

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

CAMILA FACCIÓN MOREIRA

**ADSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL AZUL DE METILENO USANDO COMO
ADSORVENTE A CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)**

**Bagé
2021**

CAMILA FACCIÓN MOREIRA

ADSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL AZUL DE METILENO USANDO COMO ADSORVENTE A CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gabriela Silveira da Rosa

Coorientadora: Dr^a. Aline Lemos Arim

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

M141018a Moreira, Camila Faccioni

ADSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL AZUL DE METILENO USANDO
COMO ADSORVENTE A CASCA DA CASTANHA DO BRASIL
(Bertholletia

excelsa H.B.K.) / Camila Faccioni Moreira.

51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA,
2021.

"Orientação: Gabriela Silveira da Rosa".

1. Adsorção. 2. Corantes têxteis. 3. castanha do
Brasil.

I. Título.

CAMILA FACCIÓNI MOREIRA

ADSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL AZUL DE METILENO USANDO COMO ADSORVENTE A CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (BERTHOLLETIA EXCELSA H.B.K)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Dissertação defendida e aprovada em: 04 de outubro de 2021.

Banca examinadora:

Professora Dr^a Gabriela Silveira da Rosa

Orientador

UNIPAMPA

Dr^a. Aline Lemos Arim

Co orientador

UNIPAMPA

Professor Dr. Marcilio Machado Morais

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/10/2021, às 18:41, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Aline Lemos Arim, Usuário Externo**, em 08/10/2021, às 14:07, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCILIO MACHADO MORAIS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0632795** e o código CRC **84CDEC97**.

Dedico este trabalho para minha filha que me deu forças para continuar esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que sempre me deu apoio e suporte mesmo através da distância durante os anos que residi em Bagé. Sou eternamente grata aos meus pais, Rosa e Francisco, que estiveram comigo me dando forças, me incentivando a continuar e sempre abraçaram meus sonhos como se fossem deles, mesmo através de todas as dificuldades e também por serem os melhores avós que minha filha poderia ter. Ao meu irmão, Yuri, sou grata por toda a preocupação que tem comigo.

Agradeço a todos os meus professores que dedicaram tempo e esforço para passar seus conhecimentos e tirar minhas dúvidas. Sou muito grata a professora Gabriela por todos os ensinamentos e paciência comigo e a minha coorientadora Aline, sem vocês eu não teria conseguido.

Por fim, sou grata aos amigos que fiz em Bagé (Franciele, Klayryen, Paloma, Thiago e Julian), que estiveram comigo nessa jornada, onde tivemos muitos momentos de estudos misturados com diversão que fizeram todo esse caminho parecer mais leve e tranquilo.

RESUMO

O efluente líquido gerado pelas indústrias têxteis podem causar sérios problemas ambientais em função das suas características. Esses efluentes, geralmente, apresentam corantes, que são compostos orgânicos responsáveis por reduzir ou impedir a passagem de luz solar, se lançado em rios e lagos, causando a redução da fotossíntese e afetando a vida aquática do meio. Além de ao se decompor, sob certas condições alguns corantes desenvolvem potencial cancerígeno, tornando-se tóxico aos seres humanos e ecossistemas. Dentre os corantes têxteis presentes nesses efluentes, destaca-se o Azul de Metileno (AM), que é um corante catiônico de difícil degradação e que apresenta grande dificuldade no seu tratamento. Um dos métodos de tratamento mais utilizados para esse tipo de efluente industrial é a adsorção, pois pode atingir elevada eficiência de remoção, é de fácil operação e a existência de uma ampla gama de materiais adsorventes. São fatores predominantes para o sucesso da adsorção, a escolha adequada do adsorvente, sua viabilidade econômica e baixa toxidez. Com isso, tem se intensificado a busca por adsorventes alternativos provenientes de resíduos vegetais. A casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) é um material abundante e disponível na região amazônica, tendo em vista que para cada tonelada de amêndoa limpa, gera-se em torno de 1,4 tonelada de resíduos sólidos. A partir do que foi exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar o uso da casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) processada, para aplicação na remoção do corante Azul de Metileno. Inicialmente fez-se o preparo da matéria prima através de lavagem em água corrente, secagem por 24h em estufa a 105 °C, moagem em moinho de facas e peneiramento através de um jogo de peneiras e um agitador por 30 min. O pó obtido foi denominado como adsorvente alternativo para remoção de AM presente em fase líquida. A influência do pH da solução, da dosagem do adsorvente e da granulometria do adsorvente foram determinadas a partir de ensaios de adsorção em batelada. Foram avaliadas as granulometrias de até 2 mm, dosagem entre 2 e 20 g/L, e pH da solução entre 2 e 10. Os resultados da análise granulométrica do pó obtido indicaram que a maior quantidade de massa retida foi na peneira que possui abertura de 0,5 mm, com 52% da massa inicial. O diâmetro de *Sauter* para o pó foi de 0,527 mm. Pode-se avaliar a influência dos parâmetros analisados nos ensaios de adsorção, sendo a remoção do corante favorecida utilizando: dosagem de 10 g/L, tamanho de partícula de 0,5 mm e pH 6. Portanto, com estes resultados, considera-se a casca da castanha do Brasil processada um material alternativo para a remoção do corante AM.

Palavras chave: Indústria têxtil. Corante. Castanha do Brasil. Adsorção.

ABSTRACT

The liquid effluent generated by textile industries can cause serious environmental problems depending on their characteristics. These effluents usually contain dyes, which are organic compounds responsible for reducing or preventing the passage of sunlight, if released into rivers and lakes, causing a reduction in photosynthesis and affecting the aquatic life of the environment. In addition, when decomposing, under certain conditions, some dyes develop carcinogenic potential, becoming toxic to humans and ecosystems. Among the textile dyes present in these effluents, Methylene Blue (AM) stands out, which is a cationic dye that is difficult to degrade and presents great difficulty in its treatment. One of the most used treatment methods for this type of industrial effluent is adsorption, as it can achieve high removal efficiency, it is easy to operate and there is a wide range of adsorbent materials. Predominant factors for adsorption success are the appropriate choice of adsorbent, its economic feasibility and low toxicity. Thus, the search for alternative adsorbents from plant residues has intensified. The husk of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) is an abundant material available in the Amazon region, considering that for each ton of clean almond, around 1.4 ton of solid waste is generated. From what has been exposed, the aim of this work was to study the use of processed Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) husk for application in the removal of Methylene Blue dye. Initially, the raw material was prepared by washing in running water, drying for 24 hours in an oven at 105 °C, grinding in a knife mill and sieving through a set of sieves and a shaker for 30 min. The powder obtained was named as an alternative adsorbent for the removal of AM present in the liquid phase. The influence of solution pH, adsorbent dosage and adsorbent granulometry were determined from batch adsorption tests. The particle sizes between 0 and 2 mm were evaluated, the adsorbent dosage was tested at 2, 4, 10 and 20 g/L, the adsorbent particle size effect was tested in the range of 0.05, 0.125, 0.25, 0.5 and 1 mm and the pH of the solution was evaluated in a range of 2, 4, 6, 8 and 10. The results of the granulometry indicated that the largest amount of mass retained was in the sieve that has an opening of 0.5 mm that corresponds to Tyler 32, where 52% of the initial mass was retained and the Sauter diameter was 0.527 mm. It is possible to evaluate and verify the influence of the parameters analyzed in the adsorption tests, in which the optimal dosage of adsorbent material was 10 g/L, combining the smallest amount of adsorbent with the highest dye removal efficiency, the best particle size was 0.5 mm and the optimum pH of the solution was pH 6, as this is the actual pH of the solution. Therefore, with these results, the processed Brazil nut husk is considered an alternative material for dye removal.

