



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

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS DA SILVA FARIAS

**ADSORÇÃO DE CORANTE EM CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DA
CASCA DE CASTANHA DE CAJU**

PALMAS – TO

2022

MATHEUS DA SILVA FARIAS

**ADSORÇÃO DE CORANTE EM CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DA
CASCA DE CASTANHA DE CAJU**

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: Professor Dr. Marcelo Mendes Pedroza.

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

F224a Farias, Matheus da Silva
 ADSORÇÃO DE CORANTE EM CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO
 A PARTIR DA CASCA DE CASTANHA DE CAJU / Matheus da Silva
 Farias. – Palmas, TO, 2022.
 55 p. : 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. Adsorção. 2. Carvão ativado. 3. Pirólise. I. Pedroza, Marcelo Mendes. II. Título.

CDD 624

ADSORÇÃO DE CORANTE EM CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE CASTANHA DE CAJU

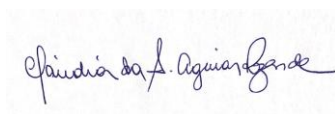
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civi, do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas, como exigência à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 27/06/22

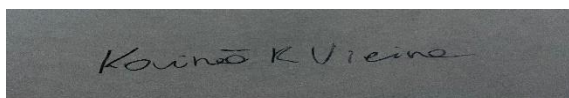
BANCA EXAMINADORA



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



Professora Dr^a. Cláudia da Silva Aguiar Rezende
Membro da Banca



Engenheiro Civil Kainã Rodrigues Vieira
Membro da banca

Dedico
*Aos meus pais **Edvaldo de Souza Farias** e **Dulce Estela Félix da Silva** por todo amor e
incentivo na minha graduação.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por sempre cuidar da minha vida, desde o momento de entrar na faculdade até aqui, tudo é graças a Ele.

Ao meu orientador **Marcelo Mendes Pedroza** pela amizade, dedicação e por todo o suporte necessário para a conclusão deste trabalho de forma gentil e admirável. Obrigado por me acolher e por todos os ensinamentos transmitidos.

Aos membros da banca **Prof. Dra Cláudia da Silva Aguiar Rezende** e em especial meu grande amigo **Eng. Kainã Rodrigues Vieira**, por aceitarem o convite de participação da defesa.

Agradeço as minhas irmãs **Daniele Ferreira** e **Gabriele Farias** por todo amor e apoio durante todos esses anos. A toda minha família, o caminho que percorro é por vocês.

Aos meus amigos de infância que estão comigo até hoje, **Antônio Carlos Junior** e **Silvano Santos**. Obrigado por me ajudarem de forma direta e indireta muitas vezes, contribuindo para minha formação. Vocês são meu time.

Aos meus amigos de turma **Raidson Nascimento, Kainã Rodrigues e Pedro Alexandre**. Agradeço por toda ajuda e parceria durante a graduação e sobretudo pela amizade verdadeira que vou levar por toda a vida.

RESUMO

FARIAS, Matheus da S. **ADSORÇÃO DE CORANTE EM CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE CASTANHA DE CAJU**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2022.

A casca de castanha de caju (CCC) é um resíduo agrícola da produção de castanha cuja sua utilização é aproveitada como combustível para a queima nos fornos das indústrias de beneficiamento. Entretanto, na maior parte dos casos, não há preocupação com os gases liberados para a atmosfera. O carvão ativado é um material inerte onde apresenta notáveis propriedades de adsorção, sendo por isto vastamente utilizado nos sistemas de filtração, tratamento de água e efluentes e adsorção de gases. O objetivo deste trabalho foi empregar o carvão ativado produzido através da pirólise de CCC em processo de adsorção de corante químico. O material adsorvente foi caracterizado através dos seguintes teores: umidade (17,5%), cinzas (6,0%), material volátil (11,6%), carbono fixo (64,8%) e densidade. Aplicou-se um planejamento experimental do tipo Delineamento de Fases Centradas (DFC) para se verificar os efeitos de duas variáveis independentes (massa de carvão e concentração da solução do corante) no teste de adsorção. O experimento mostrou que o comportamento do carvão ativado da CCC no processo de adsorção por meio do teste de índice de azul de metileno, com quantidade baixa de massa e alta concentração do corante, a capacidade de adsorção deste, se torna mais eficiente. Os valores de eficiência de remoção se mantiveram excelentes com todos acima de 95%.

Palavras-chave: Beneficiamento da Castanha de Caju, Resíduos Sólidos, Pirólise.

ABSTRACT

The cashew nut shell (CCC) is an agricultural residue from the production of cashew nuts which is used as fuel for burning in the ovens of processing industries. However, in most cases, there is no concern about the gases released into the atmosphere. Activated carbon is an inert material that presents remarkable adsorption properties, and for this reason it is widely used in filtering systems, water and effluent treatment, and gas adsorption. The objective of this work was to use the activated carbon produced by pyrolysis of CCC in the adsorption process of chemical dye. The adsorbent material was characterized through the following techniques: moisture (17.5%), ash (6.0%), volatile material (11.6%), fixed carbon (64.8%) and density. An experimental design of the type Centered Faces Design (FCD) was applied to check the effects of two independent variables (mass of charcoal and concentration of the dye solution) in the adsorption test. The experiment showed that the behavior of the CCC activated carbon in the adsorption process through the methylene blue index test, with low amount of mass and high concentration of the dye, the adsorption capacity of this, becomes more efficient. The removal efficiency values remained excellent with all above 95%.

Key-words: Cashew Nut Processing, Solid Waste, Pyrolysis.

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Usos do carvão ativado nos segmentos industriais.....	31
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da castanha de caju.....	19
Figura 2 - Cadeia produtiva do caju (<i>A. occidentale</i> L)	19
Figura 3 - Maiores produtores mundiais de castanha de caju em 2018.....	21
Figura 4 - Evolução da produção mundial de castanha de caju (em mil toneladas)	22
Figura 5 – Evolução da produção de castanha de caju nos principais países produtores (Em mil toneladas).....	23
Figura 6 – Estrutura química do corante azul de metileno.....	32
Figura 7 – Diagrama dos procedimentos metodológicos abordados neste trabalho.....	36
Figura 8 – Teste de adsorção na mesa de agitação Shaker TE 141.....	39
Figura 9 - Diagrama de Pareto da eficiência do carvão da CCC.....	43
Figura 10 - Valores observados X valores previstos para a eficiência do carvão da CCC.....	44
Figura 11 - Superfície de resposta para eficiência do teste de adsorção com utilização do carvão ativado da CCC.....	45
Figura 12 - Gráfico de pareto da razão máxima de adsorção (Q) do carvão da CCC....	47
Figura 13 - Valores analisados versus os valores pressupostos da capacidade máxima de adsorção do carvão.....	48
Figura 14 - Gráfico de superfícies que representa a capacidade máxima de adsorção do carvão desta pesquisa.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de castanha de caju no Brasil por região e estados do Nordeste (em toneladas).....	20
Tabela 2 - Caracterização da CCC <i>in natura</i> de diferentes origens geográficas.....	23
Tabela 3 - Fatores e níveis empregados.....	39
Tabela 4 – Experimentos e fatores.....	40
Tabela 5 - Resultados obtidos por meio da análise imediata do carvão da CCC.....	41
Tabela 6 - Resultado do teste de adsorção sob efeito das duas variáveis independentes (massa de carvão e concentração da solução do corante).....	42
Tabela 7 - Coeficientes de regressão do Planejamento DFC.....	43
Tabela 8 - ANOVA para a eficiência das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno.....	44
Tabela 9 - Coeficientes de regressão do Planejamento DFC para definição da razão máxima de adsorção do carvão ativado da CCC.....	46
Tabela 10 - ANOVA para razão máxima de adsorção das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno.....	48

LISTA DE SIGLAS

AM	Azul de Metileno
CA	Carvão Ativado
CF	Carbono Fixo
PCS	Poder Calorífico Superior
PCI	Poder Calorífico Inferior

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
3. JUSTIFICATIVA.....	16
4. OBJETIVOS.....	17
4.1 Objetivo geral.....	17
4.2 Objetivos específicos.....	17
5. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
5.1 A cultura do caju (<i>Anacardium occidentale L</i>)	18
5.2 Pirólise da casca da castanha de caju.....	24
5.3 Adsorção.....	25
5.3.1 Processo de adsorção.....	26
5.3.2 Cinética de adsorção.....	26
5.3.3 Adsorção em fase líquida.....	27
5.3.4 Adsorção e região interfacial.....	28
5.4 Carvão ativado.....	28
5.4.1 Processo de produção de carvão ativado.....	29
5.4.2 Uso industrial do carvão ativado.....	30
5.5 Corante: azul de metileno.....	31
5.6 Análise imediata da biomassa.....	33
5.6.1 Densidade aparente.....	33
5.6.2 Umidade.....	33
5.6.3 Material volátil	34
5.6.4 Teor de cinzas.....	34
5.6.5 Teor de carbono fixo.....	35
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
6.1 Caracterização química do carvão da casca de castanha de caju.....	36
6.1.1 Análise imediata.....	36
6.1.2 Umidade.....	37
6.1.3 Teor de cinzas.....	37
6.1.4 Material volátil	37
6.1.5 Teor de carbono fixo.....	38
6.1.6 Densidade aparente.....	38

6.2 Ensaio de adsorção de azul de metileno em CCC.....	38
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
7.1 Caracterização do carvão da casca de castanha de caju.....	40
7.1.1 Análise imediata da casca de castanha de caju.....	40
7.2 Teste de adsorção do índice de azul de metileno.....	41
7.2.1 Eficiência do carvão da CCC.....	42
7.2.2 Razão Máxima de Adsorção.....	46
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A cultura do caju (*Anacardium occidentale* L.) é de fundamental importância para a economia do Nordeste brasileiro, sendo o Ceará o estado de maior destaque na produção da castanha de caju que é o principal produto da pauta de exportações, na qual segundo Mazzeto et al., (2009), até o ano de 2009 somente no Ceará já foram gerados, cerca de 20 mil empregos, além de proporcionar 280 mil postos de trabalho no campo. De acordo com o mesmo autor, após processamento da castanha de caju, são obtidas as amêndoas, as quais são destinadas para o consumo, e o mesocarpo ou a casca da castanha de caju, que produz o LCC (líquido da casca da castanha de caju), um óleo que contém propriedades para uso industrial como na produção resinas e freios, e medicinal como antisséptico e vermífugo.

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de castanha de caju no mundo, e de acordo com os dados da Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2018), a área ocupada com cajueiro no Brasil em 2017, foi calculada em 505,5 mil ha; desse total, 99,5% está localizado no Nordeste. As indústrias de beneficiamento da castanha concentram-se em grande parte no Ceará, que possui a maior área plantada com cajueiro no País (61,6% da área nacional e 61,9% da área nordestina) (BRAINER & VIDAL, 2018).

Pela óptica socioeconômica, o fruto e o pedúnculo são os componentes mais importantes obtidos do cajueiro. No processo de beneficiamento do fruto, o principal resíduo de biomassa gerado em quantidades significativas é a casca da castanha de caju, no qual parte desta biomassa é aproveitada nas fábricas beneficiadoras e a outra grande fração é disposta em lixões e aterros sanitários. A casca da castanha de caju é aproveitada como combustível para a queima nos fornos das indústrias de beneficiamento, porém, em sua grande maioria, sem a preocupação com os gases liberados para a atmosfera (TAVARES, 2016).

Uma das formas para se reaproveitar essa casca é a produção de carvão ativado. Segundo Freitas (2014) o carvão ativado é um material de carbono com porosidade bastante desenvolvida, com capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos ou impurezas no interior dos seus poros e desempenhar papéis importantes no tratamento de águas residuais, sendo estes, seus usos mais comuns, através de um processo que pode ser obtido a partir da pirólise (BISPO, 2018).

2 PROBLEMA DE PESQUISA

A casca da castanha de caju é aproveitada pelas grandes indústrias como combustível para as caldeiras, entretanto, gera impacto ambiental pela emissão de gases na atmosfera, e nas minifábricas as cascas geradas do processamento, na sua maioria, são dispostas de forma inadequada no solo (LEITE, 1994).

Não apenas a cultura do caju, mas os setores agroindustriais e de alimentos, produzem grandes quantidades de resíduos sólidos, que, por sua vez, podem constituir sérios problemas de disposição final e possuir potencial poluente (PINTO et al., 2006).

Em vista disso, o processo de beneficiamento do caju, que parte da agroindústria do fruto, é o motivador de volumosa fração de resíduos agroindustriais, destinando-os de forma inadequada no solo e, seguindo parte para incineração com a finalidade de produção de energia, o que diverge das normas de segurança ambiental por produzir poluentes ao meio ambiente (MAIA, 2021).

A destinação dominante (e insustentável) dos resíduos sólidos para aterros é outra problemática importante: “[...] paga-se para ‘enterrar’ resíduos que, muitas vezes, poderiam ser primeiramente reduzidos, ou então reciclados” (Santos & Gonçalves-Dias, 2012). Neste contexto, o descobrimento de um valor agregado à casca de castanha de caju, é visto hoje, como uma alternativa sustentável para a produção de energias renováveis e a destinação ambientalmente segura deste resíduo, objetivando o propósito de aproveitamento e equacionamento da geração excessiva e a disposição ambientalmente correta. Neste contexto, surge o interesse de novas pesquisas e tecnologias para o uso alternativo desta biomassa.

3 JUSTIFICATIVA

A origem do cajueiro fundamenta-se em provas circunstanciais que indicam, de forma convincente o Brasil, ou pelo menos, o norte da América do Sul e parte da América Central como o centro de procedência da espécie cultivada (THÉVET, 1978).

