90	29,00	15,82	19,50

Fonte: Próprio autor, 2025

Como visto na Tabela 5, o preço do kg do carvão pode variar bastante, o mais barato de R\$ 15,82 e o mais caro a R\$ 29,00, isso é importante para que a construtora possa analisar o mercado e estabelecer um valor do seu produto, caso ela decida comercializá-lo.

4.3 Caracterização do carvão

Após a pirólise, foram feitos os ensaios de caracterização do carvão obtido, semelhantes aos ensaios da biomassa (Tabela 6), exceto o de densidade.

Para efeito de análise e comparação, a Tabela 7 apresenta dados de outros autores presente na literatura. O carvão ativado utilizado foi da poda de jambolão no de Lôbo (2021) e de eucalipto no de Basso (2017).

Tabela 7: Caracterização do carvão ativado

Variável analítica	Carvão 1 (550°C)	Carvão 2 (650°C)	Lôbo (2021)	Basso (2017)
Umidade (%)	4,88	7,68	7,7	4,54
Material volátil (%)	26,62	22,85	25	25,61
Teor de cinzas (%)	2,29	3,29	2,5	2,52
Teor de carbono fixo (%)	66,20	66,16	64,8	71,87

Fonte: Próprio autor, 2025

Analizando os dados obtidos para o carvão oriundo de RCC, bem como os de jambolão, utilizado por Lôbo (2021) e eucalipto, utilizado por Basso (2017), percebe-se uma similaridade nos resultados de caracterização. O carvão de RCC apresentou umidade de 4,88% a 550 °C, valor próximo ao obtido por Basso (2017) com eucalipto. Já o carvão produzido a 650 °C mostrou um teor praticamente idêntico ao do jambolão submetido à mesma temperatura.

O carvão de RCC produzido a 550°C mostrou-se com valores similares de material volátil comparado com os dos outros autores, a maior diferença está no teor de carbono fixo, no qual o de Basso (2017) foi o maior, nota-se que na metodologia da autora, não houve um controle adequado da temperatura de pirólise, o método utilizado para acompanhamento do procedimento foi empírico, pois o objetivo era reproduzir as condições reais em que o carvão é produzido e comercializado. Para isso, a autora observou a cor da fumaça expelida e aferiu a temperatura com o tato, procedimento adotado nas praças de carbonização da madeireira localizada em sua cidade.

Segundo Farinhaque (1981), um carvão com menos de 20% de umidade é mais eficiente, pois precisa de menos energia para entrar no processo de combustão, critério que os carvões produzidos atendem. De acordo com Silva (2009), um carvão com teor de umidade baixo tem maior eficiência no processo de adsorção, pois há menos presença de água nos poros, deixando-os livres para adsorver outras substâncias.

Um teor de cinzas alto pode resultar em uma perda de eficiência no processo de pirólise e também na qualidade geral do carvão, pois exige uma maior necessidade de oxigênio para que as cinzas sejam derretidas e também pela perda de calor do reator (Hoffmann, 2010). Os resultados obtidos na caracterização dos carvões mostraram-se dentro do satisfatório e demonstram um produto com boa qualidade para adsorção.

Observa-se que o valor do teor de carbono fixo obtido nas duas temperaturas foi praticamente igual, se aproximando também de Lôbo (2021).

4.4 Teste de Adsorção

Após o teste de caracterização do carvão, foi realizado o teste de adsorção para avaliar a capacidade da amostra em adsorver componentes da água, nesse caso sendo o azul de metileno, foi utilizado apenas o carvão pirolisado a 650° C. A seguir (Tabela 8) estão os resultados obtidos na adsorção do corante.

Tabela 8: Razão de adsorção das amostras

Exp.	Massa de carvão (g)	Concentração do corante (mg/L)	Razão de adsorção (mg/g)
1	0,20	20	2,80
2	0,80	20	0,50
3	0,20	100	14,51
4	0,80	100	3,73
5	0,20	60	8,97
6	0,80	60	2,21
7	0,50	20	1,03
8	0,50	100	5,98
9	0,50	60	3,56
10	0,50	60	3,51
11	0,50	60	3,58

Fonte: Próprio autor, 2025

Percebe-se uma variância de resultados baseado nas concentrações de carvão e corante, o melhor resultado foi obtido utilizando a menor massa de carvão e maior

concentração de corante, enquanto o pior resultado foi o de maior massa de carvão e menor concentração de corante.