Keywords: Textile industry. Dye. Brazil nuts. Adsorption

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Castanheira do Brasil	17
Figura 2 – Características botânicas da castanheira do Brasil	18
Figura 3 – Características do fruto da castanheira do Brasil	19
Figura 4 – Semente da castanheira do Brasil	19
Figura 5 – Amêndoas da castanha do Brasil	20
Figura 6 – Efluente têxtil	23
Figura 7 – Estrutura molecular do Azul de Metileno	24
Figura 8 – Comportamento das isotermas	28
Figura 9 – Etapas da cinética de adsorção	31
Figura 10 – Sementes da castanha do Brasil	33
Figura 11 – Esquema da obtenção das amostras	34
Figura 12 – Processo da adsorção em batelada	35
Figura 13 – Curva de calibração	36
Figura 14 – Distribuição granulométrica das amostras	37
Figura 15 – Testes de dosagem das amostras	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Utilização dos produtos e subprodutos da castanheira	21
Tabela 2 – Comparação entre os mecanismos de fisissorção e quimissorção	26
Tabela 3 – Efeito da dosagem de adsorvente	39
Tabela 4 – Efeito da granulometria do adsorvente na adsorção	39
Tabela 5 – Efeito do pH inicial da solução	40

LISTA DE SIGLAS

ABIT – Associação Brasileira de Indústria Têxtil

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

UV - Vis – Espectroscopia no ultravioleta visível

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Nome	Dimensão
C_0	Concentração inicial	$M.L^{-3}$
C_e	Concentração no equilíbrio	$M.L^{-3}$
D_p	Diâmetro médio de <i>Sauter</i>	L
dp_i	Intervalo médio das aberturas das peneiras	L
K_L	Constante isotérmica de Langmuir	$L.M^{-1}$
K_F	Constante isotérmica de Freundlich	$M^{1-(1/n)}.L^{1/n}/M$
k_1	Constante de velocidade de pseudo-primeira ordem	T^{-1}
k_2	Constante de velocidade de pseudo-segunda ordem	$M.M^{-1}.T^{-1}$
M	Massa de adsorvente	M
$m_{sólido}$	Massa de cascas	M
q_e	Capacidade de adsorção no equilíbrio	-
q_m	Capacidade máxima de adsorção	-
q_t	Capacidade de adsorção em função do tempo	$M.M^{-1}.T^{-1}$
R_L	Fator de separação	-
V	Volume	L^3
x_i	Fração ponderal retida em cada peneira	-

Simbologia grega

Símbolo	Nome	Dimensão
$\rho_{aparente}$	Massa específica aparente	$M.L^{-3}$
ρ_{real}	Massa específica real	$M.L^{-3}$

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Castanheira do Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K.)	16
3.2	Produção	19
3.3	Geração de resíduo.....	20
3.4	Aproveitamento do resíduo.....	21
3.5	Indústrias têxteis	21
3.5.1	Efluentes têxteis	22
3.6	Corantes	23
3.6.1	Azul de Metileno	23
3.7	Adsorção	24
3.7.1	Princípios e condições operacionais que influenciam na adsorção	25
3.7.2	Isotermas de adsorção	26
3.7.3	Cinética de adsorção	29
4	METODOLOGIA	32
4.1	Preparo da amostra.....	32
4.2	Ensaio de adsorção sólido-líquido.....	33
4.2.2	Efeito granulométrico do adsorvente na adsorção de Azul do Metileno	35
4.2.3	Efeito do pH da solução na adsorção de Azul do Metileno	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6	CONCLUSÃO	41
7	SUGESTÕES FUTURAS	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a maioria das empresas do setor têxtil é de pequeno e médio porte, que concentram cerca de 80 a 90% do faturamento nacional. Quando se refere a produção, a maior parcela do setor corresponde às atividades das indústrias de grande porte. A região Sudeste concentra a maioria dessas indústrias, seguida das regiões Sul e Nordeste do país (LEÃO, 2002).

Uma das grandes dificuldades encontradas pelas indústrias têxteis está centrada no problema ambiental, principalmente no controle e remoção dos corantes de efluentes residuários (SALLEM, 1995). Empresas do setor têxtil são responsáveis por cerca de 20% de toda a poluição industrial. Atualmente, há mais de 100 mil corantes disponíveis comercialmente e mais de 700 mil toneladas são produzidas anualmente em todo o mundo (ADEGOKE; BELLO, 2015). Apesar da identificação de outros compostos químicos nos efluentes têxteis, os corantes destacam-se devido à coloração evidenciada na água, mesmo em concentrações relativamente baixas das substâncias, como 1 ppm (BERTOLINI; FUNGARO, 2011; SÁ LUÍS 2009).

A presença de corantes nos efluentes é facilmente visível, pois afeta a estética, a transparência da água e a solubilidade de gases nos corpos receptores, além de reduzir a capacidade de aeração dos corpos hídricos em função da redução da penetração de luz solar e consequente alteração dos processos de fotossíntese (GUARATINI; ZANONI, 2000). Nesses efluentes há, geralmente, a presença do corante Azul de Metileno, que, segundo Poggere *et al.* (2011), é um corante catiônico de difícil degradação, quando não removido adequadamente.

Visando à remoção, bem como a redução dos impactos ambientais causados por essas substâncias, Yagub *et al.* (2014) diz que diferentes métodos para tratamento de efluentes contendo corantes foram desenvolvidos e ainda vêm sendo investigados e aprimorados, tais como processos oxidativos avançados, de coagulação, com utilização de membranas, eletroquímicos, de biodegradação e de adsorção.

O processo de adsorção está se destacando como tratamento na remoção de poluentes, como corantes por ser um método simples e econômico que se baseia na capacidade de retenção de compostos por materiais adsorventes com grande área superficial específica e porositas através de interações intermoleculares (MCKAY, 1996; LANG, 2009).

O carvão ativado é o adsorvente mais empregado para remoção de corantes devido à sua elevada capacidade de adsorção, característica associada principalmente à sua estrutura porosa, a qual confere ao adsorvente uma grande área superficial e um volume médio de poros

apropriado. Além de tratar-se de um adsorvente eficiente na retenção de compostos orgânicos e inorgânicos quando presentes em baixas concentrações. (BARROS, 2001). Contudo, o carvão ativado apresenta algumas desvantagens, como o custo elevado, a ineficiência na adsorção de alguns corantes e dificuldades no processo de regeneração (ROYER, 2008).

De acordo com Souza *et al.* (2004) o emprego de adsorventes alternativos torna-se ainda mais relevante quando são derivados de resíduos agroindustriais, os quais dependendo do volume produzido podem se tornar um problema ambiental.

A *Bertholletia excelsa* HBK é uma árvore nativa da região amazônica e seu fruto, o ouriço, contém sementes que possuem no seu interior uma amêndoa apreciada no mundo inteiro (Barbeiro, 2012). É uma das espécies mais altas da Amazônia, normalmente atingem entre 30 e 50 m de altura e possuem diâmetro de 1 a 2 metros. O fruto da castanheira leva mais de um ano para amadurecer, é mais ou menos do tamanho de um coco e pode pesar 2 kg. O ouriço é muito duro e abriga cerca de 20 sementes, que no seu interior abrigam as amêndoas (WWF, 2019). Segundo Lobo (2002), cada ouriço da castanha do Brasil contém aproximadamente 20 castanhas com peso total médio de 2,4 kg, e na produção de 1kg de castanha limpa é gerado 1,4 kg de resíduos incluindo as cascas da castanha e ouriço.

Considerando a grande geração de resíduos provenientes do extrativismo da castanha do Brasil, este trabalho justifica-se através da aplicação das cascas da castanha como adsorvente alternativo para remover o corante têxtil catiônico Azul de Metileno.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

No presente trabalho foi proposto o uso da casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) como adsorvente alternativo para remoção do corante têxtil catiônico Azul de Metileno de soluções aquosas.

2.2 Objetivos específicos

- processar a casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) através das operações de lavagem, secagem, moagem e peneiramento;
- caracterizar a granulometria do pó da casca de castanha, após moagem;
- avaliar a influência de parâmetros experimentais (granulometria, dosagem do adsorvente e pH da solução) na capacidade de adsorção e eficiência de remoção do corante Azul de Metileno presente em solução aquosa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)

A castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), também conhecida como castanheira do Pará é uma árvore alta e bela, Figura 1, nativa da Amazônia. Pode ser encontrada às margens de grandes rios como o Amazonas, o Negro, o Orinoco e o Araguaia. Apesar de estar presente em todos os nove países amazônicos (Brasil, Peru, Colômbia, Equador, Bolívia, Guiana, Suriname, Venezuela e Guiana Francesa), atualmente só é abundante na Bolívia e Suriname (WWF, 2019).

