



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

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

LUÍS FELIPE DE ASSUNÇÃO

**ESTUDO DA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO
PROVENIENTE DA PIRÓLISE DE SYZYGIUM CUMINI.**

PALMAS-TO

2022

LUÍS FELIPE DE ASSUNÇÃO

**ESTUDO DA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO
PROVENIENTE DA PIRÓLISE DE SYZYGIUM CUMINI.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil da Unidade Palmas, do Instituto
Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof. Dr. Marcelo M. Pedroza

PALMAS – TO

2022

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

D278e de Assunção, Luís Felipe
ESTUDO DA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO
ATIVADO PROVENIENTE DA PIRÓLISE DE SYZYGIUM CUMINI. /
Luís Felipe de Assunção, Luís Felipe de Assunção. – Palmas, TO, 2022.
40 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Carvão ativado. 2. Adsorção. 3. Adsorção de corante químico. I. de
Assunção, Luís Felipe. II. Mendes Pedroza, Marcelo III. , . IV. 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).

LUÍS FELIPE DE ASSUNÇÃO

**ESTUDO DA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO
PROVENIENTE DA PIRÓLISE DE SYZYGIUM CUMINI.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil da Unidade Palmas, do Instituto
Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 30 / 06 / 2022

BANCA EXAMINADORA



Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador e Presidente da Banca
Instituto Federal do Tocantins

(IFTO)



Prof. MSc. Danielma Silva Maia

(IFTO)



Prof. Me. Michelle Ludmila G. dos Santos

(IFTO)

RESUMO

ASSUNÇÃO, Luís Felipe. **Estudo da adsorção de azul de metileno em carvão ativado proveniente da pirólise de *Syzygium cumini***. 2022. 40p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2022.

A poda urbana gera um volume considerável de resíduos como, toras, galhos, cascas, folha, parte pela manutenção, porém grande parte de remoções e podas resultadas de distúrbios causados em fiações, muros, cercas e calçadas. Esses distúrbios ocorrem devido a falta do planejamento e de má gestão da arborização urbana, resultando assim no material do estudo. O objetivo deste trabalho foi o uso do carvão ativado produzido através da pirólise de *Syzygium cumini* (Jamelão) em processo de adsorção de corante químico, azul de metileno. O material adsorvente foi caracterizado através das seguintes técnicas: umidade (16,74%), cinzas (6,60%), material volátil (11,19%) e carbono fixo (65,45%). Foi aplicado um planejamento experimental do tipo Delineamento de Fases Centradas (DFC) para análise dos efeitos de duas variáveis independentes (massa de carvão e concentração da solução do corante) no teste de adsorção de azul de metileno em mesa giratória, que apresentaram resultados acima de 90% de eficiência e R^2 de 99,61% na razão (Q). Os ensaios de adsorção foram realizados nas dependências do Laboratório LARSEN – IFTO, Campus Palmas, onde o carvão proveniente do jamelão apontou mais eficiência nos resultados onde havia menor massa de carvão e maior concentração de corante.

Palavras-chave: Carvão ativado, Adsorção, resíduos lenhoso, degradação térmica de resíduo.

ABSTRACT

ASSUNÇÃO, Luis Felipe. **Study of methylene blue adsorption on *Syzygium cumini* pyrolysis activator**. 2022. 36p. Completion of course work - Bachelor's degree in Civil Engineering - Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. Palmas, 2022.

Urban pruning generates a considerable volume of waste such as logs, boxes, bark, leaves, partly due to maintenance, but mostly from removals and pruning resulting from disturbances made to wiring, walls, fences and sidewalks. These disturbances occur due to lack of planning and mismanagement of afforestation, resulting in the study material. The objective of this work was the use of the original product through pyrolysis of *Syzygium cumini* (Jamelão) in the process of adsorption of chemical dye, methylene blue. The adsorbent material was characterized using the following techniques: moisture (16.74%), ash (6.60%), volatile material (11.19%) and fixed carbon (65.45%). A Face Centered Design (DFC) experimental design was applied to analyze the effects of two independent variables (carbon mass and dye solution concentration) in the methylene blue adsorption test on a turntable, that present results above 90% of efficiency and R^2 of 99.61% in the ratio (Q). The adsorption tests Laboratory at LARSEN's premises was carried out – IFTO, Campus Palmas, where the charcoal from jamelão was more efficient in terms of smaller charcoal mass and higher charcoal concentration.

Keywords: Activated carbon, Adsorption, woody residues, thermal degradation of residues.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Variantes do processo de pirólise.....	17
Tabela 2 – Níveis dos Fatores empregados no Planejamento Experimental, durante a adsorção do corante azul de metileno	28
Tabela 3 – Ordem dos experimentos empregados no planejamento DFC	29
Tabela 4 - Características obtidas da biomassa utilizada	29
Tabela 5 – Resultados do teste de adsorção sob o efeito de duas variáveis independentes	30
Tabela 6 – Coeficientes de regressão do Planejamento DFC para definição da capacidade máxima de adsorção	31
Tabela - 7 ANOVA para capacidade máxima de adsorção.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das fontes de biomassa	15
Figura 2 - Atividades a serem realizadas.....	22
Figura 3 - Amostra de carvão ativado obtido da biomassa de <i>Syzygium cumini</i>	23
Figura 4 - Estufa a ser utilizada para secagem da amostra.	23
Figura 5 - Shaker	26
Figura 6 - Espectrofotômetro.....	26
Figura 7 - Filtro em papel analítico	27
Figura 8 - Filtragem.....	27
Figura 9 - Representação do planejamento experimental utilizado no processo de adsorção de azul de metileno (Delineamento de faces centradas).	28
Figura 10 – Gráfico de Pareto da Capacidade Máxima de Adsorção (Q)	31
Figura 11 – Valores Analisados da Capacidade Máxima de Adsorção (Q)	33
Figura 12 – Gráfico de superfície que representa a capacidade máxima de adsorção	33

LISTA DE SIGLAS

APHA	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FMA	Fundação Municipal de Meio Ambiente
FRZ	Forshungszentrum Karlsruhe
g	Gramas
HDO	Hidrodessoxigenação
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
L	Litro
mg	Miligramas
MJ/M ³ .	Megajoule/metro cubico
mL	Mililitro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Pólítica Nacional de Resíduos Sólidos
RTI	Resource Transformations Internacional
mg	Miligramas
°C	Graus Celsius
(Q)	Razão

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	10
2.0 PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
3.0 JUSTIFICATIVA	12
4.0 OBJETIVOS	13
4.1 OBJETIVO GERAL	13
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
5.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
5.1 RESÍDUO DE PODA URBANA.....	14
5.2 PIRÓLISE.....	16
5.2.1 PIRÓLISE LENTA.	16
5.2.2 PIRÓLISE RÁPIDA.	16
5.4 CARVÃO ATIVADO.....	17
5.4.1 ATIVAÇÃO FÍSICA.....	19
5.4.2 ATIVAÇÃO QÍMICA.....	19
5.5 ADSORÇÃO.	20
6.0 MATERIAIS E METODOS.....	22
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO	23
6.1.1 UMIDADE.....	24
6.1.2 TEOR DE CINZAS	24
6.1.3 MATERIAL VOLÁTIL.....	25
6.1.4 TEOR DE CARBONO FIXO.....	25
6.1.5 DENSIDADE.....	25
6.1.6 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL: DELINEAMENTO DE FACES CENTRADAS (DFC).	26
7.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
7.1 CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO ATIVADO	29
7.2 TESTE DE ADSORÇÃO DO AZUL DE METILENO	30
7.2.1 CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO (Q)	31
8.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	34

1.0 INTRODUÇÃO

Na dificuldade da gestão do crescimento abrupto das cidades espelha-se na redução do espaços verdes e na alteração do meio ambiente. Além disso, enquanto o processo de urbanização caracteriza-se por uma intervenção que transforma o sítio de forma radical e irreversível, o conceito ambiental propõe a necessidade de se preservar o meio natural como forma de garantir a existência das futuras gerações (BEZERRA E RIBAS, 2004).