4.4.1 Razão de Adsorção (Q)

A variável razão de adsorção nos mostra a quantidade de corante adsorvido para cada unidade de carvão durante o processo (Tabela 9), a seguir estão os coeficientes obtidos na regressão linear a partir dos dados obtidos utilizando o software.

Tabela 9: Coeficientes de regressão e valores estatísticos

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
Média	3,59	0,34	10,67	0,0001
X ₁	-3,31	0,27	-12,37	0,0001
X ₁ ²	1,96	0,41	4,75	0,0051
X ₂	3,31	0,27	12,38	0,0001
X ₂ ²	-0,13	0,41	-0,32	0,7589
X ₁ • X ₂	-2,12	0,33	-6,47	0,0013

Fonte: Próprio autor, 2025

A partir dos dados obtidos pelo Protimiza, foi possível estabelecer a equação geral de regressão linear do modelo estatístico. Além disso, foi criado um diagrama de Pareto (Gráfico 1), que destaca quais variáveis possuem maior influência no processo de adsorção.

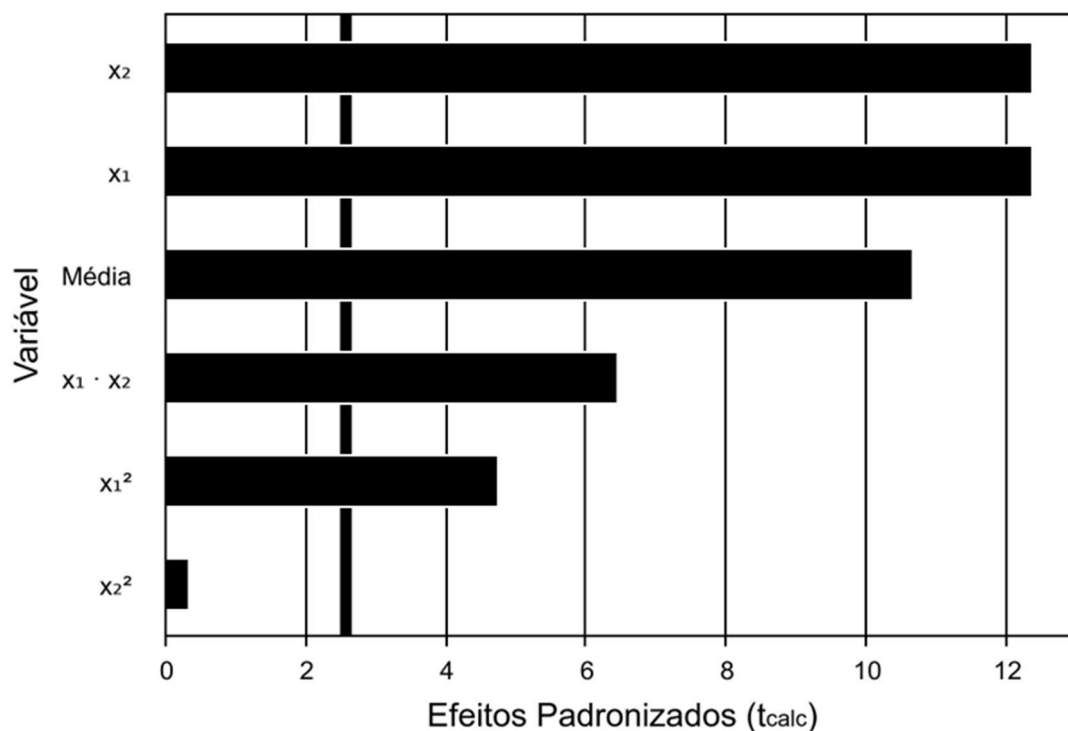
$$Q = 3,59 - 3,31 X_1 + 1,96 X_1^2 + 3,31 X_2^2 - 0,13 X_2^2 - 2,12 X_1 \cdot X_2 \quad \textbf{(Equação 6)}$$

Onde:

Q = Razão de adsorção;

X₁ = Massa de carvão (codificada)