Figura 1 – Castanheira do Brasil



Fonte: Lorenzi (2015)

Foi descrita em 1808 pelos pesquisadores Humboldt, Bonpland e Kunt em homenagem, em latim, ao nome do químico francês Claude Louis Berthollet (1748 – 1822), um clássico dos tempos de Napoleão muito admirado na época, em que a árvore foi batizada (século XIX). A designação da espécie, que serve como adjetivo qualifica-a como excelente. A tradução desse nome do latim seria então, “a excelente de Berthollet” (MORI e PRANCE, 1990).

A *Bertholletia excelsa* pertence a uma família pantropical de árvores (*Lecythidaceae*) que inclui aproximadamente 200 espécies distribuídas do sul do México ao sul do Brasil (MORI E PRANCE, 1990). Representa a única espécie do gênero e embora exista uma variação no tamanho, forma e número de sementes, não há justificativas para o reconhecimento de mais de uma espécie de *Bertholletia* (NYBG, 2019).

A castanheira (Figura 2a) possui tronco cilíndrico, reto, de casca escura e fendida. Pode atingir 50 metros de altura em floresta primária, apresentar um diâmetro à altura do peito (DAP) maior que 2 metros e viver centenas de anos. Por essas características, torna-se uma árvore fácil

de ser identificada na floresta. Sua copa (Figura 2b) é denominada do tipo guarda-chuva pois apresenta galhos em todas as direções e mais ou menos paralelos ao chão. Suas folhas (Figura 2c) são simples, espaçadas, alternadas, pericloradas, verde-escuras, brilhosas na parte superior e pálidas na parte inferior (EMBRAPA, 2019).

Segundo Pennacchio (2006), trata-se de uma espécie encontrada em solos pobres, desestruturados, drenados e argilosos ou argilo arenosos. Aliado a este fato, esta árvore não é encontrada em áreas com drenagem deficiente, nem em solos excessivamente compactados, adaptando-se bem a terras firmes e altas. Cresce naturalmente em clima quente e úmido, em áreas com precipitação média entre 1500 e 2800 mm/ano.

Figura 2 – Características botânicas da castanheira do Brasil, (a) estrutura do tronco, (b) estrutura da copa e (c) estrutura das folhas



(a)



(b)



(c)

Fonte: Adaptado de Embrapa (2019)

A castanheira, juntamente com outras espécies florestais, é uma excelente alternativa para o reflorestamento de áreas degradadas de pastagem ou de cultivos anuais. Tanto para a produção de frutos quanto para a extração de madeira (MULLER *et al.*, 1995).

De acordo com Almeida (2015) o fruto da castanheira é conhecido como ouriço e tem formato de uma cápsula globosa, praticamente esférica, do tipo pixídio, semelhante ao coco, medindo entre 8 e 16 cm de diâmetro. O ouriço é envolvido por duas camadas esféricas de substância lenhosa, sendo a externa mais fina, como pode-se observar na Figura 3a. O peso do ouriço pode variar de 1 a 5 kg. Dentro do mesmo, é que são encontradas as sementes ou castanhas propriamente ditas, cujo número se situa entre 10 e 25 unidades. As mesmas estão dispostas dentro dos frutos de forma semelhante aos gomos de uma laranja, ligadas entre si, por um material fibroso e desidratado, demonstrada na Figura 3b. Uma castanheira pode produzir

entre 63 e 216 frutos por estação, embora tal quantidade possa variar muito de uma área para a outra.

Figura 3 – Características do fruto da castanheira do Brasil, (a) Ouriço fechado, (b) Sementes dispostas dentro do ouriço



(a)



(b)

Fonte: ABNC (2021); Biologia (2014)

As sementes, Figura 4, apresentam um formato triangular anguloso, com uma casca lenhosa, dura e rugosa e em sua base encontra-se um polo radicular de onde se origina a raiz primária. Essa casca que contém a amêndoa corresponde a aproximadamente 50% da semente. No sentido botânico, as sementes não podem ser consideradas como sendo nozes ou castanhas, “mas sim caroços de pixídio” (MORITZ, 1984).

Figura 4 – Semente da castanheira do Brasil



Fonte: Autora (2019)

Donnadio (2002) cita que as amêndoas, Figura 5, são ricas em bário, bromo, cobalto, cério, magnésio, níquel, rubídio e, principalmente, selênio, sendo os três primeiros com níveis maiores que em outras nozes. Os seus principais ácidos graxos são os palmíticos, os oleicos e

os linoleicos. A castanha do Brasil é rica em vitaminas A, B e C, e é altamente energética pois fornece 751,6 cal.100 g⁻¹ (COSTA, 1991).

Figura 5 – Amêndoas de castanha do Brasil



Fonte: Gruber (2018)

A *B. excelsa* é uma espécie considerada de uso múltiplo, pois, apesar de a semente ser o seu principal produto, pode-se utilizar a madeira para construções naval e civil; a casca, para fazer estopa, com o objetivo de calafetar barcos; e o ouriço, para fazer carvão (WADT; KAINER, 2009).

3.2 Produção

Apesar da pequena representatividade no conjunto das exportações brasileiras e dos estados amazônicos, a cadeia produtiva da castanha do Brasil tem importância significativa, especialmente pelo fato de sua coleta ser a mais importante atividade econômica para várias comunidades extrativistas da região (SOUSA; FERREIRA, 2006).

De acordo com Tonini (2007), o extrativismo da castanha, no Brasil, se caracteriza pela alta concentração da produção em poucos estados, onde, o Acre, o Amazonas e o Pará detêm 80,7% da produção, com os demais estados (Rondônia, Mato Grosso, Amapá e Roraima) totalizando 19,3% restantes.

Com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) o Brasil teve uma produção de 38.300 toneladas de castanha no ano de 2013, sendo 36.704 toneladas produzidas apenas na região Norte. O estado do Acre lidera a produção com 13.599 toneladas, seguido pelo estado do Amazonas com 11.785 toneladas e em terceiro lugar com 9.023 toneladas o estado do Pará, Rondônia aparece com uma produção de 1.689 toneladas.

3.3 Geração de resíduo

Devido o bioma amazônico abranger cerca de 60% do território nacional, o mesmo possui uma grande diversidade de fontes renováveis naturais e os resíduos de biomassa vegetais advindo do beneficiamento de agroindústrias destacam-se nesse cenário (NASCIMENTO, 2012).

Santos (2008) diz que a castanha do Brasil demonstra alto potencial produtivo, ampla diversidade de propriedades além de ser uma grande fonte para usos nos diferentes segmentos industriais, tanto por sua constituição em madeira, como pela utilização de seus produtos e subprodutos (Tabela 1).

Tabela 1 – Utilização dos produtos e subprodutos da castanheira

Constituintes	Usos
Amêndoas	Indústria de alimentos devido a seu elevado valor nutricional. Elaboração de produtos e subprodutos
Ouriço	Medicina doméstica, artesanato, adubos.
Casca	Potencial de utilização como adubo, além de servir como carvão vegetal e para a produção de carvão ativado.

Fonte: Kornexl (1999); Almeida (2015)

A cada tonelada de amêndoas processadas da castanha do Brasil, tem-se em torno de 1,4 toneladas de resíduos (BOUVIE *et al.*, 2016; DIAS *et al.*, 2012). No caso do processamento industrial das amêndoas de castanha do Brasil, a geração de resíduos torna-se maior em virtude de o fruto encontrar-se no interior de um ouriço e do descarte das cascas amadeiradas da própria amêndoa e sua respectiva película. Além disso, têm-se as amêndoas quebradas que não se encaixam no padrão tipo exportação, as quais podem gerar um resíduo quando seu teor em óleo é extraído, gerando um grande volume do que se denomina torta desengordurada ou parcialmente desengordurada, dependendo da forma de extração lipídica aplicada (SANTOS, 2008; SANTOS *et al.*, 2010; YANG, 2009).

3.4 Aproveitamento do resíduo

Neste contexto, a utilização de fontes de energia alternativa, essencialmente a biomassa é de suma importância para a preservação do meio ambiente, pois a sua utilização reduz o uso do petróleo que agravam o efeito estufa e reduz à camada de ozônio, além de apresentar um alto custo para a produção e transporte, a biomassa viabiliza uma energia mais limpa, renovável e gera renda (GOLDEMBERG *et al.*, 2007). Partindo deste princípio, Nascimento (2012) relata que a casca da castanha do Brasil possui alto poder calorífico sendo ideal para a utilização como biomassa.