Nessa ótica se faz necessário a implementação da arborização urbana, levando em consideração os espécimes a serem implantados, pois alguns podem exercer efeitos negativos associados a saúde humana, como alergias e pragas. Definiu-se no planejamento de Palmas que em quadra residenciais e nos canteiros das avenidas, no entanto na prática um diagnóstico da arborização de Palmas aponta ponto em que se demonstra insuficiente ou implantada da maneira inadequada o que leva ao manejo das espécies. (PALMAS, 2015). O plano aponta que dentre as espécies mais utilizadas na capital a *Syzygium cumini* é uma das mais comuns.

O jamelão (*Syzygium cumini*), também conhecido como jambolão, jabolão, ameixa preta, java ameixa ou jamun, é uma espécie da Índia, mas foram adaptadas ao clima tropical brasileiro. O Java ameixa é uma frutífera exótica, amplamente cultivada no Brasil, uma árvore ornamental para sombra, principalmente ao longo do litoral. É uma árvore perene, com uma copa frondosa, densa, 15-20 m de altura, e o tronco geralmente é torto. As folhas são simples, coriáceas, glabras nas duas faces, aromáticas, lustrosas na parte superior, 8-14 cm de comprimento, com um nervo principal proeminente e um pecíolo de 1-3 cm. As flores, dominantes pelos estames brancos, estão dispostas em racemos axilares ramificados que se formam de setembro a novembro (MANUELA C.P.A. SANTIAGO et al.: Fruits 71, 2016).

A arborização urbana gera uma abundante quantidade de resíduos sólidos devido sua manutenção, que são as atividades de poda ou extração, que devem ser feitas regularmente a fim de se evitar problemas (SANTOS, 2019). Segundo índices apontados pela PERS-TO, na capital Palmas, são geradas cerca de 1337,40 toneladas de resíduos de limpeza urbana mensalmente.

Os resíduos de origem da poda urbana, galhos, tronco, casca, toras, folhagem, podem ser caracterizadas como material lenhoso, podendo ser utilizado com fonte para biomassa, dando origem ao material que estudo, carvão ativado, por meio do método de pirólise.

A biomassa é capaz de ser convertida termoquimicamente em atmosfera não oxidante por meio de pirólise, que constitui uma atraente alternativa para aproveitamento de resíduos agroflorestais, contribuindo para a minimização do impacto ambiental e, também, para a geração adicional de insumos químicos e energéticos de apreciável valor econômico (MARTINS et al., 2007).

Um dos produtos obtidos pelo processo de pirólise é o carvão, que possui uma estrutura altamente porosa, apresentando também pequena quantidade de heteroátomos, principalmente oxigênio, ligados aos átomos de carbono (GORGULHO et al., 2008). É um material que contém área superficial específica e porosidade elevada, o que lhe agrega a capacidade de adsorver moléculas presentes tanto em fase líquida como gasosa.

Carvão ativado tem sido usado com sucesso como adsorvente para a remoção de corantes dos efluentes. A adsorção dos corantes pelo sólido poroso envolve o transporte do corante da solução e a difusão das moléculas do corante para os poros do adsorvente (JOSÉ, 1998). A performance do processo de tratamento com carvão ativado depende do tipo de carvão, além das características do efluente. Segundo Mishra e Tripathy (1993), o carvão ativado deve ser cuidadosamente selecionado para cada processo de tratamento.

Nesse trabalho foi empregado o carvão ativado, obtido da pirólise de poda de jamelão em reator de leito fixo, no processo de adsorção de corante químico.

2.0 PROBLEMA DE PESQUISA

O Colour Index listou mais de 8000 produtos químicos que são utilizados somente no processo de tingimento de tecidos, entre eles várias classes de corantes, surfactantes, detergentes, ácidos, álcalis, sais, solventes e outros auxiliares (MISHRA E TRIPATHY, 1993). A composição média dos efluentes da indústria têxtil pode ser dada por: sólidos totais na faixa de 1000 a 1600 mg/l; DBO, de 200 a 600 mg/l; alcalinidade total de 300 a 900 mg/l; sólidos em suspensão, de 30 a 50mg/l (BRAILE E CAVALCANTI, 1979).

Foi o carvão ativado originário da *Syzygium cumini* eficiente para a adsorção de corantes provenientes da indústria têxtil?

3.0 JUSTIFICATIVA

Com o avanço dos grandes centros, da urbanização desmedida e das indústrias, e com elas a indústria têxtil, é imprescindível que se fale que com esse avanço se aumenta o nível de efluentes. Dentro desse contexto do aumento dos centros também é válido falar sobre o grande volume de resíduos que são gerados no dia a dia, de forma a serem destinados a um aterro municipal ou lixão (MAIA, 2021).

Segundo José, (1998), ainda não existe um método geral para a descoloração de efluentes aquosos da indústria têxtil. A maior parte das indústrias realizam processos de oxidação biológica (lodo ativado).

Todavia, no conhecimento de que a poda urbana e seus resíduos somam uma parte da massa que é destinada a locais irregulares, lixões e aterros, encontrar um elo entre as duas problemáticas se faz satisfatório e determina um sentido para a melhoria da qualidade de vida da população (LÔBO, 2021).

O plano de arborização da cidade de Palmas tem em si que grande parte das espécies utilizadas para a revitalização de canteiros, praças e rotatórias (PALMAS, 2015). Parte dessa implantação foi feita com mal planejamento ou falta de gestão, de forma a posterior causar patologias em diversas áreas, como nas fiações urbanas por exemplo, em muros, calçadas, cercas dentre outros, acarretando em um volume de poda e extração dessas espécies (ANA MARIA, 2010).

Dessa forma a fim de somar no tratamento de efluentes com o uso do carvão ativado oriundo da pirólise e consequente a isso promover uma destinação mais adequada e sustentável aos resíduos de poda urbana se faz o presente estudo para a relevância da adsorção de azul de metileno por carvão ativado, onde foi realizado um estudo no laboratório do IFTO – Campus Palmas.

4.0 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo estudar a adsorção de azul de metileno em carvão ativado obtido na degradação térmica de biomassa residual.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar quimicamente o carvão ativado;
- Testar o material no processo de adsorção de azul de metileno;
- Determinar o modelo estatístico que representa o processo estatístico de adsorção de azul de metileno em carvão ativado proveniente do Jamelão.

5.0 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 RESÍDUO DE PODA URBANA.

Guimarães (2006), aponta a necessidade de encontrar estratégias, dentro dos centros urbanos, que possibilitem conciliar os requisitos da vida humana e a necessidades ecológicas de outras espécies, sendo que, para isto, é necessário que haja um movimento difundido no intuito de se instituir mais parques, arborizar as cidades de forma a proporcionar a sobrevivência de uma maior diversidade de espécies. O aumento das áreas verdes causaria um reforço na população de aves, além de que, a existência de árvores frutíferas atrairia insetos cruciais para certas espécies de aves; além disso, um bairro bem arborizado proporciona mais abrigo e alimentação do que áreas de pasto.

A arborização urbana exerce um papel importante no conforto do ambiente humano, através dos aspectos naturais das arvores, promove sombra a pedestres e veículos, colabora da redução de ruídos, ajuda na qualidade do ar, ameniza a intensidade termica, acolhe passaros e promove um bem estar estético, o que reduz a grande intervenção humana com componentees arquitetonicos como edificios, residencias, nos grandes centros (SILVA FILHO, 2006).

A mazela na gestão de disposição da arborização leva a um aumento do manejo, tal qual a poda e o descarte de arvores, feitos pelas concessionarias de energia elétrica e prefeituras, por causar patologias em calçadas e o entrelaçamento de fios.

A deficiência no planejamento da arborização promove a incompatibilidade dos componentes urbanos induzindo a uma maior poda e aumento da remoção de arvores. No estado de São Paulo em 295 municípios foi constatado que em apenas 26,44% das cidades foi seguido um projeto, enquanto em 69,15% dos municipios a execução foi aleatória (WINTERS, 1992).