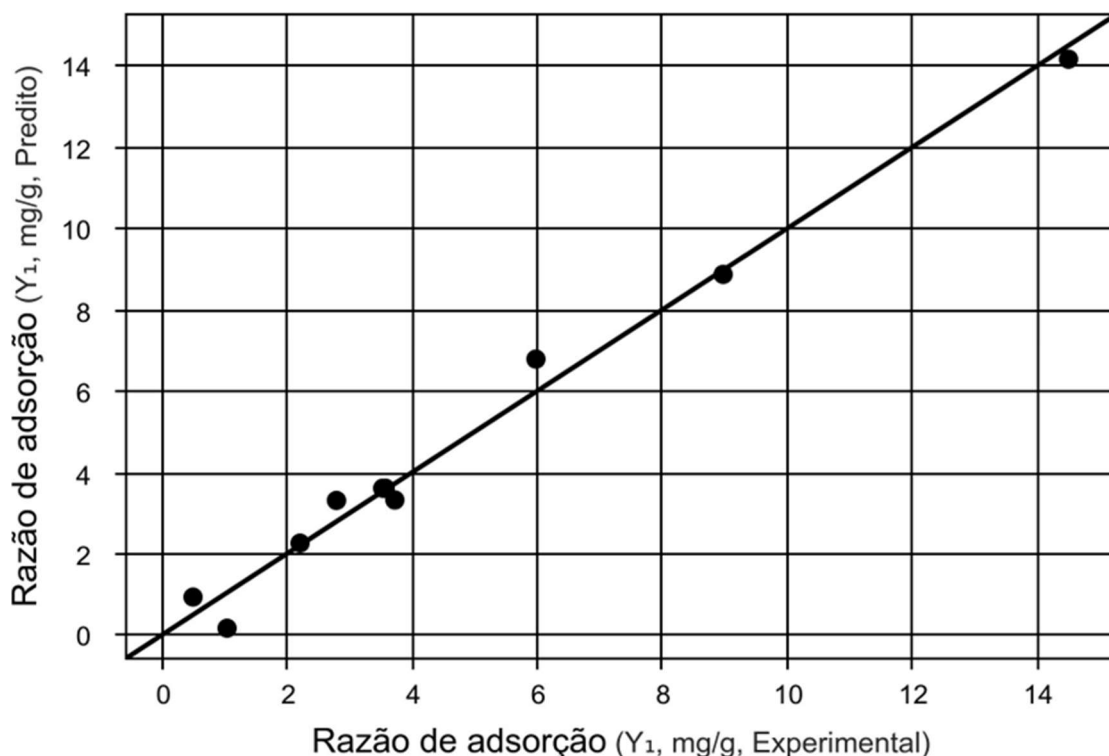
X₂ = Concentração de corante (codificada)

Gráfico 1: Contribuição das variáveis na razão de adsorção

Fonte: Próprio autor, 2025

Baseado no diagrama de Pareto, observa-se que as variáveis de maior impacto na razão de adsorção são X_1 e X_2 , possuindo uma influência igual, enquanto a de menor impacto é a X_2^2 .

O gráfico de predição (Gráfico 2) mostra uma ótima correlação com os valores preditos no modelo, visto a proximidade dos pontos em relação à diagonal de referência.

Gráfico 2: Gráfico de predição do modelo de razão de adsorção

Fonte: Próprio autor, 2025

A seguir, estão apresentados os resultados da análise ANOVA referente à razão de adsorção (Tabela 10), trazendo dados sobre a significância estatística das variáveis estudadas, incluindo os fatores principais e suas interações, além dos efeitos associados a cada fator.