Esta planta de nome científico *Anacardium occidentale* L. apresenta considerável capacidade adaptativa a solos de baixa fertilidade, a temperaturas elevadas e ao estresse hídrico (SERRANO; PESSOA, 2016), adaptando-se melhor às regiões costeiras do Nordeste brasileiro, onde faz parte da vegetação de praias e dunas, além das formações de restingas, permitindo supor que a origem filogenética da espécie reside em limítrofes da Mata Amazônica ou cerrados com ecossistemas da região Nordeste, com base na maior

diversidade e adaptação da planta nestas localidades (MAZZETO;LOMONACO,2009).

Em todo o mundo, existe um grande esforço para a implantação de sistemas alternativos para transformar a energia da biomassa em fontes energéticas que minimize o impacto ambiental e possa tornar processos de produção auto sustentáveis, como é o caso de indústrias e mini-fábricas beneficiados, sem grandes ou nenhuma emissão de poluentes, gerando energia limpa no próprio local de consumo, diminuindo as perdas associadas ao transporte de energia e chegando até mesmo em áreas isoladas (MOREIRA, 2015).

A necessidade de se aproveitar resíduos se torna cada vez maior nas indústrias modernas, já que as quantidades de resíduos geradas podem atingir várias toneladas (QUIRINO, 2019). Porém, pode-se agregar valor a esses resíduos, gerando assim interesses econômicos e ambientais, no entanto, necessita-se buscar meios científicos e tecnológicos que possibilitem sua utilização eficiente, econômica e segura (LÓPEZ-MARCOS et al., 2015).

Alguns estudos sobre o reaproveitamento da casca de castanha de caju para fins diversos, e seus possíveis benefícios já vêm sendo realizados, onde resultados positivos foram alcançados em algumas pesquisas. Os resíduos desta biomassa também podem ser convertidos em outros produtos químicos por meio de rotas bioquímicas para fins diversos. As frações líquida, sólida e gasosa obtidas por processos termoquímicos podem ser submetidas posteriormente a outros processos tecnológicos para geração de produtos com maior valor agregado (MOREIRA, 2015).

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Realizar o processo de adsorção de poluente em carvão ativado proveniente da casca de castanha de caju.

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar quimicamente o carvão ativado;
- Efetuar testes de adsorção de azul de metileno em carvão ativado;
- Construir o modelo estatístico que representa o processo.

5 REVISÃO DE LITERATURA

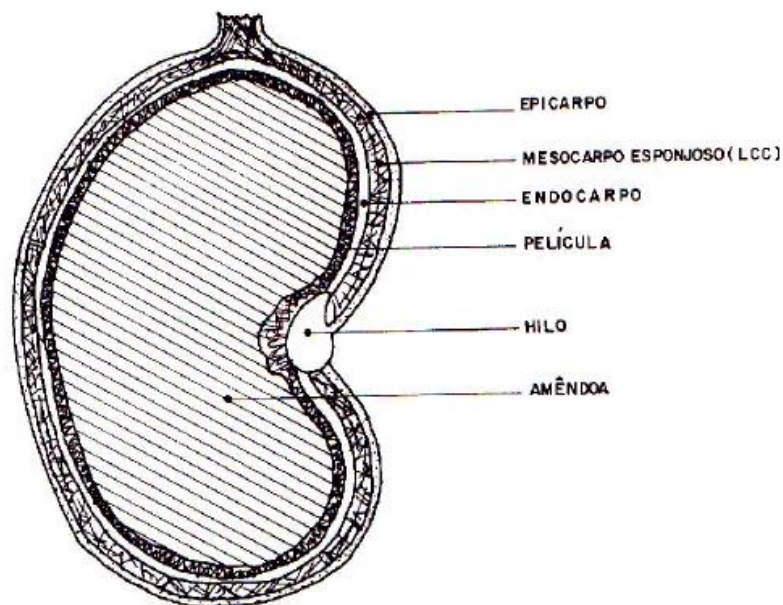
5.1 A cultura do caju (*Anacardium occidentale* L.)

O cajueiro, *Anacardium occidentale* L. (Anacardiaceae), é uma árvore nativa da América Tropical, produtora de castanhas comestíveis e suculentos pedúnculos (pseudofrutos) amplamente consumidos pela população de diversos países (OLIVEIRA, 2008). O caju, entre as frutíferas cultivadas, destaca-se no contexto socioeconômico de algumas regiões tropicais subdesenvolvidas, ao redor de todo o globo, pelo alto valor nutritivo e comercial dos seus produtos, e também pelo caráter de trabalho intensivo, cuja produção e industrialização garantem expressivo fluxo de renda, tornando esta cultura uma fonte importante de oportunidades de emprego para a população (PEREIRA et al., 2005; RAMOS et al., 2011).

A cultura do caju pode ser encontrada numa faixa entre os paralelos de 27° N, no sudeste da Flórida, e 28° S na África do Sul (OLIVEIRA, 2008), estendendo-se para outros países como Moçambique, Índia, Angola e Quênia, desde o século XVI (ASSUNÇÃO E MERCADANTE, 2003). No Brasil esta espécie é localizada principalmente nas regiões Norte e Nordeste, no qual a indústria do caju representa a maior parte da economia regional, sendo uma das principais fontes de renda e trabalho nas zonas rurais (MOREIRA et al., 2013).

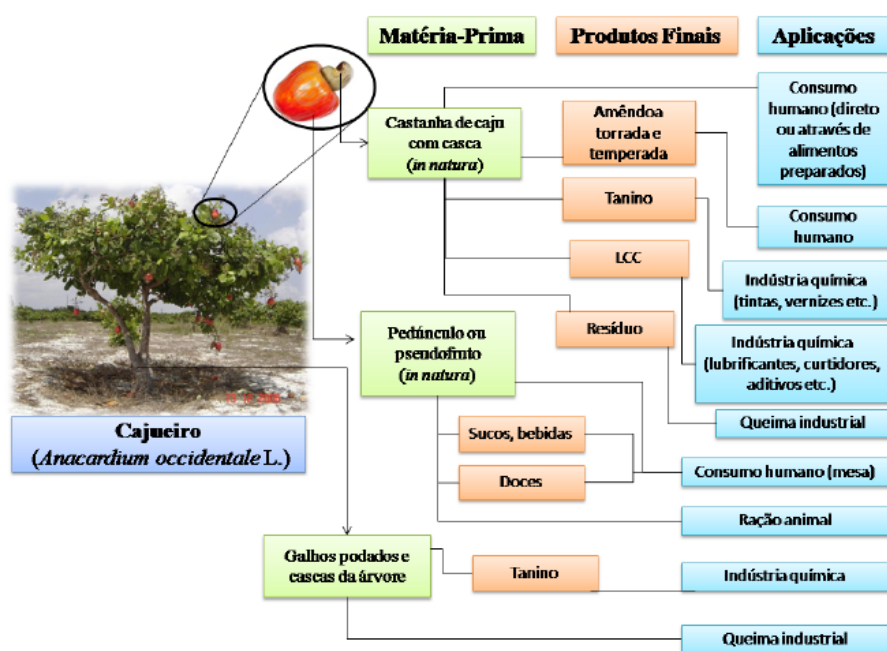
A castanha de caju é composta por amêndoa, película e casca (Figuras 1 e 2). A castanha ou amêndoa é o fruto comestível obtida após o processamento da castanha de caju, possui um alto valor nutritivo (SOARES et al., 2012), podendo ser consumida como castanha, torrada, farinha, no preparo de doces, pratos quentes, sendo exportada para todo o mundo. Do total produzido 47% é destinado ao consumo e 53% vai para o processamento industrial (CORRÊA et al., 2008).

Figura 1 - Estrutura da castanha de caju.



Fonte: ABOISSA (2015).

Figura 2 – Cadeia produtiva do caju (*A. occidentale* L.).



Fonte: COELHO (2014).

O Nordeste responde por quase toda a produção brasileira de castanha de caju (98,6%), portanto, o que ocorre nessa Região reflete semelhantemente no País. Em 2018, a produção foi de 139 mil toneladas provenientes, principalmente, do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, equivalente a 89,0% da produção nacional, com destaque para o Ceará que participou com mais da metade dessa quantidade, conforme a Tabela 1 (BRAINER & VIDAL, 2020).

Em 2017, o maior volume de chuva contribuiu para um salto de 80,8% na produção nordestina. No Ceará, o aumento da produção foi de 161,9%, como resultado do processo de substituição de copas em cajueiros gigantes e plantio de novas áreas com cajueiro anão (Tabela 1). O programa desenvolvido pelo Estado, através da Secretaria de Desenvolvimento Agrário (SDA) e a EMATERCE, que preveem a distribuição de mudas e substituição de copas em uma média de três mil hectares de cajueiro por ano, tem dado bons frutos (BRAINER & VIDAL, 2020).

No Piauí e Rio Grande do Norte a produção também aumentou, mas em níveis menores, respectivamente, 52,8% e 13,8%, porque esses estados perderam drasticamente mais da metade de suas áreas e de seus pomares. Somente entre 2011 e 2012, a queda de produção do Piauí foi de 80,5% e do Rio Grande do Norte, 66,8% (Tabela 1). Nesses estados, o cajueiro é cultivado, na maioria, por pequenos produtores (BRAINER & VIDAL, 2020).

Tabela 1 - Produção de castanha de caju no Brasil por região e estados do Nordeste (em toneladas).

Brasil/Região/UF	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Norte	2.594	3.318	3.495	2.311	1.663	1.651	1.453	1.466	1.826	731	766
Nordeste	101.478	227.191	76.824	107.090	105.789	101.456	73.019	132.049	139.495	138.572	129.277
Maranhão	6.871	5.114	4.925	4.980	5.177	4.093	4.848	5.665	5.998	3.969	4.336
Piauí	4.336	45.773	8.923	12.863	12.347	12.751	11.189	17.100	24.885	21.631	24.714
Ceará	39.596	111.718	38.574	53.112	51.211	52.118	30.968	81.098	83.036	87.711	74.284
Rio G. do Norte	26.601	54.252	18.003	28.109	27.405	22.337	18.169	20.670	17.986	16.859	17.211
Paraíba	2.231	1.897	818	1.025	991	960	897	893	864	921	802
Pernambuco	5.564	6.293	3.401	2.067	2.745	3.164	2.906	2.491	4.018	4.111	4.037
Alagoas	584	388	770	665	634	612	664	760	697	370	443
Sergipe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bahia	5.440	1.756	1.410	4.269	5.279	5.421	3.378	3.372	2.011	3.000	3.450
Centro-Oeste	270	236	311	278	261	256	96	93	97	80	87
Brasil	104.342	230.785	80.630	109.679	107.713	103.363	74.568	133.608	141.418	139.383	130.130

Fonte: IBGE (2020).

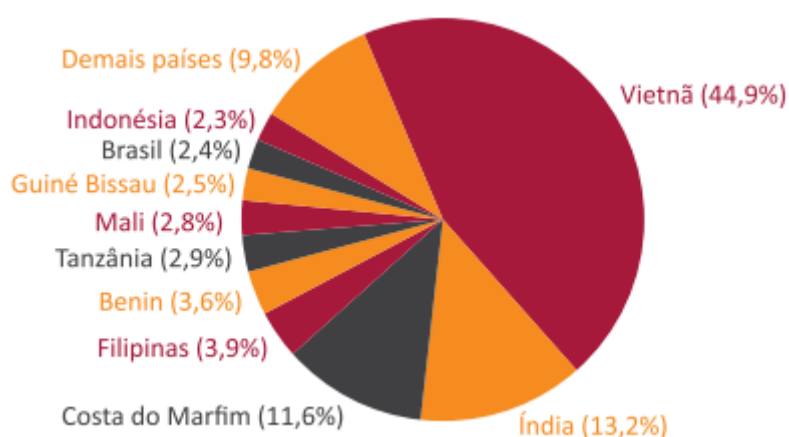
A produtividade da castanha de caju brasileira que já era bastante inferior ao de seus concorrentes internacionais, caiu ainda mais, tirando o País da posição de 5º maior

produtor mundial, em 2011, para 13º, em 2016, com apenas 1,8% do volume mundial de castanha nesse ano. Entretanto, a partir de 2017, o maior volume de chuvas em relação aos anos anteriores resultou no crescimento da oferta de castanha de caju, mesmo com a área colhida em declínio, e o País passou à 9ª posição, com a participação de 2,4% da produção mundial (Figura 3) (BRAINER & VIDAL, 2020).

O Vietnã não está entre os Países que possuem as maiores áreas, mas devido à sua elevada produtividade torna-se o principal produtor com uma considerável participação na produção mundial (Figura 3). O desenvolvimento da cajucultura no País deve-se, em grande parte, à Associação do Caju no Vietnã (VINACAS) e ao apoio governamental, que têm investido em coleta e reprodução de germoplasma, gerenciamento integrado da colheita, projetos de extensão, bem como maior proximidade entre os produtores rurais, cientistas, elaboradores de políticas e companhias; além de maior proximidade da associação com o processamento, a comercialização e com o apoio governamental (BRAINER & VIDAL, 2020).

A Índia é a segunda maior produtora e principal consumidora mundial. Grande parte de sua produção é para consumo próprio, com considerável aumento em função de uma tradição religiosa que tem levado parcela da população a tornar-se vegetariana e consumidora da castanha de caju como fonte de proteína (Figura 3) (BRAINER & VIDAL, 2020).

Figura 3 – Maiores produtores mundiais de castanha de caju em 2018.