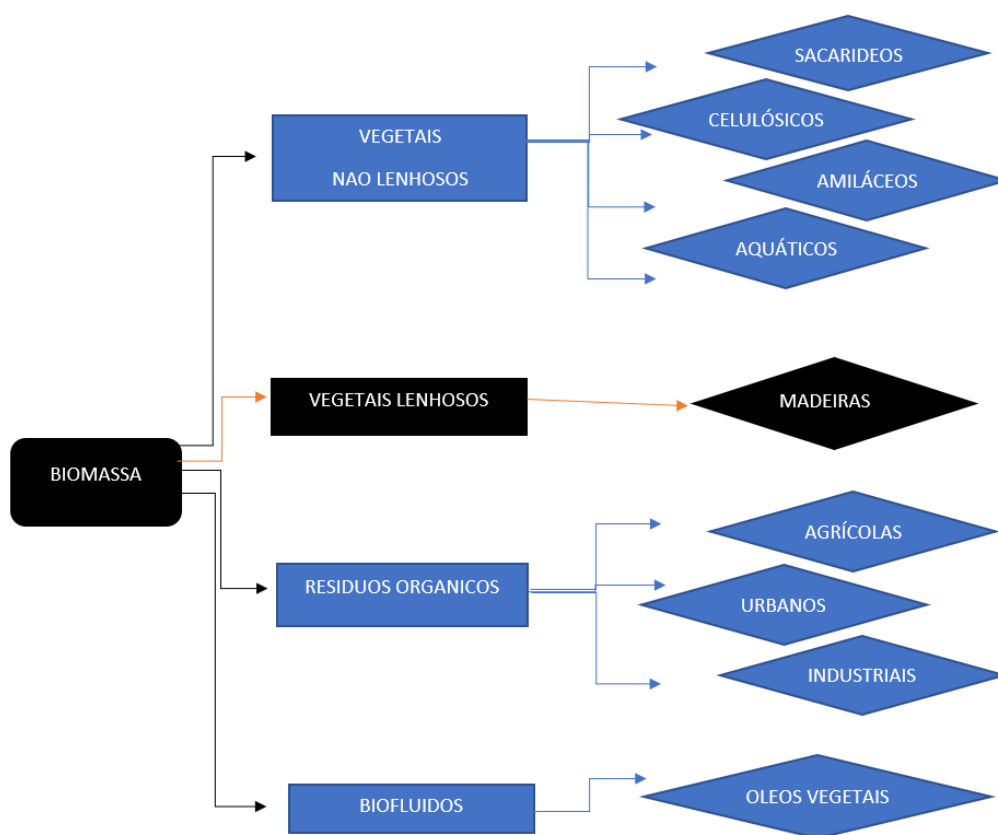
O Jamelão é uma espécie possui característica de rápido crescimento, porém atinge seu tamanho real em 40 anos. O diâmetro de projeção da copa da árvore é entre 3 a 4,5 metros, altura total até 35 metros, e altura dos troncos de 6 a 20 metros (AYYANAR; SUBASH-BABU, 2012; SOH; PARNELL, 2015).

O plano de arborização urbana de Palmas e mannejo informa que, dentre as espécies mais abundante nas áreas públicas, consideradas invasoras, encontra-se a *Syzygium cumini* (Jamelão) (TOCANTINS, 2015).

Biomassa pode ser caracterizada como toda matéria orgânica, seja de origem animal, vegetal ou microrganismos, suscetível a ser transformada em energia (bioenergia). A biomassa é composta por diferentes tipos de células, cuja estrutura e composição variam com a espécie ou de partes de plantas. As paredes celulares de biomassa são formadas de microfibrilas de celulose, rodeadas por uma matriz de hemi-celulose e lignina. Ainda estão presentes alguns lipídeos e hidrocarbonetos (ter-penos) que são solúveis em éter e vários tipos de compostos fenólicos, hidratos de carbono e proteínas que podem ser solúveis em benze-no, etanol ou água (MARIN MESA, 2011).

Segundo Vidal e Hora (2011), consiste em biomassa toda aquela materia organica que não seja fóssil, e que possua em seu interior energia, o que soma em todos as categorias de vegetais, aquáticas e terrestres (VIDAL E HORA, 2011). Além de que a biomassa de origem em vegetais lenhosos pode se configurar todo o material retirado de árvores: Galhos, tronco, folhas, ramos, raízes, casca, gravetos, tora e todo material de origem vegetal recolhido na poda ou remoção de árvores urbanas (Figura 01).

Figura 1 - Fluxograma das fontes de biomassa



Fonte: Adaptado, Próprio Balanço Energético Nacional - BEN. Brasília: MME, 1982

5.2 PIRÓLISE.

A pirólise remonta pelo menos aos tempos egípcios antigos, quando alcatrão para calafetar barcos e certos agentes de embalsamamento foram feitos por pirólise. Os processos de pirólise foram melhorados e são agora amplamente utilizados na produção de coque e carvão. Na década de 1980, os pesquisadores descobriram que o rendimento do líquido de pirólise poderia ser aumentado usando pirólise rápida onde uma matéria-prima de biomassa é aquecida a uma taxa rápida e os vapores produzidos também são condensados rapidamente (UNH, 2002).

5.2.1 PIRÓLISE LENTA.

A Pirólise convencional (lenta/carbonização) tem sido aplicado há milhares de anos e tem sido principalmente utilizado para a produção de carvão. Na pirólise lenta da madeira, biomassa é aquecida a ~500 °C. O tempo de residência do vapor varia de 5 min a 30 min. (A. V. BRIDGWATER, 1994) Os vapores não escapam tão rapidamente como fazem na pirólise rápida. Assim, os componentes na fase de vapor continuam a reagir uns com os outros, como o carvão sólido e qualquer líquido sendo formados. A taxa de aquecimento na pirólise convencional é tipicamente muito mais lenta do que a usada na pirólise rápida. A matéria-prima pode ser mantida em temperatura constante ou aquecida lentamente. Os vapores podem ser removidos continuamente à medida que são formados. A pirólise a vácuo em taxas de aquecimento lentas ou rápidas é outra variante (DEMIRBAS, 2000).

5.2.2 PIRÓLISE RÁPIDA.

A pirólise rápida é um processo de alta temperatura processo no qual a biomassa é rapidamente aquecida na ausência de oxigênio segundo A. V. Bridgwater et al., (1991). A biomassa se decompõe para gerar vapores, aerossóis e algum carvão semelhante ao carvão. Após resfriamento e condensação dos vapores e aerossóis, um móvel marrom escuro líquido é formado que tem um poder calorífico que é cerca de metade daquele de óleo combustível convencional A.V. Bridgwater, (2003). Pirólise rápida processos produzem 60-75% em peso de bio-óleo líquido, 15-25% em peso de carvão sólido e 10-20% em peso de gases não condensáveis, dependendo da matéria-prima utilizada. Nenhum resíduo é gerado, pois o bio-óleo e o carvão sólido podem ser usados como combustível e o gás pode ser reciclado de volta para o processo. A pirólise rápida usa taxas de aquecimento muito mais rápidas do que a tradicional pirólise (TABELA 1). Processos avançados são cuidadosamente controlados para dar alto rendimento líquido. Existem quatro características essenciais de um rápido processo de pirólise.⁵⁴ Primeiro, aquecimento muito alto e transferência de calor taxas são usadas, o que geralmente requer uma biomassa finamente moída alimentação. Em segundo lugar, é usada uma temperatura de reação de pirólise cuidadosamente

controlada, muitas vezes na faixa de 425-500 °C. Terceiro, vapor curto.

Tabela 1- Variantes do processo de pirólise:

Variantes do processo	Tempo de referência	Temperatura do processo	Produtos obtidos
Carbonização	HORA/DIA	400 - 450	Carvão vegetal
Convencional	5 - 30 min	até 600	Bio-óleo, carvão e gás
Rápida	0,5 - 5 s	< 600	Bio-óleo

Fonte: Adaptado de Gómez, (2002).

5.4 CARVÃO ATIVADO

O Carvão ativado é o resultado do processo de pirólise de variados compostos orgânicos podendo ser advindo de tipos diferentes de ativação, resultando em uma estrutura muito porosa (DUBININ, 1965).