Tabela 10: Resultado da razão de adsorção das amostras por ANOVA

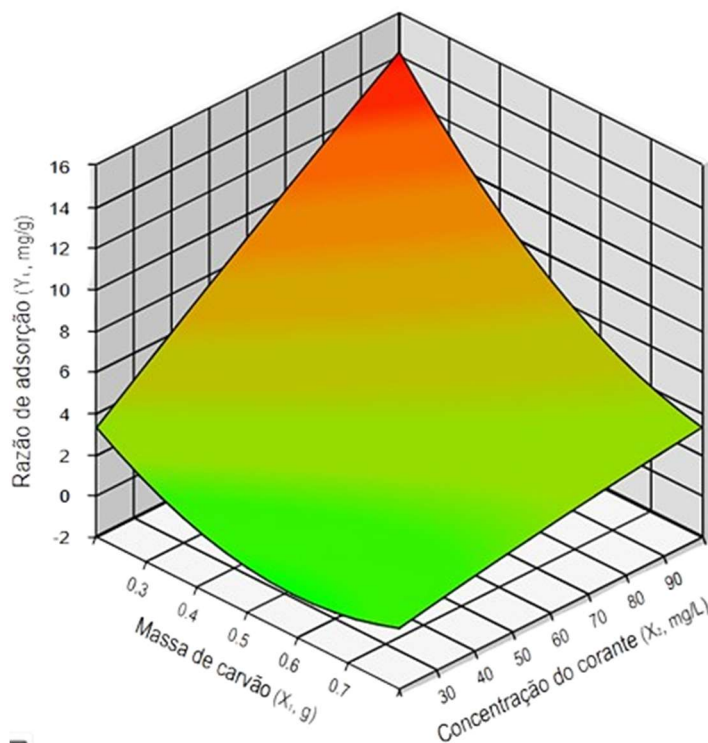
Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	159,6	5	31,9	74,3	0,00011
Resíduos	2,1	5	0,4	-	-
Falta de Ajuste	2,1	3	0,7	579,1	0,00172
Erro puro	0,0	2	0,0	-	-
Total	161,7	10	-	-	-

Fonte: Próprio autor, 2025

Dessa forma, o coeficiente de determinação (R^2) obtido na análise ANOVA para o modelo de adsorção foi de 98,67%, o que representa um desempenho extremamente satisfatório. Esse valor elevado indica que o modelo possui grande capacidade de explicar a variação ajustada dos dados, evidenciando a excelente adequação do modelo aos resultados experimentais.

O Gráfico 3 mostra a relação entre as variáveis massa de carvão, concentração de corante e razão de adsorção. Quanto mais vermelho, melhor a capacidade e eficácia na adsorção, já as regiões de verde representam o contrário

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



Fonte: Próprio autor, 2025

A partir da análise do gráfico, nota-se que o carvão ativado apresenta um desempenho ainda mais destacado nas menores quantidades utilizadas. Além disso, observa-se que o aumento da concentração de azul de metileno está associado a uma elevação na razão de adsorção do carvão obtido a 650 °C.

5. CONCLUSÃO

Após a coleta de dados, constatou-se que a utilização da madeira de resíduos da construção civil mostrou ser uma alternativa promissora na busca de biomassa para a produção do carvão ativado. Os testes mostraram que o carvão obtido possui uma capacidade de adsorção extremamente satisfatória, com uma viabilidade econômica e apelo ambiental significativo.

O uso da madeira residual no processo de pirólise mostrou-se uma alternativa viável, produzindo um carvão ativado com propriedades adsorventes satisfatórias. As análises indicaram baixos teores de umidade (4,88% e 7,68%) e um alto percentual de materiais voláteis (26,62% e 22,85%), características que favorecem uma conversão térmica mais eficiente, com menor consumo energético e rendimento adequado.

Além disso, o carvão ativado obtido apresentou um rendimento entre 25 e 26, além de excelente capacidade adsorvente, com destaque para a com taxa de adsorção de 14,51 mg/g ao utilizar uma massa reduzida de carvão (0,20 g). O rendimento do processo foi próximo aos valores relatados na literatura, o que reforça a viabilidade técnica do método.

Conclui-se, portanto, que a madeira descartada pela construção civil pode ser transformada em um produto de alto valor agregado, aplicações relevantes, como a produção de carvão ativado, utilizado em diversos setores industriais. Essa abordagem se mostra como uma solução ambientalmente vantajosa, ao evitar o descarte inadequado de resíduos potencialmente poluentes, além de promover novas alternativas para o uso de materiais descartados da construção civil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Rosana. 86% dos resíduos da construção civil são descartados de forma irregular. **Agência Cora Coralina de Notícias**, 2024. Disponível em: <https://agenciakoradenoticias.go.gov.br/112710-86-dos-residuos-da-construcao-civil-sao-descartados-de-forma-irregular-em-goias/>. Acesso em: 22 mar. 2025.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, M. B. B. **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**, Tese de D.Sc, Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 2008.

AMAZON. **Carvão ativado para filtro – Bolsa de 1kg**. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/dp/B0C86HKZY7>. Acesso em: 7 maio 2025.

BANSAL, R. C.; GOYAL, M. **Activated carbono adsorption**. 1 ed. New York: CRC Press, p. 520, 2005.