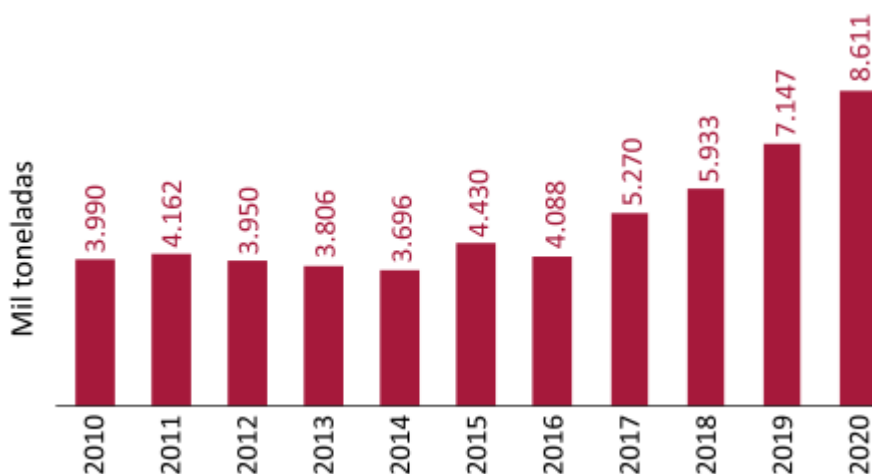
Fonte: FAOSTAT (2020).

O aumento da produção mundial de castanha de caju, entre 2016 e 2017, foi atribuído principalmente ao Vietnã, à Índia, que respondeu por 6,3% desse acréscimo, à

Costa do Marfim (5,2%) e ao Brasil (Figura 4 e Figura 5). A grande distância dos maiores produtores mundiais em relação aos demais países decorre da maior produtividade do Vietnã e das maiores áreas cultivadas na Índia e Costa do Marfim (Figura 3) (BRAINER & VIDAL, 2020).

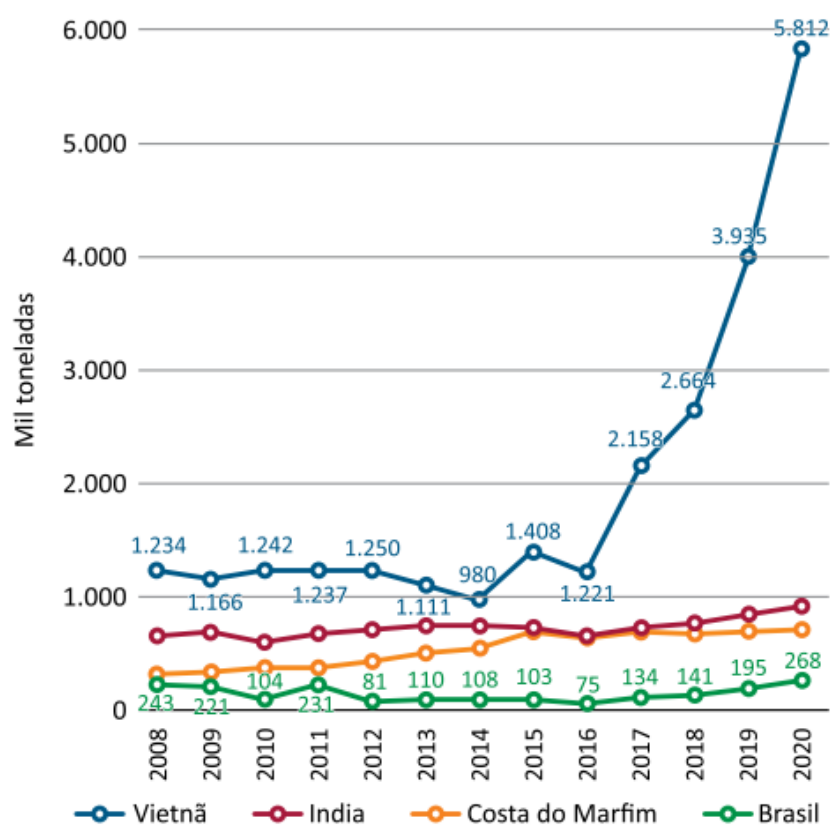
Entre 2017 e 2018 o aumento foi menor, tendo o Vietnã responsável pela maior parcela. Mas vale ressaltar a considerável participação dos países africanos Mali (14,4%) e (Benin (9,0%). Em Mali, os pomares de caju tiveram aumento de produtividade de 94,2%; e em Benin, o acréscimo na produção foi em função do aumento de área (21,0%). Nesses dois países existem projetos que são apoiados pela Cooperação Espanhola, União Europeia e pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Caso as estimativas se confirmem, a produção mundial chegará a 8,6 milhões de toneladas, em 2020 (Figura 4) (BRAINER & VIDAL, 2020).

Figura 4 – Evolução da produção mundial de castanha de caju (Em mil toneladas).



Fonte: Adaptado de FAOSTAT (2020) e CONAB (2020a).

Figura 5 – Evolução da produção de castanha de caju nos principais países produtores
(Em mil toneladas).



Fonte: Adaptado de FAOSTAT (2020) e CONAB (2020).

A Tabela 2 apresenta resultados da caracterização da CCC de diferentes origens geográficas.

Tabela 2 - Caracterização da CCC *in natura* de diferentes origens geográficas.

	África Tsamba et al. (2006)	Brasil Figueiredo (2011)	África Melzer et. al. (2013)	Índia Gangil (2014)
Umidade (%)	-	8.7	8.2	7.5
C (%)	58.3	52.9	58.1	45.8
H (%)	7	6.9	7.1	6.3
N (%)	0.7	0.8	0.5	0.7
O (%)	32	39.4	32.4	-
M.V. (%)	81.8	79.6	84.5	-
C – fixo (%)	17.3	19.0	13.6	-
Cinzas (%)	0.9	1.4	1.9	2.2
PCS (MJ kg ⁻¹)	24.05	22.5	25.7	-

Fonte: MOREIRA (2015).

5.2 Pirólise da casca da castanha de caju

O processo de pirólise da CCC já vem sendo estudado por alguns pesquisadores como rota alternativa de aproveitamento desta biomassa. Das (2003) descreveram a distribuição dos produtos (líquido, gás e carvão) da CCC usando um reator de pirólise a vácuo e mostraram que a proporção de bio-óleo nos produtos de pirólise, mantiveram-se praticamente constante na faixa entre 400°C e 550°C e o rendimento máximo de bio-óleo foi obtido a 500°C. O poder calorífico do bio-óleo obtido foi de 40 MJ.kg⁻¹, o qual é semelhante aos combustíveis provenientes do petróleo.

Das (2004) estudaram também a composição química do bio-óleo da pirólise da CCC por meio de diferentes técnicas identificando a presença de cardanol, di-n-octilftalato, bis (2-etil hexil) ftalato, cardol, di-n-decil ftalato como os produtos principais. A ausência de ácido anacárdico no bio-óleo foi atribuída a descarboxilação do ácido anacárdico nas condições de reação de pirólise. Assim, a presença de compostos orgânicos com cadeias lineares longas (C6-C15) e com elevada razão C/H contribuiu para o elevado poder calorífico de 40 MJ.kg⁻¹ do bio-óleo obtido.

Tsamba et al. (2006) estudaram as características e a cinética global do processo de pirólise da CCC e da casca de coco usando pellets de madeira como comparativo a essas biomassas. A degradação das biomassas foi estudada em atmosfera inerte por análise termogravimétrica acoplada a espectroscopia na região do infravermelho variando as taxas de aquecimento de 5 a 50°C min⁻¹ num intervalo de temperatura até 900°C, onde foi avaliado o perfil da pirólise e os parâmetros cinéticos. A CCC previamente caracterizada é mais rica em hidrocarbonetos do que a madeira, o que levou a um baixo rendimento do bio-carvão e energia de ativação moderada (130 – 216 kJ mol⁻¹).

Kiruthika et al. (2013) estudaram a produção de bio-óleo a partir da pirólise de vários resíduos agrícolas, incluindo a CCC, utilizando um pirolisador em escala laboratorial. Neste equipamento foi utilizado de 10-15 g de biomassa a diferentes temperaturas entre 450°C e 550°C. Verificou-se que a produção de bio-óleo aumenta com a elevação da temperatura até 550°C e a produção de carvão diminui.

A pirólise rápida de resíduos agroindustriais, entre eles a CCC, foram estudados por Melzer et al., (2013). As biomassas foram submetidas a um reator tubular previamente aquecido a 500°C sob um fluxo de nitrogênio de 0,666 L min⁻¹. A fração líquida foi obtida no tempo de 12 min enquanto que a fração gás foi recolhida em 15 minutos de processo. Dentre as biomassas estudadas, a CCC apresentou ser uma biomassa

lignocelulósica rica em extrativos, revelando a influência destes sobre o comportamento de decomposição e de conversão da biomassa. A pirólise pode revelar também a influência do alto teor de extrativos na biomassa inicial em relação ao rendimento do produtos de pirólise, no qual o rendimento do produto líquido foi maior enquanto que o bio-carvão e o gás apresentaram menor rendimento. Um estudo detalhado de pirólise mostrou que os extrativos do óleo de pirólise da CCC não são totalmente craqueados em comparação com óleos vegetais que se decompõem quase inteiramente levando a sugerir propriedades físico-químicas semelhantes ao óleo diesel combustível. Além disso, estes óleos de pirólise contêm produtos químicos que podem ser extraídos como os fenóis e aminas.

Por ter alto poder calorífico, o carvão, resultante do processo de pirólise, pode ser utilizado como combustível ou pode ser reaproveitado como insumo para a preparação do carvão ativado. Já a fração líquida, resultante deste processo, apresenta uma complexa mistura de hidrocarbonetos. Por este motivo, pode ser utilizada como combustível, ser adicionado ao insumo de refinarias de petróleo melhorado por catalisadores a fim de produzir combustíveis refinados de grau elevado, ou ainda poderá ser potencialmente usado como produto químico. Dentre os subprodutos da pirólise, o alcatrão geralmente tem preferência devido ao seu poder calorífico, sua facilidade de transporte e armazenagem, seu baixo conteúdo de nitrogênio e enxofre e pela alternativa de serem convertidos em produto químico (APAYDIN-VAROL & PÜTÜN, 2007).

5.3 Adsorção

Conforme Souza (1999), adsorção pode ser definida como sendo um processo no qual as moléculas que estão presentes em um fluido, líquido ou gasoso podem acumular-se espontaneamente sobre uma superfície sólida. Este fenômeno ocorre, devido a um resultado de forças que não se encontram de forma balanceada na superfície do sólido e que assim, atraem as moléculas do fluido em contato por um tempo finito.

Na adsorção, à substância que sofre o processo dá-se o nome de adsorvato e àquela que o promove dá-se o nome de adsorvente. Os principais componentes da adsorção são o solvente, a superfície (normalmente um sólido poroso) e os elementos retidos pela superfície (CURBELO, 2002).

5.3.1 Processo de Adsorção

A adsorção é um processo espontâneo de transferência que ocorre sempre que uma superfície de um sólido é exposta a um gás ou um líquido. Este material sólido apresenta a propriedade de reter uma ou mais espécies de moléculas ou íons presentes (XU et al., 2002).

No processo de adsorção é a posição dos grupos funcionais do adsorvato sobre a superfície do adsorvente que determina o tipo de ligação entre adsorvato/adsorvente e, assim determina se o processo é físico ou químico (McKAY, 1996).

Alguns métodos convencionais de tratamentos, por exemplo: precipitação, troca iônica, tratamento eletroquímico, floculação, ozonização e filtração, que são utilizados para descontaminação de efluentes com metais tóxicos, geralmente são limitados por serem tecnicamente ou economicamente não viáveis devido ao tempo de detenção caro e longo, tornando-se de difícil aplicação principalmente quando essas técnicas são utilizadas para remover metais dissolvidos em grandes volumes de água, além de produzirem resíduos sólidos que são mantidos e armazenados, gerando um outro problema grave (FERREIRA et al. 2007; SOUSA et al, 2007).

A adsorção ainda é um tratamento alternativo sendo muito eficiente para remoção de metais tóxicos, pois durante a adsorção, ocorre o acúmulo de um determinado elemento, ou substância, na interface da superfície sólida e da solução adjacente (COHEN-SHOEL et al. 2002; SOUSA et al. 2007).

O processo de adsorção pode ser avaliado quantitativamente através das isotermas de adsorção (VOLESKY, 2004).

5.3.2 Cinética de adsorção

A cinética química é o ramo da química que estuda as velocidades e mecanismos das reações. A velocidade de uma reação é a medida da rapidez com que se formam os produtos e se consomem os reagentes. O mecanismo de uma reação consiste na descrição detalhada da sequência de etapas individuais que conduzem os reagentes aos produtos (RUSSELL, 1994).

A cinética de adsorção descreve a velocidade de remoção do soluto, sendo dependente das características físicas e químicas do adsorvato, adsorvente e do sistema experimental. Os parâmetros a serem avaliados incluem: pH, temperatura, concentração

do adsorvato, tamanho dos poros do adsorvente, tipo de adsorvato e a natureza da etapa limitante de velocidade de adsorção (FERNANDES, 2005). Soares (1998) considera que a cinética de adsorção possui três etapas no processo de adsorção, que são respectivamente:

- O transporte do adsorvato para a superfície externa do adsorvente;
- A difusão do adsorvato para dentro dos poros do adsorvente e;
- A adsorção do adsorvato na superfície interna do adsorvente.

Segundo o mesmo autor, a primeira etapa pode ser afetada pela concentração do fluido e pela agitação, significando que o aumento da concentração do fluido pode acelerar a difusão de adsorvato da solução para a superfície do sólido. A segunda etapa já depende da natureza das moléculas do fluido, a terceira é a determinante, especialmente no caso de adsorventes microporosos.