A casca da castanha do Brasil pode ser utilizada na agricultura como biofertilizante, visto que, ela possui compostos nutricionais essenciais para o desenvolvimento da planta, como macronutrientes e micronutrientes (DOS ANJOS *et al.*, 2017). A presença de macro e micronutrientes ajuda nos processos metabólicos das plantas como respiração e divisão celular, entre outros (SOARES *et al.*, 2014).

3.5 Indústrias têxteis

Segundo Medeiros (2017), o setor têxtil é um dos principais ramos industriais do mundo, empregando milhões de pessoas como mão de obra direta e indireta e sendo responsável por uma massiva e complexa cadeia de produção anual. Com base em dados da Associação Brasileira de Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2016), a indústria têxtil arrecadou US\$ 39,3 bilhões em 2015, produzindo cerca de 6,7 bilhões de peças (entre vestuário, acessórios e produtos de cama, mesa e banho) por meio de 1,5 milhão de empregados diretos.

Mesmo antes da chegada dos portugueses ao Brasil, os índios já praticavam atividades artesanais “têxteis”, utilizando-se de técnicas primitivas, entrelaçando de forma manual fibras vegetais, cujas finalidades eram variadas, indo desde a fabricação de redes e algumas peças que usavam no corpo e na elaboração de tochas, visto que no Brasil já era cultivado o algodão selvagem (MORAES, 2015).

No Brasil, a indústria têxtil foi implantada em meados do século XIX e manteve-se bastante incipiente até o término da Primeira Guerra Mundial, a partir de quando passou a haver um processo gradual de consolidação do setor. A indústria têxtil teve seu maior desenvolvimento durante os anos de 1970 e teve seu declínio nos anos de 1990, devido à forte concorrência internacional, o que levou muitos pequenos produtores a abandonar suas atividades (COSTA JÚNIOR, 2014).

Immchi (2006) informa que o processo de produção da cadeia têxtil tem seu início com a matéria-prima passando pela fiação, tecelagem, acabamento e inspeção. Posteriormente, são iniciados os processos de merceirização, purga, alvejamento químico e o tingimento. Após este último processo, é dado início ao acabamento do produto.

O setor têxtil é conhecido por apresentar elevado potencial poluidor, abrangendo cinco campos distintos: efluentes líquidos, emissões de gases e partículas, resíduos sólidos, odores e ruídos (MORAIS, 1999).

3.5.1 Efluentes têxteis

Aravind *et al.* (2016) relatam que o efluente da indústria têxtil é classificado como o mais poluente de todos os setores da indústria química, uma vez que, no Brasil, a indústria têxtil utiliza aproximadamente 20 toneladas por ano de corantes e cerca de 20% são descartados como efluentes. As indústrias têxteis geram efluentes com forte coloração (Figura 6), devido ao fato de parte do corante não se fixar completamente à fibra (CISNEROS *et al.*, 2002).

Figura 6 – Efluente têxtil



Fonte: Stylo Urbano (2017)

Cisneros *et al.* (2002) informam que estes efluentes apresentam altos valores de DBO e DQO, temperatura elevada, alta concentração de matéria orgânica e de metais pesados, pH variável, compostos orgânicos colorados e tensoativos e grande quantidade de sólidos suspensos. A cor impede a entrada de luz, retarda as atividades fotossintéticas, inibe o crescimento da biota e atrai íons metálicos que geram microtoxinas para peixes e outros organismos (GARG *et al.*, 2004).

3.6 Corantes

O tingimento de tecidos é uma prática iniciada há anos e até a metade do século XIX, os corantes eram normalmente extraídos de fontes naturais de origem vegetal ou animal (KAMMRADT, 2004).

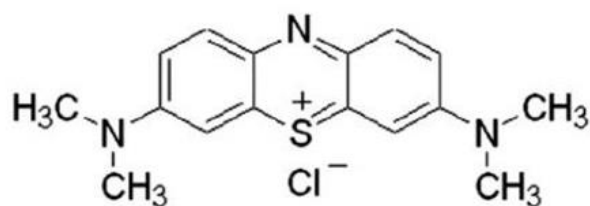
Segundo Zollinger (1991), os corantes fazem parte de um grupo de materiais chamados colorantes que são caracterizados por absorverem luz na região do visível (350 – 760 nm). Kimura *et al.* (1999) acrescentam que os corantes absorvem seletivamente a luz visível, devido à presença de grupos cromóforos conjugados a anéis aromáticos em sua estrutura. São constituídos por grupos auxocromos, como a etila, amina, sulfônico, hidroxila, metóxi, etóxi, cloro e bromo, que determinam as propriedades físico-químicas dos corantes, responsáveis pela fixação à fibra e intensificação da cor.

Diversos corantes são utilizados na indústria têxtil, sozinhos ou combinados, na obtenção de cores diferentes. A classificação padrão é adotada pelo *Colour Index* (CI) e divide os corantes de acordo com a sua estrutura, composição e o modo de fixação, os corantes podem ser: ácidos, básicos, reativos, diretos, à cuba, dispersos, sulfurosos e do tipo azo (BASTIAN; ROCCO, 2009). Neste sentido destaca-se o corante Azul de Metileno.

3.6.1 Azul de Metileno

O Azul de Metileno é um corante orgânico catiônico, encontra-se na classe dos reativos. É amplamente utilizado na indústria têxtil, em impressões e em procedimentos fotográficos (BAEISSA, 2014). Este corante é conhecido por ter facilidade em adsorver-se em superfícies sólidas, além de ser ótimo para avaliação de remoção de poluentes orgânicos de soluções aquosas (HAMED; AHMED; METWALLY, 2013). Na Figura 7, pode-se observar a estrutura molecular do corante.

Figura 7 – Estrutura molecular do azul de metileno



Fonte: DOMINGUINI *et al.* (2014)

De acordo com Longhinotti *et al.* (1996), além das aplicações nos ramos de impressão, tratamento de couro e tingimento de tecidos, o Azul de Metileno também tem sido utilizado como fotossintetizador, traçador de águas contaminadas, desinfetante e antisséptico, além do uso em análises de ácido ascórbico, detergentes, percloratos, peróxidos e do nível de bactérias no leite.

Diante destes fatores, utiliza-se o método de adsorção para a remoção deste corante.

3.7 Adsorção

A adsorção é um fenômeno físico-químico de transferência de massa, em que um componente presente em uma fase gasosa ou líquida é transferido para a superfície de uma fase sólida. Os componentes que se unem à superfície são ditos adsorvatos, enquanto a fase sólida, que retém o adsorvato, é chamada de adsorvente. Isto ocorre principalmente pelo fato de que há o desequilíbrio de forças superficiais existentes (MASEL, 1996; VILAR, 2006).

A viabilidade do método é exemplificada por Ruthven (1984) a partir de alguns processos que utilizam o princípio, que são: Clarificação de bebidas e produtos farmacêuticos; desidratação de gases; purificação de efluentes de processo para controle de poluição de água e separação de hidrocarbonetos aromáticos e parafínicos.

Nascimento *et al.* (2014) informam que dependendo da natureza das forças envolvidas, a adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade em dois tipos:

- **Adsorção física (fisissorção):** neste caso, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca, que pode ser atribuída às forças de Van der Waals, que são similares as forças de coesão molecular;
- **Adsorção química (quimissorção):** diferentemente, a quimissorção, envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultando em uma reação química. Isso resulta essencialmente numa nova ligação química e, portanto, bem mais forte que no caso da fisissorção.

A distinção quanto à espécie ser física ou quimicamente adsorvida não é muito clara (ADAMSON; GAST, 1997). De maneira geral, as principais diferenças entre a fisissorção e a quimissorção estão indicadas no Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre os mecanismos de fisissorção e quimissorção

Características	Fisissorção	Quimissorção
-----------------	-------------	--------------

Calor de adsorção	Baixo	Alto
Ocorrência da adsorção	Não localizada	Localizada
Reversibilidade	Reversível	Irreversível
Energia de ativação	Rápida	Lenta

Fonte: Nascimento *et al.* (2014)

Na indústria, o modo de operação mais utilizado com adsorventes é utilizando uma coluna empacotada com partículas de adsorvente (leito fixo), nesta coluna, o efluente passará, e será adsorvido ou removido um ou mais componentes desejados (LUZ, 2012).

3.7.1 Princípios e condições operacionais que influenciam na adsorção

De acordo com Nascimento *et al.* (2014), os fenômenos de adsorção são resultados de uma combinação entre os tipos de forças envolvidas na adsorção física e química. É um processo que depende de vários fatores, tais como: natureza do adsorvente, do adsorvato e das condições operacionais (COONEY, 1999).