O carvão ativado foi inicialmente definido como “qualquer forma de carbono capaz de adsorção” (SCHANZ, 1962). Historicamente, começou com o uso do carvão vegetal como sorvente sendo rastreado tanto na época romana e Império Chinês. Os romanos perceberam que o carvão podia purificar água, uma propriedade que ainda utilizamos. No entanto, apesar desta longa história de uso do carvão para purificação, os humanos levaram mais de 3.000 anos para otimizar o carvão para a remoção de contaminantes específicos. Segundo Smith, 1862, observou que o carvão remove o oxigênio do ar por um período prolongado de mais de um mês. No entanto, nem todos os carvões tinham a mesma capacidade, sendo que o carvão de origem animal tinha uma maior capacidade do que os carvões à base de madeira. Este foi o ponto de partida para um campo de pesquisa em rápido crescimento sobre diferenças e características dos carvões que resultam em diferentes propriedades de adsorção.

Foi notado no início do século 19 que o carvão também continha uma variedade de substâncias orgânicas sorvidas. compostos (DEWAR, 1904). Assim, as primeiras estratégias de “ativação” visavam reduzir espécies após a produção. (CHANEY, 1919) considerou a ativação térmica como a única técnica capaz de remover os compostos orgânicos adsorvidos da superfície do carvão. O carvão restos de esqueleto e nova área de superfície (poros) são expostos. Assim, os grupos químicos tornam-se “ativos”, isto é, disponível para sorção. Com isso, começou a ciência da ativação do carvão e do carvão ativado. As primeiras patentes para ativação de carvão foram concedidas na década de 1920 (CHANEY, 1924). No entanto, houve pouca fundamentação teórica explicando as observações de aumento da capacidade de sorção. Muitos de os trabalhos pioneiros foram amplamente empíricos e focados em diferentes temperaturas de ativação como bem como produtos químicos diferentes, mas faltava uma hipótese ou um mecanismo focado. Geralmente era assumiu que o aumento da sorção foi devido ao aumento da área de superfície (e talvez até

novos poros) (SUTCLIFFE, 1924). A ativação na década de 1950 foi definida como “qualquer processo que remove seletivamente o hidrogênio ou frações ricas em hidrogênio de uma matéria-prima carbonácea de forma a produzir um resíduo aberto e poroso” (LEWIS e MATZNER, 1950). Alterações químicas e estruturais que levam ao aumento da superfície áreas e modificações personalizadas de frações químicas ainda são os elementos-chave da ativação hoje. No entanto, também são importantes as características secundárias de resistência mecânica, porosidade total, carga superficial, e difusividade (HELBIG, 1946).

Estudos teóricos foram iniciados por WRIGHT, 1926, estudando a sorção de bromo em carvão e carvão ativado. Uma capacidade de sorção de bromo comparável foi observada antes e após a ativação. O mecanismo de sorção de bromo havia mudado; da substituição do ânion antes da ativação para reações de adição química ao carbono após ativação térmica. Foi hipotetizado que a ativação aumentou a presença de ligações C insaturadas. Focando neste mecanismo, LOWRY, 1929, observou que a capacidade de sorção do carvão ativado foi correlacionada com o teor de hidrogênio total (presença de ligações C insaturadas/não aromáticas). Com o advento de novos instrumentos para investigar estruturas cristalinas, forneceram evidências de que, além de mudanças na química da superfície, ocorrem alterações distintas na estrutura física. Eles observaram pequenos fragmentos isolados de grafite e o carvão ativado não tinham o grafite semicontínuo personagem de planilha que estava presente antes da ativação (RUFF et al, 1925). Existem vários fatores complicadores que dificultam a identificação dos mecanismos de sorção. Um primeiro fator é que o carvão está sendo alterado, mesmo em condições ambientais. Segundo SHELTON, 1920, observou uma mudança de três vezes na capacidade de sorção de N₂, após armazenamento em condições de laboratório. Um segundo fator é que mesmo os sais inorgânicos precipitados no carvão (teor de cinzas) contribuíram para a sorção processos (WEISER, 1919). Além da sorção, o carvão ativado também pode atuar como catalisador, por exemplo, na redução anaeróbica de corantes azo, e suporta a formação de radicais para oxidar corantes ou poluentes em um ambiente (eletroquímico) tratamento oxidativo de efluentes industriais (MEZOHEGYI et al. 2012) e ainda é usado para eletrodos em combustível microbiano células (ZHAO et al, 2008). Hoje, existem vários mercados que estão aumentando a demanda global por carvão ativado. Estes incluem condicionamento de água potável, tecnologia de armazenamento de energia, bem como tecnologia impulsionada por nova legislação (por exemplo, impondo requisitos de limpeza para emissões de mercúrio de usinas de energia).

A preparação do carvão ativado se dá em duas sequencias primordiais sendo a carbonização de uma matéria prima carbonácea e a ativação do carvão vegetal (IONNIDOU e ZABANITOU, 2006). A ativação obtida por meio de gases tipo dióxido de carbono, vapor e etc, é chamada de ativação física ou desidratante.

5.4.1 ATIVAÇÃO FÍSICA

A ativação física ou térmica é a oxidação parcial de um precursor ou intermediário carbonáceo material para aumentar sua porosidade. A ativação física é o método mais antigo de preparação de carbono, onde o termo “físico” deriva do equívoco inicial de que o vapor só volatilize fisicamente e remova os condensados do carvão. No entanto, em altas temperaturas ($>750\text{ }^{\circ}\text{C}$), H_2O torna-se um oxidante para materiais carbonáceos. Assim, a ativação “física” também é baseado em reações oxidativas, ou seja, processos químicos. Olhando para a ativação física realizada como uma segunda etapa após a carbonização, alguns autores distinguir dois estágios de ativação: durante o primeiro estágio de ativação, desorganizado (amorfo) O alcatrão semelhante ao carbono é queimado (oxidado) com o efeito de abrir os poros entupidos. Durante a segunda etapa, partes dos cristalitos de carbono também são oxidadas (SMISEK 1970). O primeiro estágio aumenta principalmente o área de superfície; o segundo estágio aumenta ainda mais a área de superfície específica criando novos (micro) poros espaço ou criar novas interconexões entre os poros, mas também altera a química da superfície (DAUD, W.M.A.W, 2010). Grupos funcionais oxidados, incluindo grupos fenólicos, cetônicos e carboxílicos, são criados no superfícies aromáticas do material carbonáceo (MARSH, 2006).

5.4.2 ATIVAÇÃO QUÍMICA

Na ativação química por fim, entende-se que no processo de ativação as duas etapas ocorrem simultaneamente sendo a materia misturada a agentes quimicos ativadores como os desidratantes e oxidantes. Essa condição de ser realizada em apenas uma etapa concede várias vantagens conciliando carbonização e ativação em uma temperatura mais baixa, por tanto implicando em uma melhor estrutura porosa (IONNIDOU E ZABANTOU, 2006).

Para produzir um PCM quimicamente ativado, a matéria-prima (carvão, linhita, turfa ou biomassa) é misturada (impregnado) com soluções aquosas concentradas de um agente de ativação, dos quais ZnCl_2 , KOH e H_3PO_4 são os mais comuns em escala industrial (MARSH, 2006). Razões de matéria-prima para agente (grau ou coeficiente de impregnação) estão tipicamente na faixa de 1:0,5 a 1:3 com base na matéria seca. O efeito do agente de ativação aumenta com o aumento da dose. Assim, o grau de impregnação pode ser visto como um análogo à magnitude do burn-off na ativação física. durante a mistura intensiva, a estrutura original da matéria-prima começa a degradar. Na biomassa vegetal, as ligações entre as moléculas de celulose se soltam e os íons do agente de ativação ocupar os vazios resultantes e assim definir a microporosidade criada durante a ativação seguinte que fica disponível após a lavagem do carvão ativado. Além disso, os agentes de ativação evitam a formação de alcatrão e assim evitar o entupimento dos poros.

5.5 ADSORÇÃO

Para Nascimento et al., (2014), a adsorção é uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Uma vez que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, tanto mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (RUTHVEN, 1984). A espécie que se acumula na interface do material é normalmente denominada de adsorvato ou adsorbato; e a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula, de adsorvente ou adsorbente (RUTHVEN, 1984).