A cinética de adsorção seria então inicialmente mais rápida, devido à adsorção ocorrer principalmente na superfície externa do adsorvente, à medida que ela vai ficando mais lenta, o processo de adsorção vai acontecendo na superfície interna do adsorvente, transporte este que é facilitado pela agitação da solução, sendo a difusão do adsorvato no adsorvente é a etapa determinante da velocidade. Se o adsorvente possuir baixa microporosidade, torna-se inacessível às moléculas de soluto, ocorrendo assim uma adsorção mais rápida quando comparada com adsorvente com grande volume de microporos (BARROS, 2001).

Para examinar o mecanismo controlador do processo de adsorção podem ser utilizados vários modelos cinéticos, tais como: reação química, controle da difusão e transferência de massa (ONAL, 2006).

5.3.3 Adsorção em fase líquida

Este tipo de adsorção tem sido utilizado visando à remoção de contaminantes presentes em baixas concentrações, decorrentes de vários processos. Em algumas situações, o objetivo principal dirige-se à remoção de componentes específicos. Porém, em outros casos, quando os componentes não são bem definidos, o objetivo fundamental é baseado na melhoria de algumas propriedades de interesse tais como: cor, paladar, odor e estabilidade do armazenamento (ARAÚJO, 2009).

5.3.4 Adsorção e região interfacial

Conforme Butt (2006) adsorção é o acúmulo de uma substância em uma interface, a qual pode ser: gás-sólido; gás-líquido; líquido-líquido; sólido-sólido; gás-líquido-sólido; líquido-líquido-sólido e líquido-sólido-sólido. Este processo envolve o acúmulo entre fases ou a concentração de substâncias em uma superfície ou interface de grande área específica e afinidade física entre a superfície do material adsorvente e o adsorvato.

Desta forma, o processo de adsorção pode ser entendido como sendo o enriquecimento de um ou mais componentes em uma região interfacial, ou seja, a região de contato entre duas fases sendo que pelo menos uma delas seja condensada devido ao fato de não existir interface gás-gás visto que todos os gases são miscíveis em qualquer condição de composição ou temperatura (ARAÚJO, 2009).

Ainda segundo Araújo (2009), é através do desequilíbrio de forças na interface que irá resultar em diversos fenômenos importantes, como por exemplo a adsorção. Desta forma, o componente presente no interior da fase é atraído para a superfície do sólido como uma forma de diminuir o desequilíbrio de forças dos átomos dos sólidos presentes na região interfacial. Em decorrência das diferenças nas interações entre as moléculas presentes na interface ocorre a resistência ao aumento da área de contato entre as duas fases. Esta resistência é denominada tensão superficial, a qual representa a oposição ao aumento da superfície de contato.

Dependendo da natureza das interações entre o adsorvente e o adsorvato, a adsorção pode ser: adsorção física ou química (MCKAY, 1996).

Se houver retenção entre a substância a qual está para ser distribuída e a superfície de forma química, por processo de ligação iônica ou covalente, denomina-se adsorção química e o processo para reverter o fenômeno necessita de alta energia. Porém, se a substância permanece na superfície, mas não reage (através de atrações de Van Der Waals), origina-se uma adsorção física e o processo é reversível com baixo valor de adsorção (ZOLLINGER, 1991; MCKAY, 1996).

5.4 Carvão Ativado

O carvão ativado (CA) é um termo usado para descrever materiais à base de carbono que possuem alta área superficial, uma estrutura interna porosa de tamanhos diversificados, bem como, um amplo espectro de grupos funcionais oxigenados (LIU et

al., 2011; REINOSO & MOLINA, 1998).

Outra característica do CA de importância significativa é a grande variedade de materiais, selecionados como material de partida para sua produção; uma vez que suas características físico-químicas, além do método de preparação, são responsáveis pelas propriedades de adsorção de carbono, micro-nanoestrutura, características texturizadas e as possíveis aplicações (ABIOYE & ANI, 2015).

Após a carbonização e ativação do material precursor, o carvão apresenta uma porosidade interna similar a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. Esses túneis são responsáveis por interações físicas e químicas específicas com características intrínsecas do material adsorvente (REINOSO & MOLINA, 1998).

Em geral, os carvões ativados são preparados através do tratamento com gases oxidantes, ou pela carbonização de materiais carbonosos, misturados com produtos químicos desidratantes, em condições específicas para desenvolver porosidade (CHA et al., 2016; LOFRANO, 2012).

A ativação consiste na retirada de resíduos orgânicos que estejam obstruindo os poros, resultando em uma forma de carvão mais poroso e, por isso, com maior área superficial (CHINGOMBE et al., 2005; CHUAH et al., 2005; GALHETAS, 2014). Durante esse processo, deseja-se manter o controle das características básicas do material, de acordo com a aplicação que se deseja propor ao CA. Diferentes tamanhos de poros podem ser formados de acordo com a temperatura, com o material de origem e com as condições de ativação.

Anualmente em torno de 400.000 toneladas de carvão ativado são produzidas de diversas formas ao redor do mundo, partindo de aproximadamente 1 milhão de toneladas de variados precursores (MARSH, 2001; FERNANDES, 2010).

5.4.1 Processo de Produção de Carvão Ativado

A produção de CA é constituída basicamente de duas etapas principais: a pirólise da matéria-prima seguida de ativação (BORGES et al., 2003).

A ativação, processo subsequente à pirólise, consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da sua área superficial específica através do aumento da porosidade do carvão. É desejado, nos processos de ativação, o controle das características básicas do material (distribuição de poros, área superficial

específica, atividade química da superfície) de acordo com as configurações necessárias para uma aplicação específica (REINOSO, 2006).

A ativação química, etapa geralmente sequente à pirólise, tem como função principal de alterar características do carvão, com utilização de substâncias químicas oxidantes, resultando mudança na formação dos mesoporos e macroporos, onde esses agentes mais usados são H_3PO_4 , $ZnCl_2$ e KOH (FOGLER, 1998). Neste modo de ativação, os agentes de ativação, reagem iniciando o rompimento das paredes estruturais nas biomassas. Com degradação mais evidente ao aumentar a proporção de ácido, que é impregnado no material, ao gerar maior exposição dos capilares naturais e dos poros estruturais da biomassa (AHMADPOUR, 1997).

As etapas de pirólise e ativação podem ser realizadas tanto de forma conjunta como separadas. Na forma conjunta o precursor é misturado com agentes de ativação durante a pirólise, onde os ativadores químicos são usados em diferentes proporções, atuando de forma a desidratar, influenciando de forma direta a pirólise do precursor, evitando liberação de matéria orgânica volátil através da aromatização do esqueleto do carvão e maior fixação do carbono. Quando da utilização de ativação de forma separada, faz-se a pirólise da amostra, e logo após é feita a impregnação com o agente escolhido a fim de obter o CA (GUO & LUA., 2000).

A utilização do método de ativação química, pode apresentar vantagens, como por exemplo de ser conduzido em única etapa pelo emprego de temperaturas mais baixas e tempos de ativação mais curtos, para a obtenção de carvões de elevado rendimento, todavia, pode ser considerado complexo o processo de recuperação e reciclagem de alguns tipos de agentes de ativação, podendo ocorrer geração e possível descarte de líquidos contaminados, com eventual necessidade de tratamento dos efluentes (YANG et al., 2010). De forma geral, o uso de ativação química, pode gerar carvões com poros maiores, mais apropriados a aplicações em fase líquida (SAI & KRISHNAIAH, 2005).

5.4.2 Uso Industrial do Carvão Ativado

Segundo Macêdo (2012) o segmento industrial tem interesse no carvão ativado devido a seu comportamento de adsorvente e suas aplicações que incluem o refino do açúcar, tratamento de água, recuperação de metais preciosos e a desodorização do ar, além de um excelente poder de clarificação, desodorização e purificação de líquidos e gases.

O Quadro 1 abaixo demonstra os usos mais comuns do carvão ativado nas diversas

linhas comerciais:

Quadro 1 – Usos do carvão ativado nos segmentos industriais.

Resíduos Industriais	O CA é utilizado para a reciclagem de águas industriais, promovendo a remoção de substâncias orgânicas, redução de espuma, proporcionando melhoras ao resíduo final.
Tratamento de Água	O CA proporciona a eliminação de cor, odor, mal gosto e remoção de substâncias orgânicas e fenólicas através da adsorção para fins industriais e potáveis.
Tratamento de Ar	O CA possui capacidade de remover os contaminantes do ar, adsorvendo substâncias indesejáveis contidas, purificando-o.
Indústria Farmacêutica	O CA é um excelente medicamento para o tratamento de desintoxicação, purificação de substâncias, remoção de cor e impurezas de vitaminas, analgésicos, enzimas, penicilina e soluções intravenosas.
Adsorção de gases	O CA é utilizado para a recuperação de solventes nas indústrias de adesivos, tintas, têxtil, impressão ou purificação de gás.
Indústria Química	O CA é utilizado para a purificação de produtos, remoção de cores residuais, contaminantes, odores, remoção de orgânicos, desodorização e descoloração de produtos químicos.
Tratamento de Efluentes	O CA é usualmente mais utilizado na fase final de processo biológico em colunas de leito fixo, na fase de polimento e na remoção de cor ou componentes específicos.
Industria Alimentícia	O CA desempenha o papel de adsorver as moléculas de podem causar cor, gosto e odores indesejáveis nos alimentos.

Fonte: Autor (2022).

5.5 Corantes: Azul de Metileno

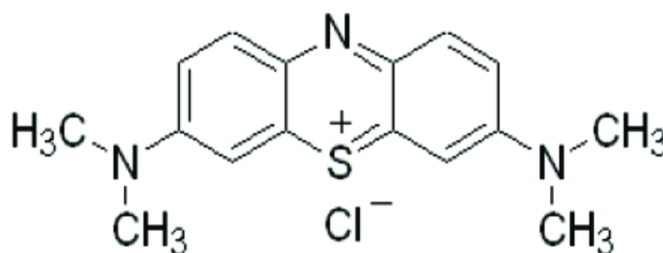
O primeiro corante sintético, mauveína, foi descoberto por um químico chamado Willian Perkin em 1856. Após a descoberta foi dado o início da produção em escala industrial de índigo, através de rota sintética utilizando-se a anilina de Perkin como seu precursor (HUNGER 2003).

Em sua maioria, os corantes são destinados à indústria têxtil, indústrias coureiro calçadista, papel e celulose, indústrias alimentícias, cosméticos, tintas e plásticos (GUARATINI & ZANONI 2000).

O corante azul de metileno (AM) foi descoberto por Heinrich Caro em 1876, ganhando destaque importante como corante bacteriológico, e no ramo da biologia e

química. É um composto químico aromático heterocíclico, do tipo básico, catiônico, com número de classificação CI 52015 (Figura 5). Sua fórmula química é expressa por $C_{16}H_{18}N_3SCl$ com massa molar $319,8 \text{ g.mol}^{-1}$.

Figura 6 – Estrutura química do corante azul de metileno.



Fonte: GOOGLE (2022).

Azul de metileno (AM) é um corante catiônico muito usado em ensaios de adsorção, além de possuir aplicações médicas como terapia antimicrobiana e fototerapia. Não é tratado como um corante perigoso, mas em grandes doses ou a exposição em longo prazo pode causar vômitos, náuseas, diarreia, hipertensão e irritação (PATHANIA et al., 2017; EZZEDDINE et al., 2016).

Segundo estudos realizados por Leal et al. (2012), a adsorção de azul de metileno é influenciada por parâmetros como tempo de contato, concentração, pH e temperatura. Em relação ao pH, é importante ressaltar que por possuir caráter catiônico, pH baixo poderá levar a uma competição entre os íons H^+ em solução e suas moléculas diminuindo a eficiência.

Conforme Aygun et al. (2003), o corante azul de metileno é um dos compostos mais utilizados em teste de adsorção porque é considerado um composto modelo para o estudo da remoção de contaminantes orgânicos de soluções aquosas. Em relação aos riscos ambientais, se o AM for lançado em lagos ou em rios sem tratamento adequado, pode gerar alterações na atividade fotossintética, pois de certa forma impede a passagem de radiação solar. Dessa forma, provoca modificações na biota aquática e causa toxicidade aguda e crônica desses ecossistemas (HONORATO et al., 2015).

5.6 Análise Imediata da Biomassa

Basicamente a biomassa é um hidrocarboneto, o qual possui átomos de oxigênio na sua composição química, diferentemente dos combustíveis fósseis. A presença desse átomo faz com que a biomassa requeira menos oxigênio do ar, sendo menos poluente, mas conseqüentemente sua quantidade de energia a ser liberada é reduzida, diminuindo assim o seu poder calorífico superior (PCS) (NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

A celulose, hemicelulose e lignina são os principais componentes da biomassa vegetal, sendo que o teor de celulose varia de 40 a 50%, a hemicelulose de 20 a 40% e o teor de lignina de 25%, por isso a biomassa vegetal também é considerada como resíduo ligno-celulósico (MARTINI, 2009).

Abbasi (2010) cita ainda que além de quantidades variáveis de celulose, hemicelulose e lignina a biomassa apresenta ainda pequenas quantidades de outros produtos orgânicos e inorgânicos, sendo estes responsáveis pelo desenvolvimento de processos para produção de combustíveis e produtos químicos. Para caracterizar energeticamente a biomassa e seu manuseio é determinante conhecer as propriedades físico-químicas da biomassa. Alguns parâmetros são apresentados abaixo.

5.6.1 Densidade Aparente

A densidade é uma das principais características, pois ela define a logística a ser tratada: o transporte e o armazenamento (NOGUEIRA, 2007). Define-se densidade como a razão entre a massa específica da biomassa pela massa específica da água na condição padrão (25°C e 100 kPa), ou seja 1000 kg/m^3 (NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

5.6.2 Umidade

Teor de umidade pode ser definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base úmida (bu) quanto na base seca (bs), qual pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida à secagem (NOGUEIRA, 2007).