3.7.1.1 Efeito do pH

Segundo Mall *et al.* (2006), alterações no pH podem afetar o processo de adsorção por meio da dissociação de grupos funcionais presentes nos sítios ativos do adsorvente. Dessa forma, é necessário conhecer a influência que este parâmetro exerce sobre o processo de adsorção de corantes.

Conforme Repo *et al.*, 2011; Ngah; Fatinathan, 2010, o pH da solução aquosa constitui uma variável importante e que tem grande influência no processo de adsorção, pois pode alterar as cargas superficiais do adsorvente e a protonação dos grupos funcionais de superfície, como o grau de ionização das espécies.

Toledo *et al.* (2005) relatam que a importância dessa variável na adsorção é que as cargas do adsorvato e do adsorvente devem ser opostas para que haja uma maior interação eletrostática entre ambos, se as cargas forem iguais, o processo de adsorção será prejudicado, pois haverá repulsão eletrostática.

3.7.1.2 Efeito da temperatura

A temperatura é um dos parâmetros que mais influenciam nas relações de equilíbrio, uma vez que afeta a agitação das moléculas do sistema, interferindo também nas forças de atração e repulsão entre o adsorvato e o adsorvente (MARIN *et al.*, 2015).

A temperatura possui dois efeitos importantes sobre o processo de adsorção. Um aumento da temperatura aumenta a taxa de difusão das moléculas do adsorvato em toda camada limite externa e interna nos poros da partícula do adsorvente, devido a diminuição da viscosidade da solução, além de gerar um maior grau de agitação molecular. A variação da temperatura altera o estado de equilíbrio da adsorção para um determinado adsorvato (DOGAN; ALKAN; DEMIRBAS, 2006).

3.7.1.3 Efeito granulométrico

Com base em Sekar; Sakthi; Rengaraj (2004), a intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica do adsorvente, visto que a adsorção é um fenômeno de superfície. Para partículas maiores, a resistência à difusão é maior e grande parte da superfície interna da partícula não está disponível para o processo de adsorção.

3.7.2 Isotermas de adsorção

De acordo com Drabowski (1999), isoterma de adsorção é a relação de equilíbrio entre a quantidade do material adsorvido e a concentração na fase fluida, à temperatura constante. Indicam como as moléculas de adsorvato se distribuem entre a fase líquida e a fase sólida quando o processo de adsorção atinge o equilíbrio (ZAMRI *et al.*, 2017).

Com base em Nascimento *et al.* (2014), a obtenção de uma isoterma de adsorção é um processo simples em que uma massa de adsorvente é adicionada em um determinado volume de uma série de soluções com concentrações iniciais diferentes e conhecidas. Quando o equilíbrio da adsorção é atingido, tem-se a concentração final de soluto na solução em equilíbrio e a capacidade de adsorção do adsorvente.

Para obter a concentração final, utiliza-se técnicas analíticas tais como cromatografia gasosa ou líquida, espectrometria no ultravioleta ou visível, espectrometria de absorção ou emissão ou outros meios adequados. Já para obter valores da capacidade de adsorção, deve-se fazer um balanço de massa, em que a quantidade de adsorvato no adsorvente deve ser igual à quantidade de adsorvato removido da solução, ou, em termos matemáticos representados na Equação 1 (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) V}{m} \quad (1)$$

onde, q_e (mg g^{-1}) é a capacidade de adsorção no equilíbrio, C_0 (mg L^{-1}) a concentração inicial do adsorvato, C_e (mg L^{-1}) a concentração de adsorvato no equilíbrio, V (L) o volume de solução e m (g) é a massa de adsorvente.

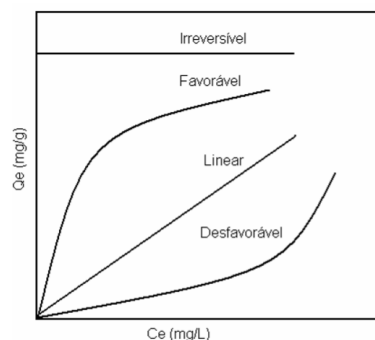
Tipicamente, a dependência da quantidade adsorvida na concentração da solução no equilíbrio é determinada experimentalmente e os dados medidos são subsequentemente descritos por uma equação de isoterma apropriada.

3.7.2.1 Comportamento das isotermas

Uma isoterma de equilíbrio pode ser representada graficamente através da relação entre q_e e C_e , a uma temperatura constante e sob condições de equilíbrio. A Figura 8 demonstra o comportamento típico de algumas isotermas de adsorção, definidas conforme se segue (ALVES, 2007):

- **Isoterma linear:** a capacidade de adsorção é diretamente proporcional à concentração de equilíbrio do adsorvato na fase fluida;
- **Isoterma favorável:** a capacidade de adsorção é alta para uma baixa concentração de equilíbrio do adsorvato na fase fluida;
- **Isoterma irreversível:** a capacidade de adsorção independe da concentração de equilíbrio do adsorvato na fase fluida;
- **Isoterma desfavorável:** a capacidade de adsorção é baixa para uma alta concentração de equilíbrio do adsorvato na fase fluida.

Figura 8 – Comportamento das isotermas



Fonte: Alves (2007)

Com base em Sousa (2007) as isotermas convexas são favoráveis, pois grandes quantidades adsorvidas podem ser obtidas com baixas concentrações de soluto.

3.7.2.2 Isoterma de Langmuir

A isoterma de Langmuir segue os pressupostos de que existe um número definido de sítios de adsorção, e tais sítios tem energia equivalente entre si. Além disso, as moléculas adsorvidas não interagem umas com as outras e a adsorção ocorre em monocamada (RUTHVEN, 1984). Segundo Shahmohammadi-Kalalagh (2011), Seader (2006) e Vaghetti (2009), o modelo de Langmuir supõe que:

- a captação de íons metálicos ocorre sobre uma superfície homogênea;
- os adsorvatos são quimicamente adsorvidos em um número fixo e bem definido de sítios;
- um sítio somente interage com uma superfície de adsorvato;
- todos os sítios são energeticamente equivalentes;
- não há qualquer interação entre os íons adsorvidos;
- a energia de ativação é a mesma em toda a superfície.

Dessa forma, a taxa líquida de adsorção é a diferença entre as taxas de adsorção e de dessorção na superfície do adsorvente.

A isoterma de Langmuir em sua forma não linearizada é dada pela Equação 2.

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

onde, K_L ($L \text{ mg}^{-1}$) é a constante isotérmica de Langmuir e q_m (mg g^{-1}) é a capacidade máxima de adsorção.

Com base em Nascimento *et al.* (2014), um indicativo muito usado no modelo de Langmuir, correspondente ao grau de desenvolvimento do processo de adsorção, é o valor de R_L (fator de separação), o qual é calculado utilizando-se os resultados obtidos de K_L e C_0 . O valor de R_L é obtido através da Equação 3.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (3)$$

Na maioria das situações de adsorção, o adsorvato prefere a fase sólida à líquida e a adsorção é dita favorável, $0 < R_L < 1$. Quando $R_L > 1$, há o indicativo de que o soluto prefere a fase líquida à sólida. $R_L = 1$ corresponde a uma isoterma linear (ERDOGAN *et al.*, 2005).

3.7.2.3 Isoterma de Freundlich

Suzuki (1990) relata que o modelo de Freundlich pressupõe que a superfície do adsorvente é heterogênea em termos de forma e de energia, o que indica que a interação entre as moléculas adsorvidas não é limitada à formação de apenas uma única camada.

A equação do modelo de Freundlich é expressa de acordo com a Equação 4 (FOO; HAMEED, 2010).

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

onde K_F é a constante isotérmica de Freundlich [$\text{mg}^{1-(1/n)} \text{L}^{1/n} / \text{g}$] e $1/n$ é a constante de equilíbrio de Freundlich.

A constante de Freundlich (K_F) está relacionada diretamente com a capacidade de adsorção, o que indica que quanto maior o seu valor, maior será a afinidade do adsorvato pelo adsorvente. O parâmetro empírico $1/n$ é uma indicativa da intensidade da adsorção e está associada à heterogeneidade da superfície adsorvente. Quando os valores de $1/n$ encontram-se no intervalo de 0,1 a 1, o processo de adsorção é favorável (FOO; HAMEED, 2010).