Os fenômenos de adsorção são resultados de uma combinação entre os tipos de forças envolvidas na adsorção física e química. Desta forma, são vários os fatores que influenciam o processo de adsorção como a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio. É um processo que depende de vários fatores tais como: natureza do adsorvente, do adsorvato e das condições operacionais. As características do adsorvente incluem: área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material. Por outro lado, a natureza do adsorvato depende da polaridade, do tamanho da molécula, da solubilidade e da acidez ou basicidade. As condições operacionais incluem, principalmente, temperatura, pH e natureza do solvente (COONEY, 1999).

A capacidade de adsorção de um adsorvente é determinada principalmente pela sua textura (área superficial e porosidade). Em contrapartida, a química da superfície de um adsorvente é igualmente importante para sua capacidade, principalmente na adsorção de soluções (YOUSSEF et al., 2004).

A adsorção é um fenômeno físico-químico onde o componente em uma fase gasosa ou líquida é transferido para a superfície de uma fase sólida. Os componentes que se unem à superfície são chamados de adsorvatos, e a fase sólida que retém o adsorvato é chamada de adsorvente. Já o processo de remoção das moléculas a partir da superfície do adsorvente é chamado dessorção (GEADA, 2006; LEAL, 2003; MASEL, 1996).

Processos de adsorção são largamente utilizados para remoção de cor, odores ou gosto no tratamento e purificação de águas, óleos, produtos farmacêuticos e efluentes de processos. A adsorção possui inúmeras aplicações a nível industrial (GEADA, 2006):

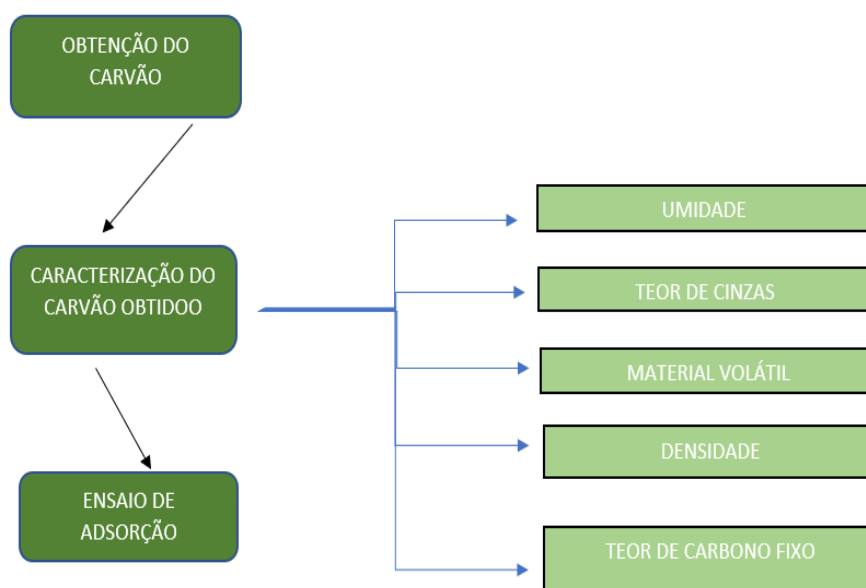
A capacidade de adsorção de um adsorvente é determinada principalmente pela sua textura (área superficial e porosidade). Em contrapartida, a química da superfície de um adsorvente é igualmente importante para sua capacidade, principalmente na adsorção de soluções (YOUSSEF et al., 2004).

A remoção de cor de efluentes de forma econômica permanece como um importante problema embora recentemente vários materiais tem sido sugeridos como adsorventes, tais como, carvão ativado, sílica gel, bauxita, madeira, derivados de celulose (Kamel, Magda & Youseef, 1991).

6.0 MATERIAIS E METODOS

As atividades que foram desenvolvidas durante esta pesquisa estão apresentadas na Figura 2. Os ensaios experimentais de caracterização do carvão ativado e os testes de adsorção foram realizados no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do IFTO, campus Palmas.

Figura 2 - Atividades a serem realizadas



Fonte: Próprio autor (2022).

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO

O carvão (Figura 3) empregado nessa pesquisa foi produzido por Lôbo (2021) quando se efetuou a pirólise de podas de *Syzygium cumini* em reator de leito fixo, na temperatura de 600 °C com taxa de aquecimento de 20 °C /min, usando o vapor de água como gás de arraste a uma vazão de 6 mL/min.

Figura 3 - Amostra de carvão ativado obtido da biomassa de *Syzygium cumini*



Fonte: Próprio autor (2022).

A amostra de carvão ativado foi analisada para a obtenção dos dados da amostra referentes à umidade, teor de cinzas, material volátil, teor de carbono fixo e densidade. A amostra seca em estufa a 60 °C, conforme mostra a Figura 04 e triturada em moinho de bolas. A parte da amostra utilizada foi aquela referente ao material passante na peneira de malha 16# e retido na peneira de malha 20#.

Figura 4 - Estufa a ser utilizada para secagem da amostra.



Fonte: Próprio autor (2022).

6.1.1 Umidade

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

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

Equação (1)

$$\left. \begin{array}{l} A = \text{peso do cadinho vazio} + \text{peso da amostra} \\ B = \text{peso do cadinho} + \text{peso amostra pós-aquecimento na estufa} \\ C = \text{peso da amostra} \end{array} \right\} \quad (\text{g})$$

6.1.2 Teor de cinzas

O teor de cinzas foi calculado segundo o método sugerido por Sanchez et al., (2009), em que uma massa de aproximadamente 1g de carvão ativado é adicionada a um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi calcinada a uma temperatura de 710 °C durante 60 minutos em um forno mufla da marca EDG Equipamentos, modelo W-One. Em seguida o cadinho foi colocados em um dessecador por 1 hora para esfriar e posteriormente foram pesados. O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma ASTM 2415-66/86 e seus resultados foram obtidos através da Equação 2:

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

Equação (2)

$$\left. \begin{array}{l} A = \text{peso do cadinho} + \text{peso amostra após calcinação} \\ B = \text{peso do cadinho vazio} \\ C = \text{peso da amostra} \end{array} \right\} \quad (\text{g})$$

6.1.3 Materil volátil

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

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

Equação (3)

$$\left. \begin{array}{l} A = \text{peso do cadinho vazio} + \text{peso da amostra} \\ B = \text{peso do cadinho} + \text{peso amostra pós-aquecimento em forno mufla} \\ C = \text{peso da amostra} \end{array} \right\} \text{ (g)}$$

6.1.4 Teor de carbono fixo

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

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

Equação (4)

6.1.5 Densidade

Para a determinação da densidade aparente, foi acoplada a uma balança de precisão uma proveta de 100 mL. Posteriormente tarada a balança e adicionado o carvão ativado previamente seco e triturado. Foram obtidas as massas (g) nas sucessivas adições dos respectivos volumes de 20, 40, 60, 80 e 100 mL. A densidade aparente foi obtida através da Equação 5:

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

Equação (5)

6.1.6 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL: DELINEAMENTO DE FACES CENTRADAS (DFC).

O teste foi feito em uma mesa de agitação (Shaker TE 141) (Figura 05) com o carvão ativado proveniente da pirólise de jamelão obtido na temperatura de 600 °C e taxa de aquecimento igual a 20 °C /min, na forma de pó, com granulometria de 0,45 mm. Este ensaio foi realizado no LARSEN-IFTO/Campus Palmas.

Figura 5 - Shaker



Fonte: Próprio autor (2022).

A solução corante (Azul de Metileno), de fórmula química $C_{16}H_{18}N_3S \cdot 3H_2O$ foi empregada no teste, sendo utilizados um volume padrão de 30 mL de solução em todos os testes. 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 (Figuras 06, 07 e 08).

Figura 6 - Espectrofotômetro.



Fonte: Próprio autor (2022).

Figura 7 - Filtro em papel analítico



Fonte: Próprio autor (2022).