Segundo McKendry (2002) duas formas de teor de umidade são de interesse, a umidade intrínseca (teor de umidade do material sem a influência de efeitos climáticos) e a umidade extrínseca (a influência das condições meteorológicas prevalentes durante a colheita da biomassa).

O teor de umidade presente na biomassa pode interferir em outras propriedades, como o poder calorífico inferior (PCI) que está intimamente ligado, pois este decresce com o aumento da umidade. A condutividade elétrica é outro fator que depende do teor de umidade (NOGUEIRA, 2007; CALEGARI et al 2005). A biomassa originária de produção agrícola possui teor de umidade entre 15–30% bu (NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

5.6.3 Material Volátil

Segundo McKendry (2002) o teor de voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás (incluindo umidade) por aquecimento, ou seja, o teor de voláteis é quantificado medindo-se a fração de massa da biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C.

Para Lewandowski (1997) o material volátil interfere na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e consequentemente a ignição. Enfim, determina a facilidade com que uma biomassa queima, os quais possuem valores distintos em determinados produtos agrícolas.

5.6.4 Teor de Cinzas

Conforme Nogueira & Rendeiro (2008) os resíduos resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidações dos inorgânicos são caracterizadas como teor de cinzas. Assim, as cinzas são resultados da combustão da biomassa, a qual se processa em altas temperaturas, tornando-se necessário conhecimento do comportamento destas cinzas para evitar operações inadequadas. As mesmas podem originar-se de elementos metálicos já presentes no combustível; de argila, areia e sais que possam estar na biomassa e ainda por solos misturados a biomassa durante sua colheita ou manuseio.

As cinzas são constituídas de silício, potássio, sódio, enxofre, cálcio, fósforo, magnésio e ferro. Quando em alta concentração podem diminuir o PC, podem ainda causar perda de energia e sua presença afeta também a transferência de calor sendo, portanto necessário a remoção das mesmas (KLAUTAU, 2008). A determinação do teor de cinzas é feita pela metodologia NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata) e D 1102 (NOGUEIRA, 2007).

O conhecimento do teor de cinzas permite avaliar o seu comportamento a diversos

critérios, como por exemplo, o ataque a refratários pelas cinzas pode ser evitado, ou seja, os refratários devem apresentar o mesmo comportamento químico ao das cinzas e, ainda devem ter baixa porosidade para que as cinzas ao se alojarem não provoquem rachaduras na superfície do mesmo.

Outro critério que deve ser visto é o ponto de amolecimento e fusão das cinzas, pois processos de combustão com temperaturas maiores do amolecimento podem propiciar a aglomeração de material particulado denominado “sinter”, ou a fusão da cinza “slagging”, que geralmente inviabilizam a continuidade do processo ou reduzem a eficiência da troca de calor no equipamento (NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

5.6.5 Teor de Carbono Fixo

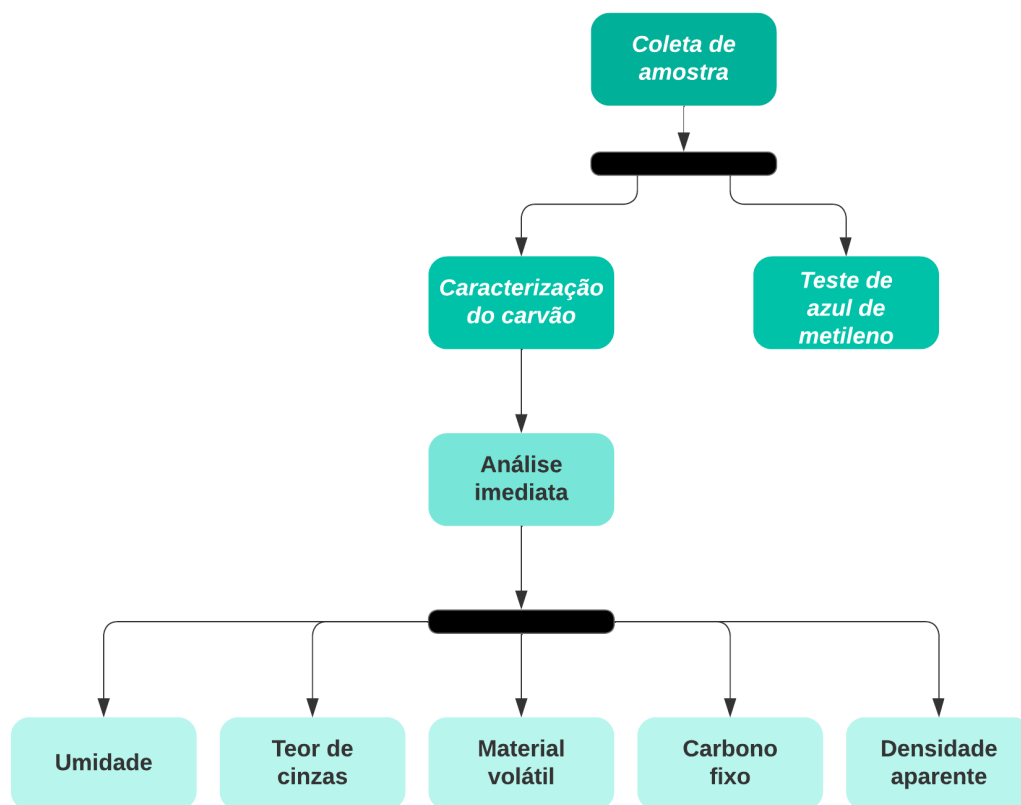
Carbono fixo (CF) é definido como a quantidade de carbono que fica retida em determinado material quando este é aquecido sob atmosfera inerte ou sobvácio, em condições controladas, aproximadamente a 350 °C. Nestas condições, a estrutura molecular se decompõe formando produtos de baixo peso molecular, liberando a matéria volátil (MCKENDRY, 2002).

A diferença entre a matéria seca total, volátil e a mineral é o teor de carbono fixo. O teor de carbono fixo está diretamente relacionado com o poder calorífico e com a estrutura aromática do carvão ativado. A quantidade de carbono fixo é reflexo da porcentagem de lignina presente no material de partida. A determinação do mesmo também é regida pela ABNT NBR 8112.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa é do tipo aplicada, explicativa e experimental, sendo definidos dois tópicos contemplados nas atividades práticas: (a) caracterização do carvão ativado obtido a partir da casca de castanha de caju e (b) uso do carvão ativado em processo de adsorção de corante químico. Foram apresentadas a seguir todas as metodologias usadas na concretização dos objetivos dessa pesquisa. Os ensaios experimentais de caracterização do carvão ativado e os testes de adsorção (Figura 6) foram realizados no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do IFTO, em Palmas - TO.

Figura 7 – Diagrama dos procedimentos metodológicos abordados neste trabalho.



Fonte: Autor (2022)

6.1 Caracterização Química do Carvão da Casca de Castanha de Caju

O carvão a ser empregado nessa pesquisa foi produzido por Maia (2021) quando se efetuou a pirólise de casca de castanha de caju em reator de leito fixo, na temperatura de 600 °C com taxa de aquecimento de 25 °C/min, usando o vapor de água como gás de arraste a uma vazão de 6 mL/min.

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. Secou-se a amostra em estufa a 60 °C 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#.

6.1.1 Análise Imediata

Consiste em um conjunto de processos que determinam quimicamente teores e propriedades distintas da casca de castanha de caju. Este procedimento foi realizado no

Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do IFTO – Campus Palmas.

6.1.2 Umidade

Em conformidade com a norma ASTM D 3173-85, a umidade foi definida ao adicionar 1g da biomassa em um cadinho de porcelana com massa constante pré-definida. Logo após, a amostra foi submetida a uma temperatura de 110 °C em uma estufa por aproximadamente 1 hora. Em seguida, colocou-se o cadinho em um dessecador por 10 minutos e pesado. O teor de umidade foi determinado segundo a referida Equação (1):

$$\% \text{ Umidade} = (A-B) / C \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

A= peso do cadinho + amostra (g)

B= peso do cadinho + amostra após o aquecimento (g)

C= peso da amostra (g)

6.1.3 Determinação do Teor de Cinzas

Adicionou-se 1g de biomassa a um cadinho de porcelana com massa constante pré-definida, sendo a amostra aquecida em forno mufla, a uma temperatura de 715 °C por 1 hora. Posteriormente o cadinho foi colocado em um dessecador por 1 hora e pesado. Determinou-se o teor de cinzas conforme a Equação (2):

$$\% \text{ Cinzas} = (B-A) / C \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

A= peso do cadinho vazio (g)

B= peso do cadinho + amostra após a queima (g)

C= peso da amostra (g)

6.1.4 Determinação do Teor de Material Volátil

Foi adicionado 1g de amostra da biomassa a um cadinho de porcelana com massa constante pré-definida. Em sequência aqueceu-se amostra em uma mufla à temperatura de 850 °C, na ausência de oxigênio por um período de 7 minutos. O teor de material volátil foi determinado pela Equação (3):

$$\% \text{ Material Volátil} = (A-B) / C \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

A= peso do cadinho + amostra (g)

B= peso do cadinho + amostra após o aquecimento (g)

C= peso da amostra (g)

6.1.5 Determinação do Teor de Carbono Fixo (CF)

Definiu-se pela diferença entre:

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

6.1.6 Densidade aparente:

A densidade aparente foi determinada através do método de adição da amostra triturada a uma proveta de 100 mL que se encontra inserida em uma balança analítica zerada anteriormente, assim estabelecendo as massas na ordem sucessiva dos respectivos volumes que a integram: 20, 40, 60, 80 e 100 mL.

Portanto a densidade, média e o desvio padrão é definida partindo-se da premissa de que a densidade é a razão entre massa e o volume da amostra.

6.2 Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno em CCC

O teste foi feito em uma mesa de agitação (Shaker TE 141) com o carvão ativado 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, conforme a Figura 7.

A solução corante (Azul de Metileno), de fórmula química $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 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.

Figura 8 – Teste de adsorção na mesa de agitação Shaker TE 141.

Fonte: AUTOR (2022).

Aplicou-se um planejamento experimental do tipo Delineamento de Faces Centradas (DFC) e verificou-se os efeitos de duas variáveis independentes (massa de carvão e concentração da solução do corante) no teste de adsorção. A Tabela 3 mostra os níveis dos fatores empregados. O pH da solução do corante será ajustado a 7. A agitação foi mantida igual a 70 rpm e o tempo de adsorção de 30 minutos.

Tabela 3 - Fatores e níveis empregados.

Fatores		Níveis		
		-1	0	+1
X ₁	Massa do Carvão (g)	0,50	0,75	1
X ₂	Concentração do Corante (mg/L)	20	60	100

Fonte: Autor (2022)

Realizou-se 11 ensaios, sem repetição, sendo 3 deles no ponto central do Planejamento Experimental, de acordo com a Tabela 4. Foram definidas três respostas para o planejamento, a saber: (a) absorbância do filtrado, (b) eficiência de remoção e (c) capacidade de adsorção (Q).

Tabela 4 – Experimentos e Fatores.

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: AUTOR (2022).

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Caracterização do carvão da casca de castanha de caju

A seguir são apresentados os resultados obtidos referentes à análise imediata no que diz respeito a caracterização química do carvão em estudo.

7.1.1 Análise imediata do carvão da casca de castanha de caju

Por meio da análise imediata do carvão desta pesquisa, foram determinados os teores de umidade, cinzas, material volátil e carbono fixo apresentados na Tabela 5.

O carvão usado neste estudo apresentou um teor de umidade de 17,5%, resultando em uma diferença significativa ao encontrado por Maia (2021) em sua pesquisa utilizando a CCC. Esse alto valor de umidade observado nessa pesquisa pode estar relacionado à capacidade higroscópica desse material, o que sugere um processo de desidratação do carvão antes de sua aplicação como material adsorvente.

O teor de cinzas encontrado para o carvão da CCC foi de 6,0%, próximo ao valor encontrado no estudo de Maia (2021) que foi de 6,6%. Altos teores de cinzas podem causar problemas de incrustações, entupimentos e corrosão em processos de combustão e pirólise, resultando em aumento dos custos de operação (SAIT et al., 2012). Neste contexto, o baixo teor de cinzas do carvão da CCC, resulta em uma boa eficácia em processos termoquímicos de conversão.

Em relação ao carbono fixo do carvão em estudo, este foi de 64,8%. Observa-se um aumento nestes valores, quando comparado aos valores de carbono fixo de biomassas

in natura encontrados pelos autores Figueiredo (2011) de 20,1%, bem com Moreira (2015) de 23,8%. Conforme Costa (2011), altos teores de material volátil implicam em menor teor de carbono fixo, enquanto que o inverso também ocorre.

O teor de material volátil foi de 11,6% para o carvão, em contrapartida, para biomassas *in natura*, os autores Figueiredo (2011) e Moreira (2015) encontram valores de 78,4% e 70,9%, respectivamente. Constata-se que houve uma redução de material volátil durante a pirólise, resultando em um aumento de carbono fixo no carvão oriundo da degradação térmica da casca de castanha de caju.

A metodologia usada para a realização do ensaio pode ser um dos motivos para as demais diferenças entre os autores, principalmente em relação à temperatura de queima da amostra.

Tabela 5 - Resultados obtidos por meio da análise imediata do carvão da CCC.