3.7.3 Cinética de adsorção

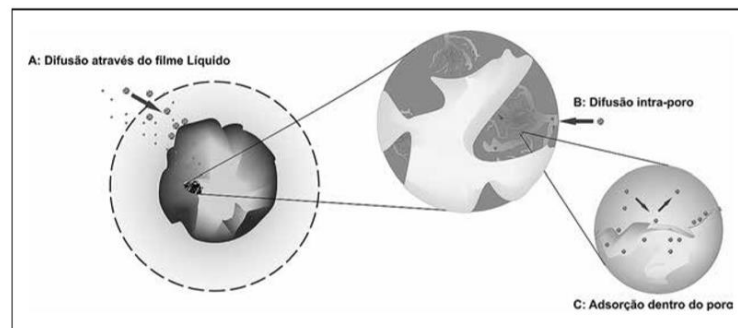
A descrição da cinética da adsorção é muito mais complicada do que a descrição teórica do seu equilíbrio, pois leva em consideração a evolução do processo em condições de não-equilíbrio (PLAZINSKI, 2009).

Com base em Nascimento *et al.* (2014), cinética de adsorção é expressa como a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em relação ao tempo, envolvendo a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente, os quais deverão migrar através dos macroporos até as regiões mais interiores desta partícula. Em princípio, a cinética de adsorção pode ocorrer por transferência de massa. Os mecanismos estão descritos abaixo:

- A. transferência de massa externa: a qual corresponde a transferência de moléculas da fase fluida para superfície externa da partícula adsorvente, por intermédio de uma camada de fluido que envolve a partícula.
- B. difusão no poro: a qual é ocasionada pela difusão de moléculas no fluido para o interior dos poros.
- C. difusão na superfície: a qual corresponde à difusão das moléculas totalmente adsorvidas ao longo da superfície do poro.

Essas etapas descritas acima podem ser observadas na Figura 9.

Figura 9 – Etapas da cinética de adsorção



Fonte: Nascimento *et al.* (2014)

3.7.3.1 Modelo cinético de pseudo-primeira ordem

A velocidade de adsorção pode ser determinada por uma expressão de velocidade de pseudo-primeira-ordem dada por Lagergren para a adsorção em sistema líquido/sólido baseada na capacidade do sólido. Ele assumiu que a velocidade de remoção do adsorvato com o tempo é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos do sólido (BERTOLINI, 2014). A equação não linearizada deste modelo é expressa pela Equação 5.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (5)$$

onde, q_t ($\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) é a quantidade de adsorvato retida por grama do adsorvente no tempo t (min), e k_1 (min^{-1}) é a constante de velocidade de pseudo-primeira-ordem.

Segundo Ho (2006), para que o modelo de pseudo-primeira ordem seja melhor aplicado, algumas regras devem ser seguidas:

- o modelo não pode ser ajustado a tempos de contato menores que 30 minutos, após ter iniciado o processo de adsorção;

- deve-se observar que quando o processo de adsorção é extremamente lento, sua capacidade de adsorção no equilíbrio se torna desconhecida, impedindo, assim, a utilização desse modelo.

3.7.3.2 Modelo cinético de pseudo-segunda ordem

De acordo com Hunter (1993) o modelo cinético de pseudo-segunda ordem, assim como o modelo cinético de primeira ordem, é baseado na capacidade de adsorção da fase sólida, se diferenciando da equação de Langergren, por relatar o comportamento do processo em toda faixa de tempo de contato, dos tempos curtos aos longos.

A forma mais aplicada da equação de pseudo-segunda ordem é a proposta por Ho e McKay (1999), que pode ser expressa na sua forma não linearizada pela Equação 6.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (6)$$

onde, k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) é a constante de velocidade do modelo cinético de pseudo-segunda ordem.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritas as metodologias utilizadas para a realização do processamento da matéria prima, a caracterização da casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) e os ensaios de adsorção.

Os procedimentos experimentais deste estudo foram realizados nos laboratórios do curso de Engenharia Química (1101, 1111 e 2107), localizados na Unipampa, Campus Bagé.

4.1 Preparo da amostra

Para este estudo utilizou-se cascas da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), obtidas no comércio local do município de Itaituba/PA. Na Figura 10 (a) é apresentado imagens de castanhas do Brasil e em (b) imagem da casca da castanha do Brasil obtidas para o preparo das amostras.

Figura 10 – Sementes da castanha do Brasil (a) Castanhas do Brasil e em (b) cascas obtidas.



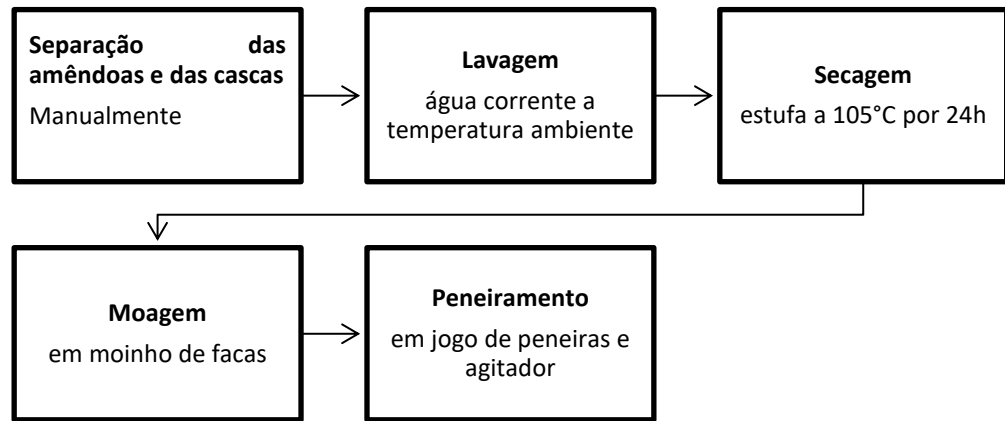
Fonte: Autora (2021)

Primeiramente as sementes foram quebradas de forma manual, utilizando um martelo, separando as amêndoas das cascas, onde pode-se observar na Figura 10b as cascas das sementes já separadas das amêndoas.

Após, fez-se uma lavagem das cascas com água corrente à temperatura ambiente e posteriormente as cascas foram secas em estufa a 105°C por 24 h. As amostras secas foram moídas em um moinho de facas da marca Marconi (MA 580) e peneiradas. Para realizar a análise de distribuição granulométrica e separação do pó das cascas moídas foi utilizado um jogo de peneiras (Tyler 9, 16, 32, 70, 115 e 270) e um agitador da Bertel Indústria Metalúrgica

LTDA. A análise foi realizada por 30 min com agitação intermediária. Todas essas etapas são demonstradas na Figura 11.

Figura 11 – Esquema da obtenção das amostras



Fonte: Autora (2021)

Os resultados da análise da distribuição granulométrica foram explorados através da curva diferencial e da determinação do diâmetro médio de *Sauter*, obtido pela Equação 8.

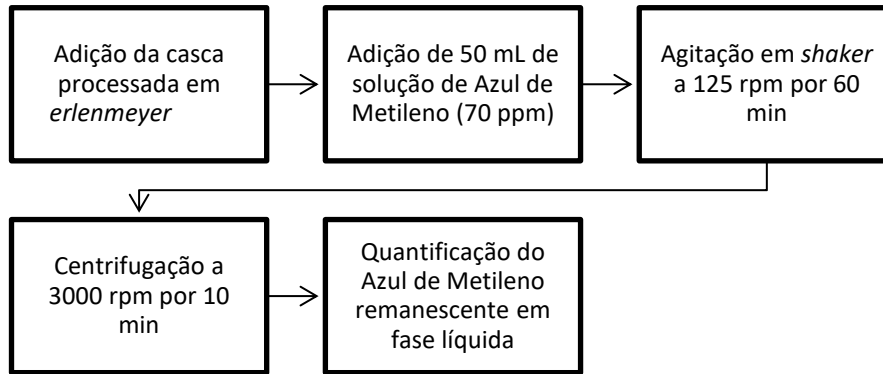
$$dp = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{dp_i}} \quad (8)$$

em que x_i é a fração ponderal retida em cada peneira e dp_i é o intervalo médio das aberturas das peneiras (mm).