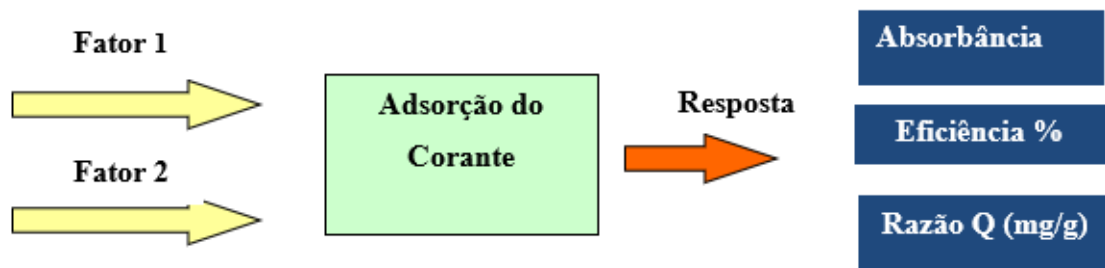
Figura 8 - Filtração



Fonte: Próprio autor.

Foi aplicado um planejamento experimental do tipo Delineamento de Faces Centradas (DFC) (Figura 09) para se verificar os efeitos de duas variáveis independentes (massa de carvão e concentração da solução do corante) no teste de adsorção. A Tabela 2 mostra os níveis dos fatores empregados. O pH da solução do corante foi ajustado a 7. A agitação foi mantida igual a 70 rpm. O tempo de adsorção foi de 30 minutos.

Figura 9 - Representação do planejamento experimental utilizado no processo de adsorção de azul de metileno (Delineamento de faces centradas).



Fonte: Próprio autor (2022).

Onde:

Fator 1 – Massa de carvão (g) e Fator 2 – Concentração do corante (mg/L)

Tabela 2 – Níveis dos Fatores empregados no Planejamento Experimental, durante a adsorção do corante azul de metileno.

Fatores	Níveis		
	(-1)	(0)	(+1)
Massa do Carvão (g)	0,50	0,75	1
Concentração do Corante (mg/L)	20	60	100

Os experimentos foram realizados de forma aleatória, com três repetições no ponto central, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Ordem dos experimentos empregados no planejamento DFC.

Ordem dos Experimentos	X₁	X₂
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	-1	0
6	1	0
7	0	-1
8	0	1
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Fonte: Próprio autor (2022).

7.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO ATIVADO

A seguir, apresentados na Tabela 4, os resultados de teor de umidade, cinzas, material volátil e carbono fixo, do carvão utilizado na pesquisa, obtido através da pirólise das podas de jamelão nas condições de 600 °C a uma taxa de aquecimento de 20 °C/ min.

Tabela 4 - Características obtidas do carvão utilizado.

Variável Analítica	Poda do Jamelão (Assunção, 2022)	Poda do Flamboyant (Barros, 2021)	Casca da castanha de caju (Maia, 2021)
Umidade (%)	16,74	-	5,1
Cinzas (%)	6,60	11,96	6,4
Material Volátil (%)	11,19	23,52	31,2
Carbono Fixo (%)	65,45	64,53	57,3

Fonte: Próprio autor (2022).

A Tabela 4 também apresenta dados experimentais do carvão de outros tipos de biomassa, comparando os valores pode-se perceber que os dados se encontram dentro da conformidade, com exceção da umidade que ficou distante, o teor de cinzas ficou bem semelhante ao de casca da castanha de caju, teores altos de cinzas podem influenciar negativamente o poder calorífico do carvão, porém isso não afeta o presente estudo. O teor de carbono fixo se mostra linear as demais pesquisas.

7.2 TESTE DE ADSORÇÃO DO AZUL DE METILENO

Nesse momento foi realizado o teste da adsorção do corante azul de metileno no carvão ativado gerado através da pirólise de resíduos da poda do jamelão, sendo empregadas as variáveis independentes, concentração do corante e massa do carvão.

O método escolhido foi o Delineamento de Faces Centradas (DFC) definido no Planejamento Experimental (descrito nos procedimentos metodológicos) considerou que as variáveis investigadas para o teste de adsorção do índice de azul de metileno são: massa do carvão (X_1) e concentração do corante (X_2). Os resultados são apresentados na Tabela 5

Tabela 5 – Resultados do teste de adsorção sob o efeito de duas variáveis independentes

Experimentos	Massa do Carvão (g)	Concentração do Corante (mg/L)	Absorbância do filtrado	Eficiência de remoção (%)	Capacidade de adsorção (mg/g)
1	0,50	20	0,05	91,37	1,10
2	1	20	0,05	90,64	0,54
3	0,50	100	0,62	81,47	4,89
4	1	100	0,05	98,27	2,95
5	0,50	60	0,13	93,25	3,36
6	1	60	0,07	96,15	1,73
7	0,75	20	0,03	93,98	0,75
8	0,75	100	0,05	98,04	3,92
9	0,75	60	0,04	97,36	2,34
10	0,75	60	0,06	96,40	2,31
11	0,75	60	0,03	97,80	2,35

Fonte: Próprio autor (2022).

7.2.1 CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO (Q)

O grau de capacidade máxima de adsorção de um carvão ativado indica eficiência deste carvão nas condições em que este foi submetido. A Tabela 6 traz os dados resultantes da interação entre as variáveis deste estudo para o resultado de capacidade máxima de adsorção do carvão ativado originário da pirolise da poda do jamelão.

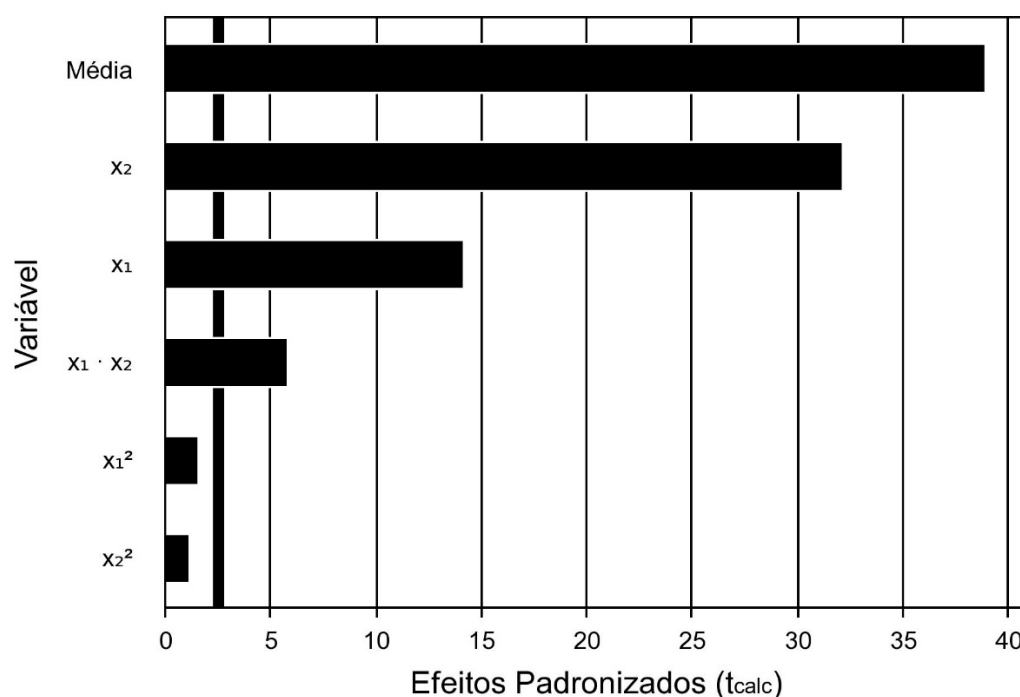
Tabela 6 – Coeficientes de regressão do Planejamento DFC para definição da capacidade máxima de adsorção

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t-calculado	p-valor
Média	2,37	0,06	38,88	0,0000
X_1	-0,69	0,05	-14,15	0,0000
X_1^2	0,12	0,07	1,57	0,1773
X_2	1,56	0,05	32,18	0,0000
X_2^2	-0,09	0,07	-1,20	0,2824
$X_1 - X_2$	-0,35	0,06	-5,84	0,0021

Fonte: Próprio autor (2022).