Variável analítica	(Temperatura 600 °C/ Taxa de aquecimento 25° C/min)	(Temperatura 500 °C/ Taxa de aquecimento 27° C/min)
	Desta pesquisa	Maia (2021)
Umidade (%)	17,5	5,3
Cinzas (%)	6,0	6,6
Material volátil (%)	11,6	27,1
Carbono fixo (%)	64,8	61

Fonte: AUTOR (2022).

7.2 Teste de adsorção do índice de azul de metileno

Nessa etapa da pesquisa foi realizada a adsorção do corante azul de metileno no carvão ativado gerado através da pirólise da casca de castanha de caju, sendo observados os parâmetros de concentração residual de azul de metileno (Y_1 , (-)) e a razão de adsorção (Q , mg/g).

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 6.

Tabela 6 - Resultado do teste de adsorção sob efeito das duas variáveis independentes (massa de carvão e concentração da solução do corante).

Experimentos	Massa do Carvão (g)	Concentração do Corante (mg/L)	Absorbância do filtrado	Eficiência de remoção (%)	Razão de adsorção (mg/g)
1	0,50	20	0,02	96,53	1,16
2	1	20	0,03	96,33	0,58
3	0,50	100	0,07	99,06	5,94
4	1	100	0,1	98,86	2,97
5	0,5	60	0,19	97,27	3,50
6	1	60	0,12	97,97	1,76
7	0,75	20	0,07	95,15	0,76
8	0,75	100	0,07	99,01	3,96
9	0,75	60	0,08	98,31	2,36
10	0,75	60	0,07	98,41	2,36
11	0,75	60	0,05	98,54	2,37

Fonte: AUTOR (2022).

Diante dos dados apresentados pela Tabela 6, nota-se bons resultados referentes à eficiência do carvão da casca da castanha de caju, onde todos permaneceram com valores superiores a 95% de eficiência de remoção, cuja propriedade é abordada detalhadamente no item 7.2.1

7.2.1 Eficiência do carvão da CCC

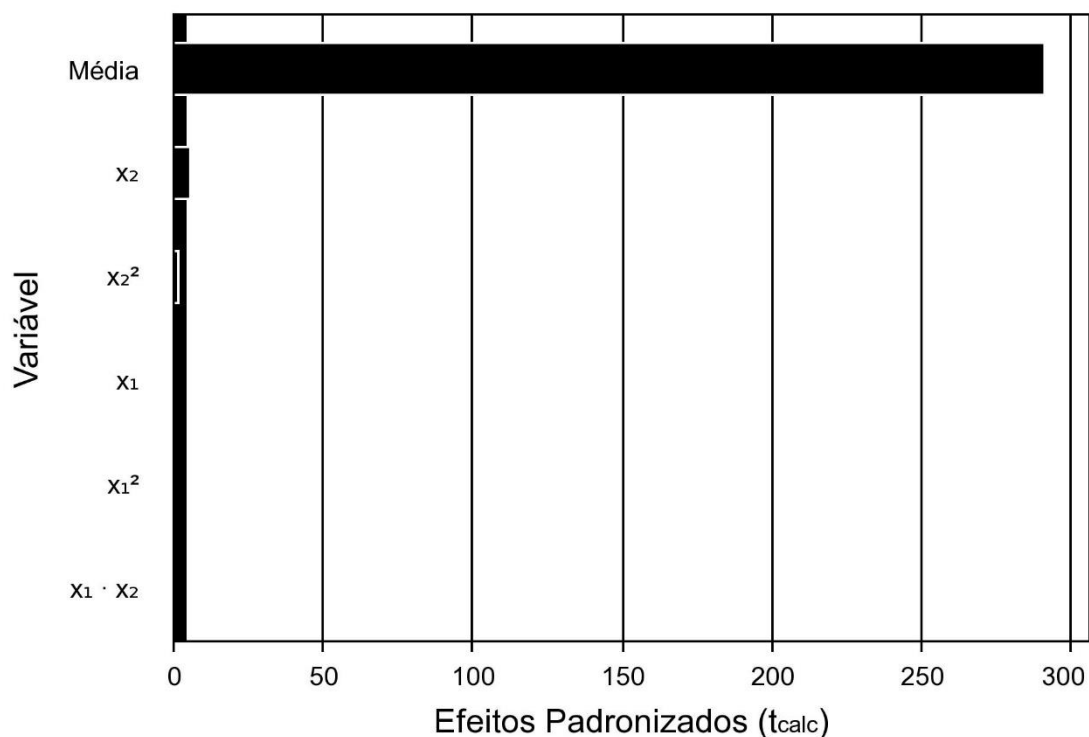
Por meio da regressão linear foi gerado o intervalo espectral da adsorção do azul de metileno e a construção do gráfico analítico linear da eficiência, o que nos permite observar a relação estatística desta variável em relação a outras. Na Tabela 7 são apresentados os efeitos da interação entre as variáveis para o resultado da eficiência das amostras filtradas.

Tabela 7 - Coeficientes de regressão do Planejamento DFC.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t-calculado	p-valor
Média	98,12	0,34	290,76	0,0000
X_1	0,05	0,27	0,19	0,8589
X_1^2	-0,06	0,41	-0,13	0,8992
X_2	1,49	0,27	5,53	0,0026
X_2^2	-0,59	0,41	-1,44	0,2101
$X_1 \cdot X_2$	0,00	0,33	0,00	1,0000

Fonte: AUTOR (2022).

O Diagrama de Pareto ilustrado na Figura 9 destaca quais variáveis tem efeitos mais significativos sobre a eficiência do carvão ativado originário da pirólise casca de castanha de caju.

Figura 9 - Diagrama de Pareto da eficiência do carvão da CCC.

Fonte: AUTOR (2022).

Conforme a Equação 5 gerada por meio da análise de regressão, esta descreve a relação estatística entre os fatores de variância aqui expostos.

$$\text{Eficiência} = 98,12 + 0,05 X_1 - 0,06 X_1^2 + 1,49 X_2 - 0,59 X_2^2 + 0 X_1 X_2 \quad (\text{Eq. 5})$$

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

A análise de variância (ANOVA) da eficiência das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - ANOVA para a eficiência das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno.

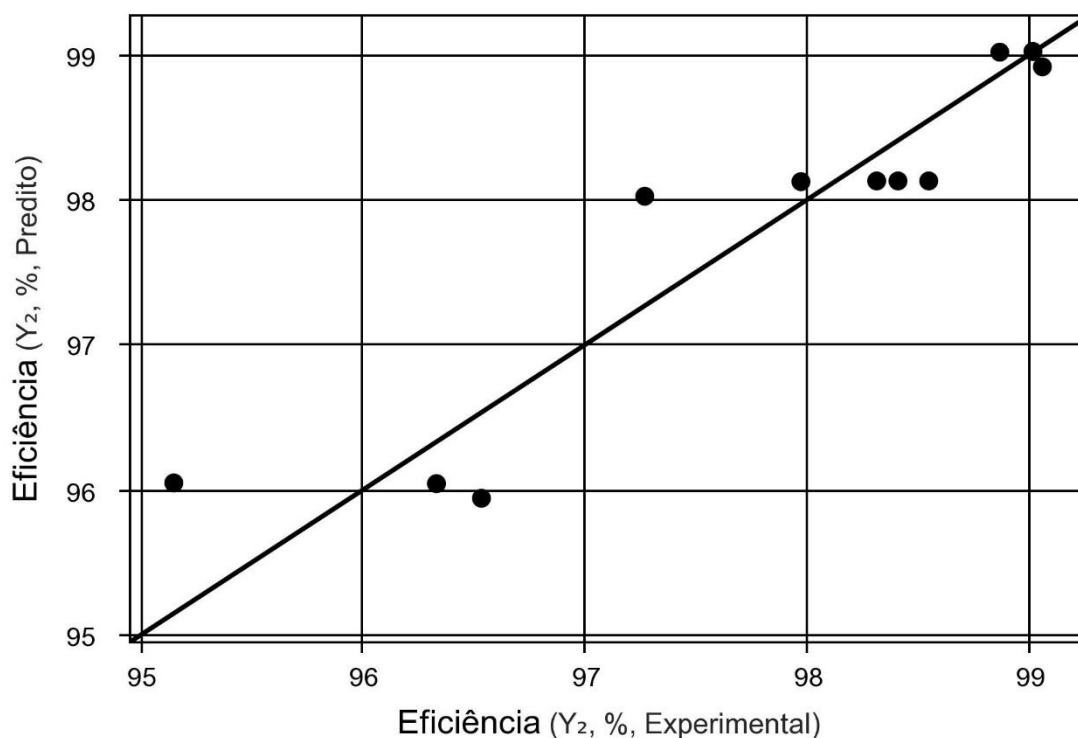
Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F calculado	P valor
Regressão	14,3	5	2,9	6,6	0,02944
Resíduos	2,2	5	0,4		
Falta de ajuste	2,1	3	0,7	51,0	0,01928
Erro puro	0,0	2	0,0		
Total	16,4	10			

$R^2 = 86,84\%$

Fonte: AUTOR (2022).

Com o modelo linear ajustado, observa-se que o coeficiente de regressão (R^2) alcançado foi de 0,8684, indicando um ajuste satisfatório do modelo aos dados. Graficamente representada, a Figura 10 demonstra os valores observados e os valores previstos do modelo.

Figura 10 - Valores observados X Valores previstos para a eficiência do carvão da CCC.

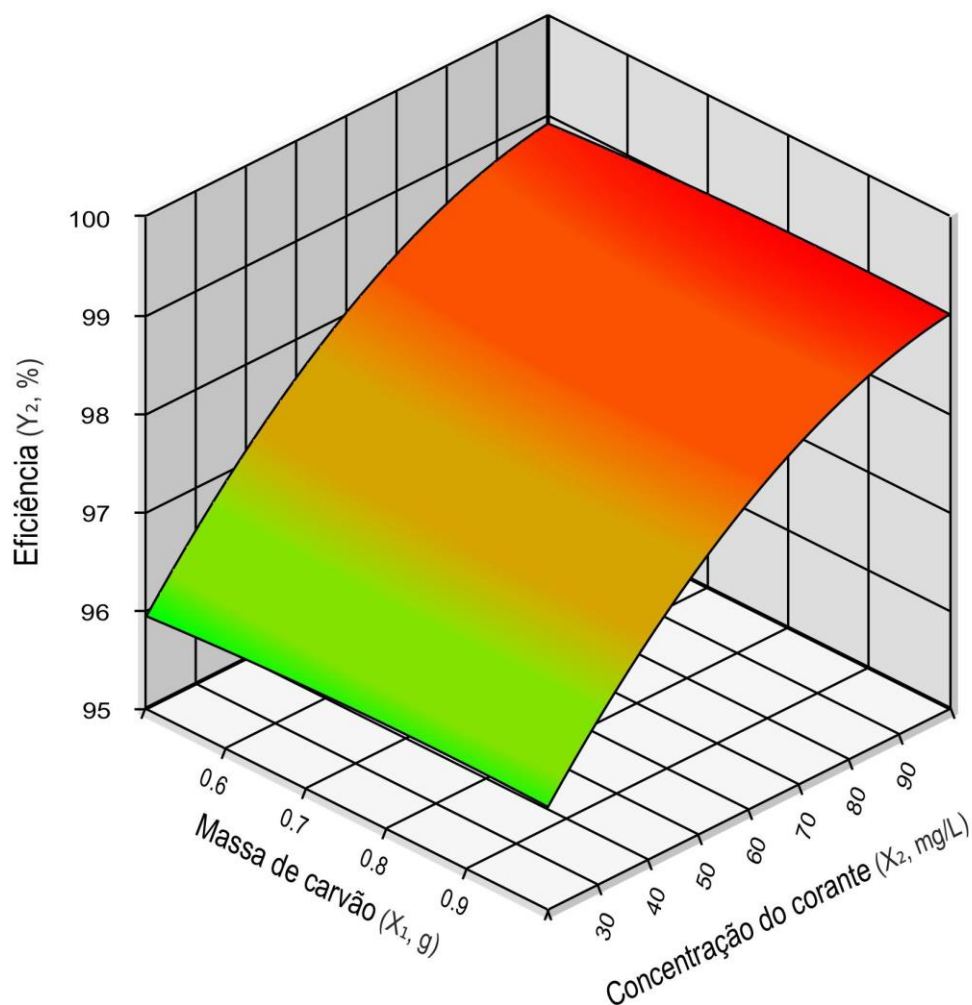


Fonte: AUTOR (2022).

A divisão entre os quadrados médios e os quadrados residuais do modelo permitiu conhecer o valor de $f_{\text{calculado}}$. O valor de $F_{\text{calculado}}$ foi determinado pela expressão, $F_{\text{calculado}} = \text{Quadrado médio regressão} / \text{Quadrado médio erro}$. Comparando o valor de $F_{\text{calculado}}$ (6,6) para a regressão com o valor de F_{tabelado} ($F_{\text{tabelado}} = 5,05$), verifica-se uma boa regressão.

O gráfico de superfície exposto e curvas de contorno gerado por meio do planejamento experimental é apresentado na Figura 11. Nota-se na que a capacidade de eficiência foi alcançada em condições de baixa quantidade de massa carvão e alta concentração de corante, como mostra as regiões destacadas em vermelho.

Figura 11 - Superfície de resposta para eficiência do teste de adsorção com utilização do carvão ativado da CCC.



Fonte: AUTOR (2022).

7.2.2 Razão Máxima de Adsorção

O grau de razão máxima de adsorção de um carvão ativado indica eficiência deste carvão nas condições em que este foi submetido. A Tabela 9 traz os dados resultantes da interação entre as variáveis deste estudo para o resultado de razão máxima de adsorção do carvão ativado originário da pirólise da casca de castanha de caju.