4.2 Ensaios de adsorção sólido-líquido

Com o intuito de avaliar o potencial de uso da casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) como adsorvente alternativo foram realizados testes de adsorção sólido líquido em batelada. Todos os ensaios de adsorção foram realizados conforme o mesmo procedimento, que consistiu em pesar uma determinada massa de adsorvente em *erlenmeyers* e adicionar 50 mL de uma solução contendo 70 ppm de Azul de Metileno. Os frascos foram agitados em *shaker* (Nova Ética 109-1) a 125 rpm durante 60 min. Todas as amostras foram centrifugadas (Quimis) a 3000 rpm durante 10 min e o sobrenadante caracterizado com relação a concentração de Azul de Metileno. Os ensaios foram realizados em duplicata. Na Figura 12 é apresentado esquematicamente o processo de adsorção realizado.

Figura 12 – Processo da adsorção em batelada



Fonte: Autora (2021)

Estes ensaios foram realizados para avaliar a capacidade de adsorção (Equação 1) e a eficiência de remoção (R, %) (Equação 9) do corante Azul de Metileno.

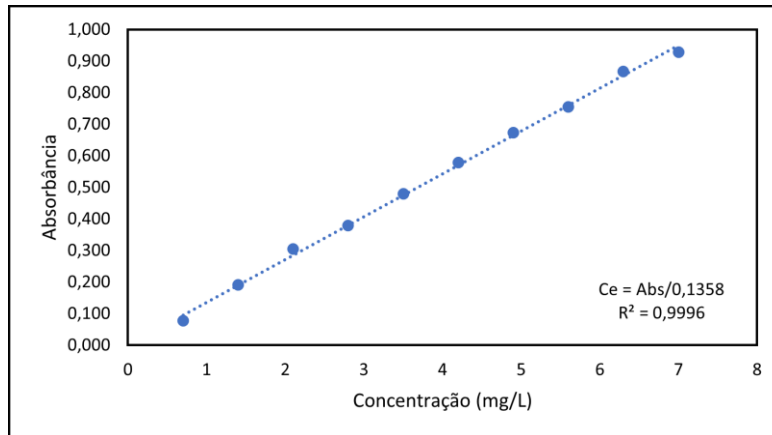
$$R = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

Pela técnica da espectrofotometria na região do UV-Vis (160 à 780nm) e com o uso de um espectrofotômetro, marca EQUILAM, modelo UV 755B, o efluente foi analisado no comprimento de onda do corante catiônico Azul de Metileno, equivalente a 650 nm. Com o uso deste equipamento, foi construída a curva de calibração do corante Azul de Metileno para diferentes concentrações (1, 5, 10, 15, 20 e 30 ppm) e gerada uma equação da reta, para posterior determinação da concentração de corante no efluente sintético. A equação da reta gerada pela curva de calibração (Figura 13) é mostrada pela Equação 10, tendo coeficiente de determinação de 0,9996.

$$C_e = \text{Abs}/0,1358 \quad (10)$$

na qual Abs é a absorbância do corante medida no espectrofotômetro.

Figura 13 – Curva de calibração



Fonte: Autora (2019)

4.2.1 Efeito da dosagem de adsorvente na adsorção de Azul de Metileno

A influência da dosagem de adsorvente na eficiência de remoção do Azul de Metileno foi testada através de ensaios de adsorção utilizando dosagens de 2, 4, 10 e 20 g.L⁻¹ de cascas da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), a granulometria utilizada foi equivalente a 0,5 mm, em contato com 50 mL de solução de Azul de Metileno (70 ppm) e seguindo a metodologia do item 4.2.

4.2.2 Efeito granulométrico do adsorvente na adsorção de Azul do Metileno

A influência da granulométrica do adsorvente na eficiência de remoção do Azul de Metileno foi testada para cinco faixas diferentes de tamanhos de partículas, correspondentes as peneiras Tyler 16, 32, 70, 115 e 270. Os testes em batelada foram realizados usando dosagem de 10 g/L de cascas da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) em contato com 50 mL de solução de Azul de Metileno (70 ppm) e seguindo a metodologia do item 4.2.

4.2.3 Efeito do pH da solução na adsorção de Azul do Metileno

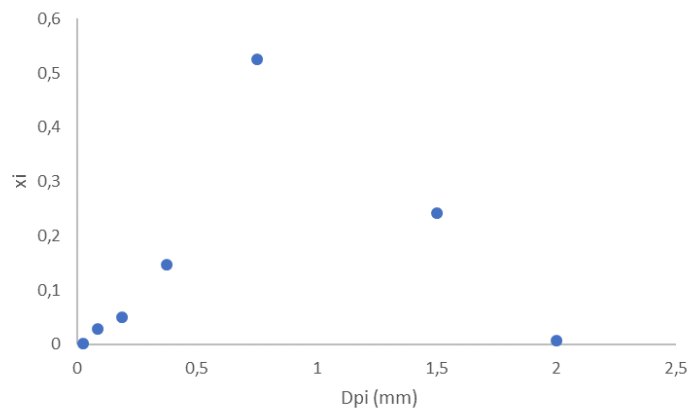
O efeito do pH inicial da solução na eficiência de remoção do Azul de Metileno foi estudado sob as mesmas condições operacionais descritas anteriormente, realizando variação da faixa de pH de 2 a 10. O ajuste do pH foi realizado usando soluções de NaOH 0,1 mol L⁻¹ e

HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, conforme necessário. A granulometria das partículas utilizadas nesse estudo foi de $0,5 \text{ mm}$ e a dosagem foi de 10 g.L^{-1} .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o preparo das amostras da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), foi realizada a caracterização granulométrica do material obtido. Na Figura 14 são apresentados os resultados obtidos a partir do peneiramento.

Figura 14 – Distribuição granulométrica das amostras

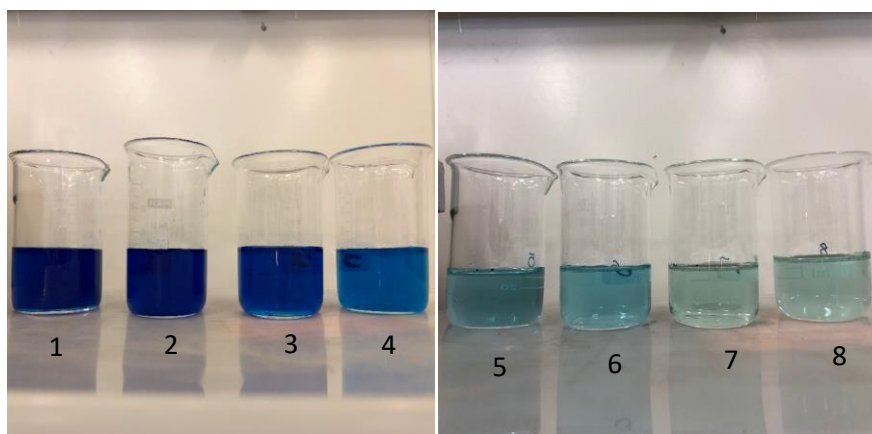


Fonte: Autora (2021)

Observa-se na Figura 14 que a maior quantidade de material retido foi na peneira que corresponde a abertura de 0,5 mm (*Tyler 32*), e que 52 % das partículas possuem diâmetro de partícula próximo a esse valor. O resultado para diâmetro de *Sauter* foi de 0,527 mm.

Em relação ao efeito da dosagem de adsorvente na capacidade de adsorção do Azul de Metileno, os resultados obtidos são apresentados na Figura 15 e Tabela 3. Na Figura 15, os béqueres 1 e 2 equivalem a dosagem de 2 g/L, 3 e 4 a 4 g/L, 5 e 6 a 10 g/L e 7 e 8 a 20 g/L.

Figura 15 – Testes de dosagem de adsorvente.



Fonte: Autora (2021)

Tabela 3 – Efeito da dosagem de adsorvente.

Dosagem (g/L)	q_e (mg g⁻¹)	%R
2	13,106 ± 0,583	38,195 ± 3,009
4	13,109 ± 1,335	76,214 ± 11,971
10	6,877 ± 0,018	98,503 ± 0,010
20	3,447 ± 0,017	99,210 ± 0,020

Fonte: Autora (2021)

Através da Figura 15 pode-se constatar visualmente que a maior dosagem foi a que mais adsorveu o corante Azul de Metileno. Esse resultado corrobora com o apresentado na Tabela 3, em que as maiores eficiências de remoção foram alcançadas para as maiores dosagens de adsorvente (10 e 20 g/L). Isso pode ser justificado por um número maior de locais de adsorção disponíveis para interação adsorvente-adsorvato para altas dosagens de adsorvente, resultando em uma maior percentagem de remoção de corante.