O gráfico de Pareto representado pela Figura 10 demonstra o efeito significativo das variáveis massa do carvão (X_1), concentração do corante (X_2), massa do carvão quadrática (X_1^2) e concentração do corante quadrática (X_2^2), atribuído a capacidade de adsorção, demonstrando que tais variáveis preditoras influenciam consideravelmente esta capacidade neste resultado.

Figura 10 – Gráfico de Pareto da Capacidade Máxima de Adsorção (Q)



Fonte: Próprio autor (2022).

No resultado da capacidade máxima de adsorção(Q), a massa do carvão (-0,69) em estudo indicou uma adição significativa para o modelo por apresentar um baixo p-valor correspondente a 0,0000, bem como a concentração do corante (1,56) associada ao seu p-valor (0,0000) também baixo.

De acordo com a Equação 6 gerada pela análise de regressão, é aqui apresentada:

$$Q = 2,37 - 0,69 X_1 + 0,12 X_1^2 + 1,56 X_2 - 0,09 X_2^2 - 0,35 X_1 X_2$$

(Equação 6)

Onde: X1 = massa do carvão; X2 = concentração do corante.

Tabela 7 ANOVA para capacidade máxima de adsorção.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F calculado	P valor
Regressão	18,0	5	3,6	254,6	0,00001
Resíduos	0,1	5	0,0		
Falta de ajuste	0,1	3	0,0	78,3	0,01263
Erro puro	0,0	2	0,0		
Total	18,0	10			

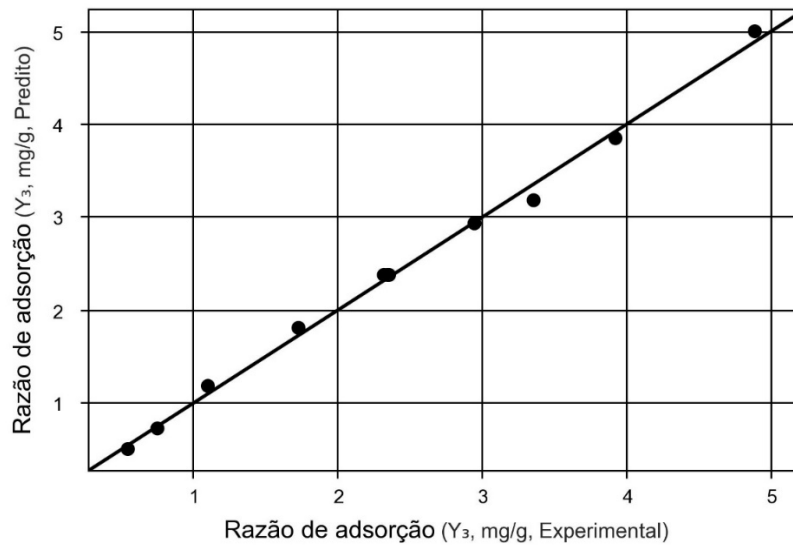
R²= 99,61%

Fonte: Próprio autor (2022).

Para a capacidade máxima de adsorção do carvão desta pesquisa, o valor de Fcalc (254,6) para a regressão é maior que o valor de Ftab (Ftab = 5,05). Apontando que para a ANOVA, tem elevada significância sobre a precisão do método.

A Figura 11 mostra os valores analisados em comparação aos os valores pressupostos para o teste de adsorção do índice de azul de metileno.

Figura 11 – Valores Analisados da Capacidade Máxima de Adsorção (Q)

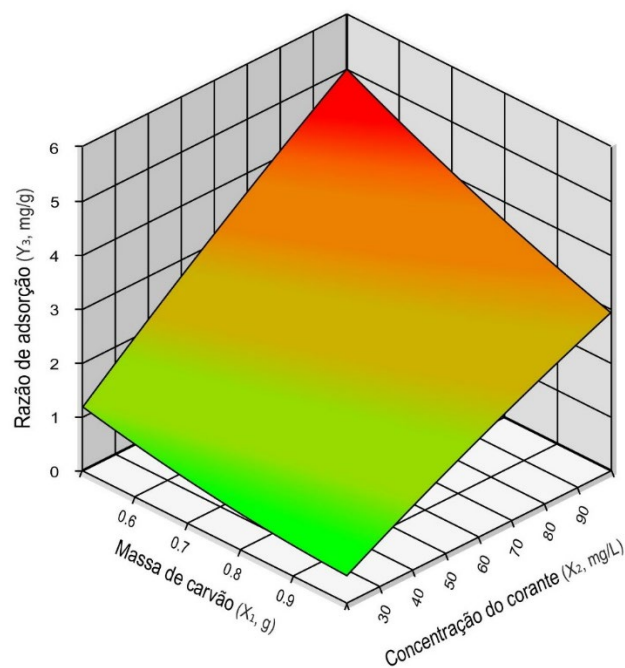


Fonte: Próprio autor (2022).

O modelo bem ajustado representado pelas proximidades dos pontos a linha central ajustada constata-se que dentro deste intervalo de dados fica condicionado que alterações na variável preditora implica em mudanças na variável resposta. Tal fato também é justificado pelo p-valor baixo presente na análise de regressão.

Na superfície de resposta (Figura 12), verifica-se que a capacidade máxima de adsorção do carvão ativado do Jamelão foi obtida em circunstâncias de baixa quantidade de massa carvão e alta concentração de corante, conforme a região ilustrada em vermelho.

Figura 12 – Gráfico de superfície que representa a capacidade máxima de adsorção



Fonte: Próprio autor (2022).

8.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Baseado nos resultados obtidos com esta pesquisa por meio de diferentes etapas (caracterização do carvão ativado, ensaio de adsorção e delineamento experimental), podemos concluir que:

.O teste de adsorção de azul de metileno realizado em mesa giratória orbital e posteriormente analisado estatisticamente, resultou que o carvão obtido na pirólise de biomassa do resíduo de poda do jamelão tem uma alta capacidade de adsorção apresentando em todos os ensaios uma eficiência acima dos 80%.

No teste de eficiência podemos observar que em quase todos os resultados o carvão possui uma eficiência superior a 90% o que torna viável seu uso, porém o índice não variou muito com as variáveis independentes, tornando seu R quadrado baixo.

Todavia no teste de adsorção do corante foi apontado um R quadrado superior a 99% na razão (Q) o que torna o modelo bem ajustado aos dados e uma boa explicação do modelo, além disso aponta uma alta correlação entre as variáveis.

A concentração do azul de metileno e a massa de carvão obtiveram significância quanto a adsorção. A concentração do corante teve efeito positivo demonstrando que com o aumento da concentração da solução maior será a capacidade de adsorção do carvão ativado. A massa de carvão por outro lado obteve efeito negativo evidenciando que quanto menor esse fator neste intervalo de massa maior será a capacidade de adsorção em mg/g, o que é algo positivo, pois gera uma economia da massa do carvão.

Além disso seria interessante o estudo do efeito do carvão ativado obtido de outras espécies oriundos também da poda urbana com o intuito de dar uma destinação mais adequada a esses resíduos, podendo ser analisado também o comportamento desse carvão combinado com o carvão produzido de outras espécies.

REFERENCIAS

AYYANAR, M.; SUBASH-BABU, P. *Syzygium cumini* (L.) Skeels: **A review of its phytochemical constituents and traditional uses.** *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, v. 2, n. 3, p. 240–246, 2012.

TOCANTINS. **Diagnóstico da arborização urbana de Palmas.** Disponível em: <<https://www.palmas.to.gov.br/portal/orgaos/fundacao-municipal-de-meio-ambiente/41/>>. Acesso em: 20 Março. 2022.

PALMAS, **Prefeitura Municipal de. Plano de Arborização Urbana de Palmas-PMP.** Palmas, 2016
SILVA FILHO, D.F. da. et al. **Banco de dados relacional cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas.** *Revista Árvore*, Viçosa, v.26, n.5, p.629-642. Outubro. 2002.

SILVA FILHO, D.F.; PIZETTA, P.U.C.; ALMEIDA, J.B.S.A.; PIVETTA, K.F.L.; FERRAUDO, A. S. **Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas.** *Árvore*, Viçosa, v.26, n.5, p.629-642, 2002.