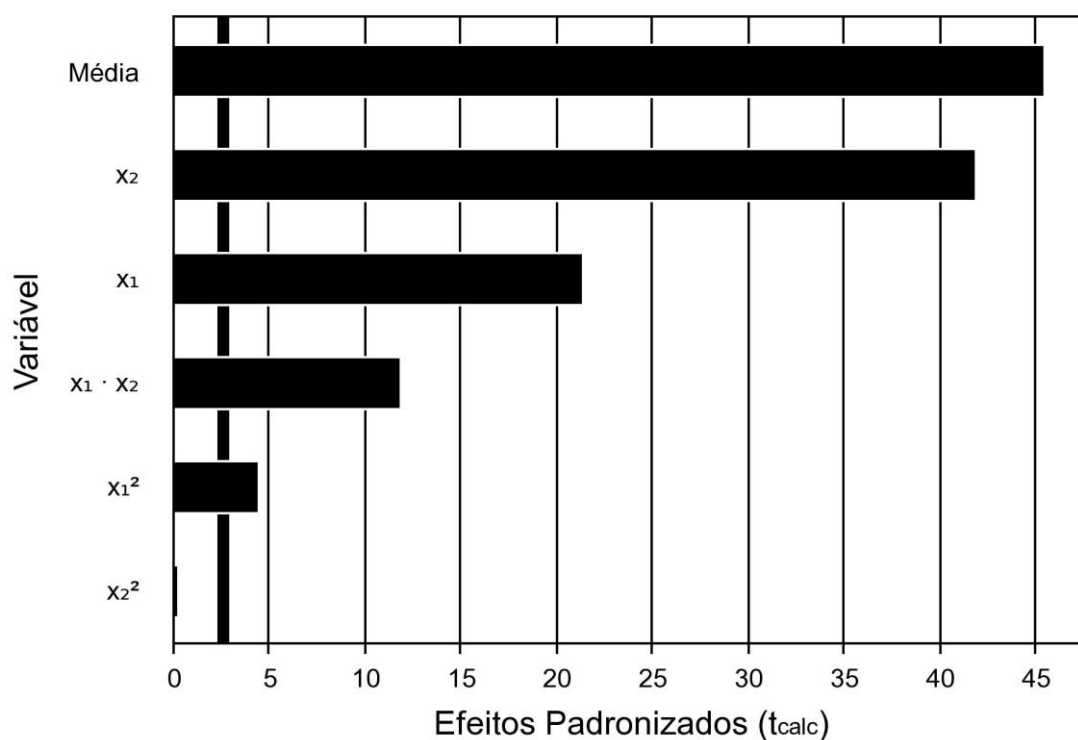
Tabela 9 - Coeficientes de regressão do Planejamento DFC para definição da razão máxima de adsorção do carvão ativado da CCC.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t-calculado	p-valor
Média	2,36	0,05	45,43	0,0000
X₁	-0,88	0,04	-21,39	0,0000
X₁²	0,29	0,06	4,51	0,0064
X₂	1,73	0,04	41,89	0,0000
X₂²	0,01	0,06	0,23	0,8274
X₁-X₂	-0,60	0,05	-11,86	0,0001

Fonte: AUTOR (2022).

O gráfico de Pareto representado pela Figura 12 demonstra o efeito significativo das variáveis massa do carvão (X₁) e concentração do corante (X₂) atribuído a razão de adsorção do biocarvão, demonstrando que tais variáveis preditoras influenciam consideravelmente esta capacidade neste resultado.

Figura 12 - Gráfico de pareto da razão máxima de adsorção (Q) do carvão da CCC.



Fonte: Autor (2022).

No resultado da razão máxima de adsorção (Q), a massa do carvão 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 associada ao seu p-valor (0,0000) também baixo.

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

$$Q = 2,36 - 0,88 X_1 + 0,29 X_1^2 + 1,73 X_2^2 + 0,01 X_2^2 - 0,60 X_1 X_2 \text{ (Eq. 6)}$$

Onde: X_1 = massa do carvão; X_2 = concentração do corante.

A Tabela 10 demonstra a análise de variância (ANOVA) da razão máxima de adsorção(Q) amostras de carvão ativado da CCC na utilização do corante azul de metileno.

Tabela 10 - ANOVA para razão máxima de adsorção das amostras de carvão ativado na adsorção de azul de metileno.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F calculado	P valor
Regressão	24,3	5	4,9	475,1	0,00000
Resíduos	0,1	5	0,0		
Falta de ajuste	0,1	3	0,0	2118,5	0,00047
Erro puro	0,0	2	0,0		
Total	24,3	10			

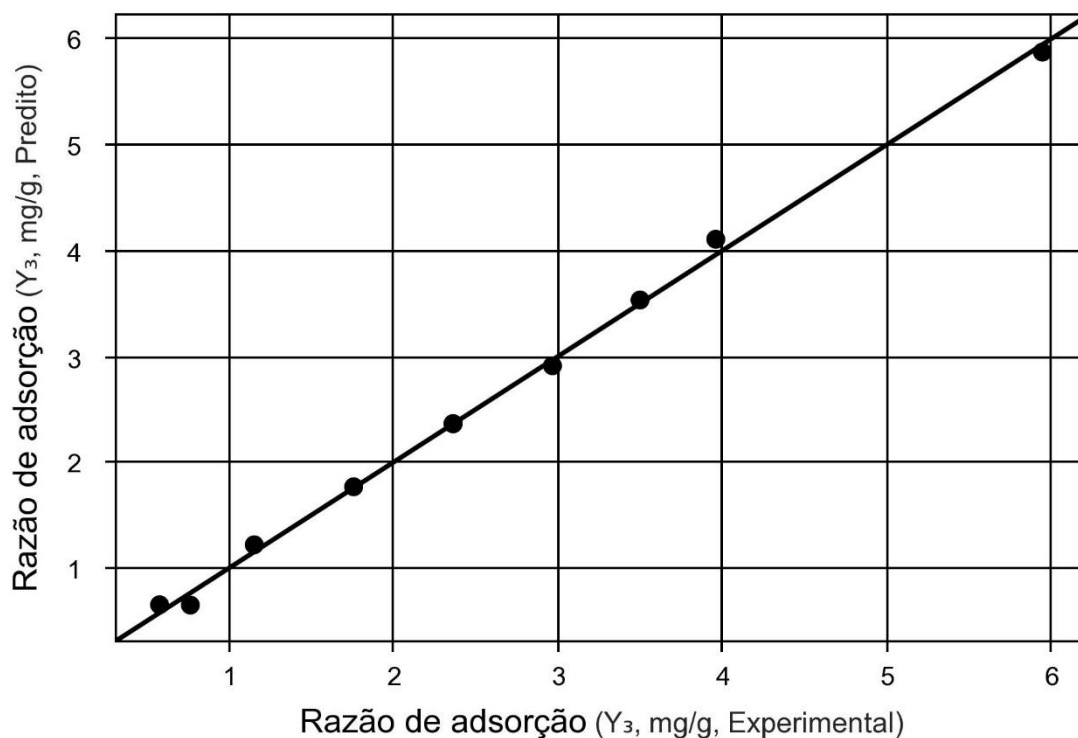
$R^2 = 99,79\%$

Fonte: AUTOR (2022).

Para a razão máxima de adsorção do carvão desta pesquisa, o valor de F_{calc} (475,1) para a regressão é maior que o valor de F_{tab} ($F_{tab} = 5,05$). Apontando que para a ANOVA, tem elevada significância sobre a precisão do método.

A Figura 13 mostra os valores analisados em comparação aos os valores pressupostos para o teste de adsorção do índice de azul de metileno.

Figura 13 - Valores analisados versus os valores pressupostos da capacidade máxima de adsorção do carvão.

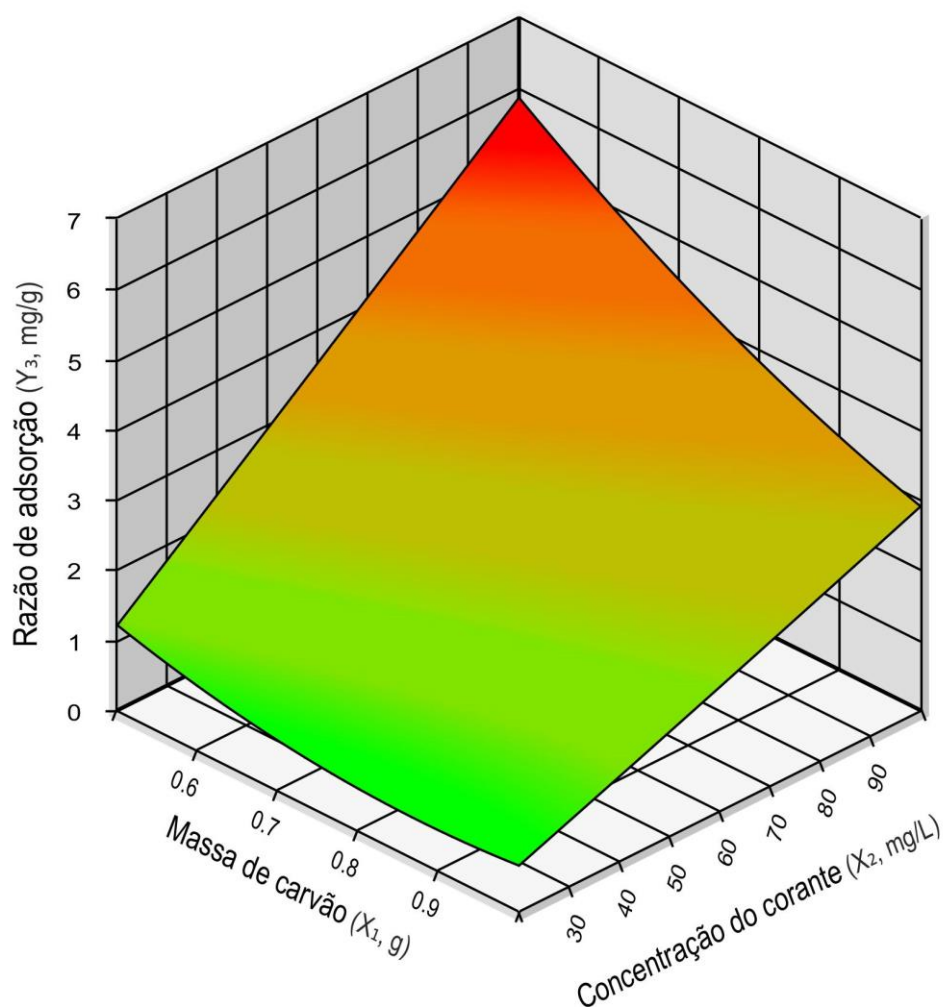


Fonte: Autor (2022).

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 14), verifica-se que a razão máxima de adsorção do carvão ativado da CCC foi obtida em circunstâncias de baixa quantidade de massa carvão e alta concentração de corante, conforme a região ilustrada em vermelho.

Figura 14 - Gráfico de superfícies que representa a razão máxima de adsorção do carvão desta pesquisa.



Fonte: Autor (2022).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram que é possível contribuir para a diminuição do resíduo do beneficiamento da castanha de caju, pirolisando a casca e utilizando os produtos gerados como material adsorvente.

Considerando os dados resultantes obtidos por meio das etapas de caracterização do carvão e teste de adsorção com corante, podemos concluir que:

Os valores de cinzas, material volátil e carbono fixo do adsorvente aqui estudado estão próximos aos encontrados na literatura, quando se realizou a caracterização do carvão;

Todos os valores de eficiência de remoção do corante químico estudado foram superiores a 95,15%;

Quanto aos resultados obtidos do teste de adsorção de índice de azul de metileno com a utilização do carvão ativado oriundo da pirolise da casca de castanha de caju, o experimento mostrou que com quantidade baixa de massa e alta concentração de corante azul de metileno a capacidade de adsorção deste carvão se torna mais eficiente;

O modelo estatístico do processo apresentou excelentes resultados, onde a análise de variância para a capacidade máxima de adsorção demonstrou elevada significância sobre a precisão do método.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, T. **Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. India: Elsevier, v. 14, p. 919-937, 2010.

ABIOYE, A. M. & ANI, F. N.; **Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review**. Renew. Sustain. Energy Rev. 52, 1282. 2015.

AHMADPOUR, A. & DO, D. D. **The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation**. Carbon, Elmsford, v. 35, n. 12, p. 1723-1732.1997.

APAYDIN-VAROLL, e; PUTUN. (2007) A. E. **Slow pyrolysis of pistachio shell** . Fuel, v. 86, p. 1892-1899.

ARAÚJO, C.S.T. **Desenvolvimento de metodologia analítica para extração e préconcentração de Ag(I) utilizando *Moringa oleifera* Lam.** Uberlândia, 2009. 186p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Uberlândia. 2009.

ASSUNÇÃO, R. B.; MERCADANTE, A. Z. **Carotenoids and ascorbic acid composition from commercial products of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.)**. Journal of Food Composition and Analysis, v.16, n.6, p.647-657, 2003.

AYGUN, A, YENISOY-KARAKAS, S., DUMAN, I., **"Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties**. Microporous Mesoporous Materials, v. 66, n. 2-3, pp. 189-195. 2003.

BARROS, A.R.B. **Remoção de íons metálicos em água utilizando diversos adsorventes**. Florianópolis, 2001. 89p. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. 2001.

BISPO, M. D. et al. **Production of activated biochar from coconut fiber for the removal of organic compounds from phenolic**. Journal Of Environmental Chemical Engineering, [s.l.], v. 6, n. 2. p.2743-2750. 2018.

BORGES, F. M. et al. **Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Ouro Preto, MG. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2003. Acesso em: março de 2022.