BARILLARI, C.T; JANKOWSKY, I.P.; FREITAS, V. P. Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* spp. tratadas com CCA tipo A e CCB após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento. **Floresta**, edição Especial: Curitiba. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2002. p.87-91.

BASSO, Sabrine. **Análise do carvão vegetal para uso doméstico**. 2017. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução n.º 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

CASA DOS QUÍMICOS. **Carvão ativado vegetal em pó – 1 kg**. Disponível em: <https://www.casadosquimicos.com.br/produto/carvao-ativado-vegetal-em-po-1-kg-150159>. Acesso em: 7 maio 2025.

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

CRUZ, H.; NUNES, L. **Durabilidade e protecção de estruturas de madeira**. Construção Magazine, Porto n. 34, 2009.

DAVIES, Fernando Souza. **Obtenção de carvão ativado modificado quimicamente a partir de resíduos de podas de árvores e aplicação na remoção de fármacos em meio aquoso**. 2025. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2025.

DEMIRBAS M. F.; BALAT M.; BALAT H. **Potencial contribution of biomass to the sustainable energy development**. **Science and Energy Company**, v. 50, n. 7, jul., 2009.

FARINHAQUE, Roberto. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de Bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth) e aspectos gerais de combustão. 1981.

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.

FILTROS CURITIBA. **Carvão ativado – Saco 25 kg**. Disponível em: <https://www.filtroscuritiba.com.br/carvao-ativado-saco-25kg>. Acesso em: 7 maio 2025.

GUO, J.; LUA, A. C. Textural and chemical properties of adsorbent prepared from palm shell by phosphoric acid activation. **Materials Chemistry and Physics**, Lausanne, v. 80, n. 1, p. 114-119, Apr. 2003.

HANSEN, Sandro. **Gestão Socioambiental: Meio Ambiente na Construção Civil**. Florianópolis, SC. SENAI/SC, 2008.

HASAN, A. R.; GABRIELE, H. S.; TOWNSEND. **Online sorting of recovered wood waste by automated XRF-technology: Part II. Sorting efficiencies**. Elsevier / Waste Management, 2011.

HOFFMANN, Bettina Susanne. **O ciclo combinado com gaseificação integrada ea captura de CO₂: uma solução para mitigar as emissões de CO₂ em termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo**. S. l.: sn, 2010.

LÔBO, Ranyere do Nascimento. **Degradação térmica de podas de árvores (Syzygium Cumini) visando a produção de carvão ativado para uso industrial**. 2021.

MERCADO LIVRE. **5 kg Carvão ativado granulado – Elimina odores e filtragem química**. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4839933366-5-kg-carvo-ativado-granulado-elimina-filtragem-quimica- JM>. Acesso em: 7 maio 2025.

MUNDO CEREALISTA. **Carvão vegetal ativado granel**. Disponível em: <https://www.mundocerealista.com.br/suplementos-e/carvao-vegetal-ativado-granel>. Acesso em: 7 maio 2025.

NETO, J. C. M.; CAPELINI, M.; BITTENCOURT, V. S. A.; SCHALCH, V. **Impactos causados pelos resíduos de construção e demolição no meio ambiente urbano**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e desenvolvimento sustentável. Florianópolis, 2004.

NOROUZI, S.; HEIDARI, M.; ALIPOUR, V.; RAHMANIAN, O.; FAZLZADEH, M.; MOHAMMADI MOGHADAM, F; NOURMORADI H.; GOUDARZI, B; DINDARLOO, K. **Preparation, characterization and Cr (VI) adsorption evaluation of NaOH-activated carbon produced from Date Press Cake; an agro-industrial waste**. *Bioresource technology*, v. 258, 2018.

RODRIGUEZ-REINOSO, F.; SILVESTRE-ALBERO, J. **Activated Carbon and Adsorption. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.** Elsevier, 2016.

SARMA, H.; LEE, W. Y. Bacteria enhanced lignocellulosic activated carbon for biofiltration of bisphenols in water, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, 2018.

SILBERMAN, J.; GALUSKA, M. A.; TAYLOR, A. Activated Carbon. **StatPearls. National Library of Medicine**, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482294/>.

SILVA, Janice da. **Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solos**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

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

ZENID, J. G. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológica: SVMA, 2009.