SILVA, S.P.A. **Levantamento qualitativo e quantitativo da arborização urbana das regiões III, IV, VIII e IX da cidade de Mineiros, em Goiás.** 2006. 78f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas)-Faculdades Integradas de Mineiros, Mineiros–GO, 2006.

IBGE -**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**, Censo Demográfico. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial.html>. Acesso em 24 de Março 2022.

ANA . MARIA. D. M. **Gestão de resíduos da arborização urbana**, 2010.

A.V. BRIDGWATE. **Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass.** *Chemical Engineering Journal* Vol. 91 p.87–102, 2003.

MARSH, H.; Reinoso, F.R. **Activated Carbon**; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2006.

SMISEK, M.; Cerny, S. **Activated carbon.** In *Topics in Organic and General Chemistry*; Elsevier Co.: New York, 1970.

DEMIRBAS, A. **Energy ConVers. Manage.** 2000, 41, 633-646.

DAUD, W.M.A.W.; Houshamnd, A.H. **Textural characteristics, surface chemistry and oxidation of activated carbon.** J. Nat. Gas Chem. 2010, 19, 267–279.

TECHINICAL, Environmental and Economic Feasibility of Bio-oil in New-Hampshire's North Country, UNH Bio-oil Team Report (Final Report submitted to NH IRC), August 2002 (available via the Internet at www.unh.edu/p2/biooil/bounhif.pdf).

MOLINA-SABIO, M.; Gonzalez, M.; Rodriguez-Reinoso, F.; Sepúlveda-Escribano, A. **Effect of steam and carbon dioxide activation in the micropore size distribution of activated carbon.** Carbon 1996, 34, 505–509.

MASCHIO, G.; Koufopanos, C.; Lucchesi, A. **Bioresource Technol.** 1992, 42 (31), 219-231.

SCHANZ, J.J.; Parry, R.H. **The activated carbon industry.** Ind. Eng. Chem. 1962, 54, 24–28.

ALMEIDA, B, B, M. **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. Dissertação (Mestre Ciência em tecnologia de processos químicos e bioquímicos).** Universidade Federa do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2018.

ANDRÉ, L. C. **Pirólise lenta de serragem de eucalipto para a obtenção de bio-óleo e carvão.** Dissertação Universidade Federal de Santa Maria (2004), [Consult 01- abril -2021]. Disponível em WWW: <URL http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=737 >.

BAJAY, S.V., FERREIRA, A.L. **A energia de biomassa no Brasil.** In: ROSILLOCALLE, F.; BAJAY, S.V.; ROTHMAN, H. **Uso da Biomassa para produção de energia na indústria brasileira.** Campinas, SP: Editora da UNICAMP, Cap. 2, p.71-120 2005.

BASU, P. **Biomass Gasification and Pyrolysis: practical design and theory.** Oxford: Elsevier,2010.

BRIDGWATER, A. V. **Biomass Pyrolysis – an overview prepared by task 34.** In **TUSTIN,J., IEA Bioenergy Annual Report.** Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 86, n. 12,p. 1755-1768, 2006.

BRIDGWATER, A. V. **Renewable fuels and chemicals by thermal processing of**

biomass.

Chemical Engineering Journal, v. 91, n. 2-3, p. 87-102. 2003.

BRIDGWATER, A. V.; CZERNIK, S. **Overview of application of biomass fast pyrolysis oil.** Energy and Fuels, v. 18, n. 2, p. 590-598, 2004.

BRIDGWATER, A. V. **Appl. Catal.**, A 1994, 116, 5-47.

BRIDGWATER, A. V.. **Biomass** 1990, 22 (1-4), 279-290..

BRIDGWATER, A. V.; Kuester, J. L. **Research in Thermochemical Biomass ConVersion**; Elsevier Science Publishers: London, 1991.

BRIDGWATER, A. V. **Catal. Today** 1996, 29 (1-4), 285-295.

BRIDGWATER, A. V. **Chem. Eng. J.** 2003, 91, 87-102

BRIDGWATER, A.V. **Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading.** Biomass and Energy, [s. n], p. 1-27, 2011.

SMITH,, A. **On the absorption of gases by charcoal.**—No. I. Proc. R. Soc. Lond. 1862, 12, 424–426.

DEWAR, J. **The absorption and thermal evolution of gases occluded in charcoal at low temperatures.** Proc. R. Soc. Lond. 1904, 74, 122–127.

CHANEY, N. **The activation of carbon.** Trans. Am. Electron. Chem. Soc. 3_6 1919, 91. 31.
CHANEY, N.K. **Adsorptive Carbon and Process of Making the Same.** U.S. Patent 1497543, 10 June 1924.

METALBANK-CO. **Zinc Chloride for Activating Charcoal.** British Patent 238,889, 1924.

BAYER-&-CO. **Manufacture of Active Charcoal by Briquetting Charcoal Fines and Chemicals under Pressure.** British Patents 195,390, 1923.

SUTCLIFFE, E.R. **Absorbent and decolorising carbons.** J. Soc. Chem. Ind. 1924, 43, 635–637.

LEWIS, W.K.; Metzner, A.B. **Engineering, design and process development section: Activation of carbons.** Ind. Eng. Chem. 1954, 46, 849–858.

HELBIG, W.A. **Activated carbon.** J. Chem. Educ. 1946, 23, 98.

WRIGHT, W. **Oxidations on charcoal.** In **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1926; pp. 187–190.

LOWRY, H.H. **On the nature of active carbon.** J. Phys. Chem. 1929, 34, 63–73.

RUFF, O.; Schmidt, G. **Amorpher Kohlenstoff und Graphit.** Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie 1925, 148, 313–331.

SELDON, H.H. **Charcoal activation.** Phys. Rev. 1920, 16, 165–172.

WEISER, H.B.; Sherrick, J. **Adsorption by precipitates.** I. J. Phys. Chem. 1919, 23, 205–252.

MEZOHEGYI, G.; van der Zee, F.P.; Font, J.; **Fortuny, A.; Fabregat, A. Towards advanced aqueous dye removal processes: A short review on the versatile role of activated carbon.** J. Environ. Manag. 2012, 102, 148–164.

ZHAO, F.; Rahunen, N.; Varcoe, J.R.; Chandra, A.; Avignone-Rossa, C.; Thumser, A.E.; Slade, R.C. **Activated carbon cloth as anode for sulfate removal in a microbial fuel cell.** Environ. Sci. Technol. 2008, 42, 4971–4976.

ZHANG, F.; Cheng, S.; Pant, D.; Van Bogaert, G.; Logan, B.E. **Power generation using an activated carbon and metal mesh cathode in a microbial fuel cell.** Electrochem. Commun. 2009, 11, 2177–2179.

GRAND-VIEW-RESEARCH-GROUP. **Activated Carbon Market Analysis by Product (Powdered Activated Carbon (pac), Granular Activated Carbon (gac)), by Application (Liquid Phase, Gas Phase), by End-Use (Water Treatment, Food & Beverages, Pharmaceutical & Medical, Automotive, Air Purification) and Segment Forecasts to 2024**, 100p, Report ID: 978-1-68038-073-6. Available online: <https://www.Grandviewresearch.Com/industry-analysis/activated-carbon-market> (accessed on 6 December 2017).

BRIDGWATER, T. **Biomass for energy.** Journal of the Science of Food and Agriculture, v.

86,

n. 12, p. 1755-1768, 2006.

CARDOSO, M. B. **Uso da biomassa como alternativa energética. Dissertação (Graduação em Engenharia elétrica).** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2012.

CHIARAMONTI, D.; OASMAA, A.; SOLANTAUSTA, Y. **Power generation using fast Y. Catalytic fast pyrolysis of lignocellulosic biomass.** Chemical Society Reviews, v. 43, n.22, p.7594-7623, 2014.

MORAES, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. **Procedimentos para análise lignocelulósica.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.

MOREIRA, R. **Estudo da pirólise lenta da casca da castanha de caju. Dissertação (Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais).** Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2015.

MOREIRA, R. **Estudo da pirólise lenta da casca da castanha de caju. Dissertação (Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais).** Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 201.

ZHANG, L.; XU, C.; CHAMPAGNE, P. **Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass.** Energy Conversion and Management, v. 51, n. 5, p. 969-982, 2010.