BRAINER M. S. de C. P. ;VIDAL M. de F. **Cajucultura**. Caderno Setorial- ETENE. Ano 5, nº 114, maio, 2020. Disponível em <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/231/1/2020_CDS_114.pdf> Acesso em junho de 2022.

BRAINER M. S. de C. P. ;VIDAL M. de F. **Cajucultura Nordestina em recuperação**. Caderno Setorial- ETENE. Ano 3, nº 54, novembro, 2018. Disponível em <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4141162/54_caju.pdf/95e65093-50e1-b48d-ab01-15f3a8f690b4> Acesso em março de 2022.

BUTT, H. J.; GRAF, K.; KAPPL, M. **Physics and chemistry of interfaces**. 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2006.

CALEGARI, L. FOELKEL, C. E. B.; HASELEIN, C. R.; ANDRADE, J. L. S.; SILVEIRA P.; SANTINI, E. J. **Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no sul do Brasil**. Biomassa e Energia. V.2, n.1, p. 37-46, 2005

CHA, J. S.; PARK, S. H.; JUNG, S. C.; RYU, C.; JEON, J. K.; SHIN, M. C.; PARK, Y. K.; J. **Production and utilization of biochar: A review**. Ind. Eng. Chem. 40, 1. 2016.

CHINGOMBE, P; SAHA, B; WAKEMAN, R. **Surface Modification of Commercial Activated Carbon (CAG) for the Adsorption of Benzene and Toluene**. Carbon. 43, 3132. 2005.

CHUAH, T; JUMASIAH, A; AZNI, I; KATAYON, S; CHOONG, S. Y. **Rice husks as a microbial source for wastewater treatment**. Desalination. 175, 305. 2005.

COHEN-SHOEL, N; ILZYCER, D.; GILATH, I.; TEL-OR, E. The involvement of pectin in Sr^{2+} biosorption by *Azolla*. **Water, Air and Soil Pollution**, v.135, p.195-205; 2002.

CORRÊA, S.; SILVEIRA, D.; SANTOS, C.; LINDEMANN, C.; REETZ, E. R.; BELNG, R. R. **Anuário brasileiro da fruticultura**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2008. 136p.

COSTA, T. G. **Propriedades da madeira de espécies do Cerrado Mineiro e sua potencialidade para geração de energia**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado - área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CURBELO, F.D.S. **Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada**. Natal, 2002. 102p. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2002.

DAS, P.; GANESH, A. **Bio-oil from pyrolysis of cashew nut shell - a near fuel**. Biomass and Bioenergy, v.25, p. 113-117, 2003.

DAS, P.; SREELATHA, T.; GANESH A. **Bio oil from pyrolysis of cashew nut shellcharacterisation and related properties**. Biomass Bioenergy, v. 27, n. 3, p.265-275, 2004.

EZZEDDINE, Z.; GENER, I. B.; POUILLOUX, Y.; HAMAD, H. **Removal of methylene blue by mesoporous CMK-3: kinetics, isotherms and thermodynamics**. Journal of Molecular Liquids, 223, p. 763 –770, 2016.

FERNANDES, K. A. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Revista da Graduação da PUC, v. 3, n. 2, 2010. Acesso em: março de 2022.

FERNANDES, R. **Adsorventes alternativos para remoção de fenol em solução aquosa**. 2005. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FERREIRA, J.M., SILVA, F.L.H., ALSINA, O.L.S., OLIVEIRA, L.S.C., CAVALCANTI, E.B.; GOMES, W.C. **Equilibrium and kinetic study of Pb^{2+} biosorptionby *Saccharomyces cerevisiae***. Química Nova, v.30, p.1188-1193; 2007.

FOGLER, H. S. **Elements of Chemical Reaction Engineering**. ed. 3, Prentice – Hall PTR, 1998.

FREITAS, L. C. da S. **Carvão Ativo: Breve Histórico e Estudo de sua Eficiência na Retenção de Fármacos**. Revista Científica Unilago, v. 1, 2014.

GALHETAS, A. M. **Valorização de resíduos carbonosos de gasificação com precursores de materiais para adsorção de poluentes em fase aquosa**. Tese. Universidade de Lisboa: Lisboa. 2014.

GUARATINI, C.C.I. & ZANONI, M.V.B. **Corantes têxteis**. Química Nova, v.23, n.1. pp.71-78. 2000.

GUO, J.; LUA, A. C. **Effect of surface chemistry on gas-phase adsorption by activated carbon prepared from oil-palm stone with pre-impregnation**. Separation and Purification Technology, 18: 47, 2000.

HONORATO, A. C.; MACHADO, J. M.; CELANTE. G.; BORGES, W. G. P.; DRAGUNSKI, D.C.; CAETANO, J. **Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 19, n. 7, p. 705–710, 2015.

HUNGER, K. **Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications**. Wiley-VCH, Weinheim: Cambridge. 2003.

KIRUTHIKA, R.; UBRAMANIAN, P.; RAJIVGANDHI, M. M. C. **Bio oil Production from various Agro Residues through Pyrolysis**. International Journal of Engineering Research & Technology, v. 2, n. 9, p. 1678-1681, 2013.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Forno a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos**. Dissertação. PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008.

LEAL, P. V. B; GREGÓRIO, A. M; OTONI, E; SILVA, P. R. Da; KRAUSER, M. De O; HOLZBACH, J. C. **Estudo da Adsorção do Corante Azul de Metileno em Resíduos de Babaçu**. Journal of Biotechnology and Biodiversity. Gurupi, v. 3, n.4, p. 166-171, Nov. 2012.

LEITE, L. A. S. Agroindústria do caju: **Políticas públicas e transformações econômicas**. Fortaleza: EMPRAPA-CNPAT, 1994 195 p.

LEWANDOWSKI, I & KICHERER, A. **Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus***. European Journal of Agronomy, v. 6, p. 163 – 177, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030196020448>. Acesso em: Março de 2022.

LIU, W.; ZENG, F.; JIANG, H.; ZHANG, X. **Preparation of high adsorption capacity bio-chars from waste biomass**. Bioresour. Technol. 102, 8247. 2011.

LOFRANO, G. **Emerging Compounds Removal from Wastewater Natural and Solar Based Treatments**. Salerno/ITA: Springer. 2012.

LÓPEZ-MARCOS, M. C.; BAILINA, C.; VIUDA-MARTOS, M.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. **Propriedades das Fibras Alimentares Agroindustriais Coprodutos como fonte de alimentos enriquecidos com fibras**. Food Bioprocess Technology, v.8, n.12, p. 2400–2408, 2015.

MAIA, DANIELMA SILVA. **Aproveitamento Do Carvão Ativado Obtido Da Casca De Castanha De Caju No Processo De Tratamento De Águas Cinzas**. Dissertação Para

Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Tocantins. Palmas - TO, 2021.

MACÊDO, L. P. M. P. de. **Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos**. Dissertação - Universidade Católica de Pernambuco, Recife. 92 f. 2012. Disponível em: <http://tede2.unicap.br:8080/handle/tede/624>. Acesso em: Março de 2022.

MARSH, H. (Ed.). **Activated carbon compendium**. London: Elsevier, 2001.

MARTINI, P. R. R. **Conversão Pirolítica de Bagaço Residual da Indústria de Suco de Laranja e Caracterização Química dos Produtos**. Dissertação - PPGQ, UFSM, Santa Maria: 2009

MAZZETO, S. E.; LOMONACO, D.; MELE, G. **Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial**. Química Nova, v. 32, n. 3, p.732-741, 2009.

McKAY, G. **Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters**. Flórida: CRC Press. inc. 1996. 186 p.

MCKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass**. Bioresource Technology, Volume 83, Número 1, maio 2002, p. 37-46, 2002

MELZER, M.; BLINA, J.; BENSACKHRIAC, A.; VALETTELB, J.; BROUSTB, F. (2013) **Pyrolysis of extractive rich agroindustrial residues**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v.104, p. 448-460.

MOREIRA, RENATA. **Estudo da pirólise lenta da casca da castanha de caju**. Dissertação Para Mestrado Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais - Autarquia Associada À Universidade De São Paulo. São Paulo, 2015.

MOREIRA, R. C.; LIMA, J. S.; SILVA, G. C.; CARDOSO, J. E. Resistance to gummosis in wild cashew genotypes in northern Brazil. **Crop Protection**, v.52, n10, p.10-13, out, 2013.

NOGUEIRA, M. F. M. **Biomassa Energética: Caracterização da Biomassa**. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC 2007.

NOGUEIRA, M. F. M. & RENDEIRO, G. **Caracterização Energética da Biomassa Vegetal**. BARRETO, E. J. F. (Coord). **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. p. 52-63. 2008.

OLIVEIRA, V. H. de. **Cashew crop**. Revista Brasileira Fruticultura. Vol. 30, n. 01, p. 0-0, 2008.

ONAL, Y. Kinetics of adsorption of dyes from aqueous solution using activated carbon prepared from waste apricot. **Journal of Hazardous Materials**, v.137, p.1719-1729, 2006.

PATHANIA, D.; SHARMA, S.; SINGH, P. **Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon developed from Ficus carica bast.** Arabian Journal of Chemistry, 10, p. 1445 – 1451, 2017.

PEREIRA, M.C.T.; CORREA, H.C.T.; NIETSCHE, S.; MOTA, W.F.; MARQUES, S.V. **Caracterização físico-química de pedúnculos e castanhas de clones de cajueiro-anão precoce nas condições do norte de Minas Gerais.** Bragantina, São Paulo, v.64, n.2, p.169-175, 2005.

PINTO, G. A. S.; BRITO, E. S.; SILVA, F. L. H.; SANTOS, F. S. M.; MACEDO, G. R. **Fermentação em estado sólido; uma alternativa para o aproveitamento e valorização de resíduos agroindustriais.** Revista de Química Insutrial, v. 74, n. 724, p.17-20, 2006.

QUIRINO E. C. G. **Obtenção da farinha do penducúlo de caju e seu emprego na formulação de bolo rico em fibras. Monografia (graduação).** Universidade Federal da Paraíba- João Pessoa, 2019.

RAMOS, J. E. T.; DUARTE, T. C.; RODRIGUES, A. O.; SILVA, Jr. I. J.; CAVALCANTE, Jr. C. L.; AZEVEDO, D. C. S.; **On the production of glucose and fructose syrups from cashew apple juice derivatives.** Journal of Food Engineering, v.102, p. 355-360. 2011

REINOSO, R. F. & MARSH, H. **Activated carbon.** 1. ed. London: Elsevier, 2006.

REINOSO, F. R. & MOLINA, M. S. **Role of chemical activation in the development of carbon porosity.** Ad. Colloid Interfac. 76, 271. 1998.

RUSSEL, J.B.; **Química Geral** 2ª ed. São Paulo: Makron Books., 1994, Vols. 2.

SAI, P. M. S. & KRISHNAIAH, K. **Development of the pore-size distribution in activated carbon produced from coconut shell char in a fluidized-bed reactor.** Industrial Eng. Chemistry. Resourch, 44: 51, 2005.

SAIT, H. H.; *et al.* Pyrolysis and combustion kinetics of date palm biomass using thermogravimetric analysis. **Bioresource Technology**: 118, p. 382-389, 2012.

SANTOS, M. C. L., & GONÇALVES-DIAS, S. L. F. (2012). **Gestão de Resíduos na cidade de São Paulo: um problema, múltiplas soluções.** In B. R. Padovano, M. Namur, & P. B. Sala (Eds.), São Paulo: em busca da sustentabilidade (Vol. 1, pp. 146-159). São Paulo: EDUSP/PINI.

SERRANO L. A. L; PESSOA F. A. de P. **Aspectos econômicos da cultura do cajueiro.** Sistema de Produção da Embrapa, Embrapa Agroindústria Tropical, 2ª ed. ISSN 1678-8702, Julho de 2016. Disponível em <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7705&p_r_p_-996514994_topicoId=10308> Acesso em 25 de março de 2022.

SOARES, D. J.; CAVALCANTE, C. E. B.; CARDOSO, T. G.; FIGUEIREDO, E. A. T.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R. W. **Study of the stability of cashew nuts obtained from conventional and organic cultivation**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1855-1868, set./out. 2012.

SOARES, J. L. **Remoção de Corantes Têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas**. Florianópolis, 1998. 84p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. 1998.

SOUSA, F.W., MOREIRA, S.A., OLIVEIRA, A.G., CAVALCANTE, R.M.; NASCIMENTO, R.F.; ROSA, M.F. **The use of Green coconut shells as obsorbents in the toxic metals**. Química Nova, v.30, n.5, p.1153-1157, 2007.

SOUZA, E. **Introdução à cinética química**. Belo Horizonte: Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Química, UFMG, 1999.

TAVARES, P. T. **Caracterização física e química de resíduos sólidos na cajucultura e avaliação do potencial energético em processo de conversão térmica**. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis- Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

THÉVET, A.; **Singularidades da França Antártica**. Edusp: São Paulo, 1978.

TSAMBA, A. J.; YANG, W.; BLASIAK, W. (2006) **Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells**. Fuel Processing Technology. v. 87, p. 523-530.

VOLESKY, B. **Sorption and biosorption**. Quebec: BV-Sorbex, St. Lambert, 2004, 326p.

XU, Y.; NAKAJIMA, T.; OHKI, A. **Adsorption and removal of arsenic (V) from drinking water by aluminum-loaded Shirasu-zeolite**. Journal of Hazardous Materials, v. 92, n.3, p.275-287, 2002.

YANG, K.; PENG, J.; SRINIVASAKANNAN, C.; ZHANG, L.; XIA, H.; DUAN, X. **Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating**. Bioresource Technology, v. 101, p. 6163–6169, 2010

ZOLLINGER, H. **Color chemistry: syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments**. 2 ed. New York: VCH Publishers, 1991, 423p.