Kehl (2015), estudou o efeito da dosagem na faixa de 1 g/L e 50 g/L, onde constatou que em 10 g/L o processo atingiu o equilíbrio, pois em dosagem acima de 20 g/L a quantidade de adsorvato removida permaneceu praticamente constante. Dessa forma, a dosagem indicada para o adsorvente alternativo utilizado neste trabalho foi de 10 g/L.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados referentes ao efeito da granulometria do adsorvente na capacidade de adsorção do Azul de Metileno.

Tabela 4 – Efeito da granulometria do adsorvente na adsorção.

Dpi (mm)	q_e (mg g⁻¹)	%R
1	6,5713 ± 0,1156	79,0343 ± 2,1210
0,5	8,2309 ± 0,0166	98,6283 ± 0,0920
0,25	8,3835 ± 0,0003	99,8285 ± 0,0613
0,125	8,2740 ± 0,0589	99,0914 ± 0,1059
0,05	8,3773 ± 0,0168	99,6451 ± 0,1837

Fonte: Autora (2021)

Com relação ao efeito granulométrico da partícula de adsorvente, observa-se um aumento na eficiência de remoção do Azul de Metileno com a diminuição do tamanho da partícula de 1 mm (79,53%) para 0,05 mm (99,65%).

Com base neste estudo, resolveu-se padronizar a granulometria do adsorvente utilizado, sendo esta correspondente a peneira *Tyler 32* (0,5 mm), visto que foi a peneira que obteve maior quantidade de massa retida (Figura 14) e que apresentou bons resultados de adsorção.

Almeida (2016) estudou o efeito da faixa granulométrica do adsorvente para remoção de corantes, sendo que os valores se mantiveram acima de 80% em todas as granulometrias analisadas. Com isso, foi possível estimar um comportamento padrão do adsorvente utilizado, indicando que quanto menor a sua granulometria maior a sua capacidade de adsorção, pois maior é a área superficial do adsorvente

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos para o estudo do efeito do pH da solução de Azul de Metileno na adsorção.

Tabela 5 – Efeito do pH inicial da solução

pH	q_e (mg g⁻¹)	%R
2	7,1877 ± 0,1810	86,0922 ± 2,2050
4	8,2589 ± 0,0167	98,8722 ± 0,4729
6	8,2852 ± 0,0014	98,9989 ± 0,0027
8	8,2582 ± 0,0011	98,9830 ± 0,1819
10	8,2416 ± 0,0153	98,6941 ± 0,1091

Fonte: Autora (2021)

Com base nos resultados da Tabela 5, observa-se que o efeito do pH inicial da solução apresentou maior influência quando comparado o pH 2 com os demais. Em pH baixo (pH 2,0), os sítios de ligação no adsorvente alternativo estão protonados (H⁺) resultando em baixa ligação com corante o Azul de Metileno, visto que este tem caráter catiônico.

Para os pHs entre 4 e 10 os resultados foram muito próximos, apresentando alta eficiência de remoção, aproximadamente de 99%. A partir desta análise escolheu-se o pH 6 como indicado para a solução de corante, visto que é o pH inicial real da solução de Azul de Metileno utilizada nos experimentos.

De acordo com Tessaro (2015) a quantidade de corante removida teve pouca variação para valores de pH entre 5 e 8. As maiores remoções de corante foram obtidas em pH 9 e 10, porém, a quantidade de corante removida nesses pHs variou apenas 3,5 mg.g⁻¹ em relação ao pH da solução sem ajuste (pH = 5).

Leal *et al.* (2012) estudaram a adsorção do corante Azul de Metileno variando os pHs em 4, 7 e 10, utilizando como adsorvente resíduos do coco babaçu. Foram obtidas capacidades

de adsorção próximas entre os valores de pH igual a 7 e 10, porém para o pH igual a 4 foi obtido capacidades bem inferiores. Afirmando a ideia de que pHs ácidos não são favoráveis ao estudo da adsorção de corantes catiônicos devido à competição dos íons H^+ em solução.

6 CONCLUSÃO

A casca da castanha do Brasil processada apresentou características relevantes para seu uso como material adsorvente. Com a caracterização da granulometria das cascas moídas, conclui-se que a maior quantidade de massa ficou retida na peneira de 0,5 mm de abertura, Tyler 32, onde, 52% das partículas têm diâmetro próximo a esse valor. Com esta análise e cálculo, obteve-se como diâmetro médio de *Sauter* 0,527 mm.

A partir da avaliação da influência da dosagem do adsorvente no estudo da adsorção em batelada do corante pode-se concluir que quanto maior a dosagem maior é a capacidade de adsorção, porém, a diferença da quantidade de remoção entre 10 g/L e 20 g/L foi baixa, optando-se por utilizar a concentração de 10 g/L nas análises seguintes, pois alia o máximo de adsorção e mínimo de material adsorvente.

Com base no estudo do efeito granulométrico na capacidade de adsorção, pode-se concluir que quanto menor a granulometria da partícula, maior foi a capacidade de remoção do Azul de Metileno. Com isso, optou-se por padronizar a granulometria do adsorvente utilizado em 0,5 mm, visto que sua capacidade de remoção foi de 98,63%, além disso, foi a peneira que possuiu a maior quantidade de massa retida.

Diante do estudo do efeito do pH na capacidade de remoção do corante, pode-se perceber que quanto mais ácida a solução de Azul de Metileno, menor a capacidade de remoção. Para um pH igual a 2 a capacidade de remoção foi de 86,09 %, enquanto que os demais tiveram uma capacidade de remoção muito próxima. Com base neste estudo, escolheu-se o pH 6, que removeu 98,99%, como o pH indicado para adsorção. Ainda, esse é o pH real inicial da solução, diminuindo assim custos com reagentes para ajustes de pH.

Por fim, pode-se concluir que a casca da castanha do Brasil processada tem potencial para ser utilizada como adsorvente alternativo na remoção do corante catiônico Azul de Metileno.

7 SUGESTÕES FUTURAS

Para trabalhos futuros sugere-se:

- produzir carvão ativado a partir da casca da castanha do Brasil processada;
- realizar o estudo da influência dos parâmetros experimentais (dosagem, granulometria, pH da solução e tempo) na adsorção em batelada, utilizando como material adsorvente o carvão ativado;
- caracterizar as amostras da casca da castanha do Brasil processada por meio da determinação da massa específica real e aparente, análise termogravimétrica, morfologia e grupos funcionais;
- realizar o estudo da isoterma de equilíbrio e cinética de adsorção.

REFERÊNCIAS

- ABNC (São Paulo). **Castanha do Pará**. 2021. Associação de nozes, castanhas e frutas secas. Disponível em: <https://www.abncnuts.org.br/castanhas/castanha-do-para/>. Acesso em: 09 set. 2021.
- ADAMSON, A. W.; GAST, A. P. **Physical Chemistry of Surfaces**. New York: Wiley, 1997
- ALMEIDA, José Jonas. **Do extrativismo à domesticação: as possibilidades da castanha-do-pará**. 2015. 304 f. Tese (Doutorado) - Curso de História, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8137/tde-05082015-141612/publico/2015_JoseJonasAlmeida_VCorr.pdf. Acesso em: 27 set. 2019.
- ALMEIDA, Thaís Souza. **Remoção de Azul de Metileno utilizando um composto magnético**. 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências dos Materiais, Departamento de Ciência e Tecnologia, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/Dissertacao_Thais_Sousa_Almeida.pdf. Acesso em: 18 set. 2021.
- ALVES, A. C. M. **Avaliação do tratamento de efluentes líquidos contendo cobre e chumbo por adsorção em carvão ativado**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Aloguas, Brasil, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/415/1/Avaliação%20do%20tratamento%20de%20efluentes%20líquidos%20contendo%20cobre%20e%20chumbo%20por%20adsorção%20em%20carvão%20ativado.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.
- ARAVIND, P. *et al.* **Eco-friendly and facile integrated biologicalcum-photo assisted electrooxidation process for degradation of textile wastewater**. *Water Research*, v. 93, pp. 230–241, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416301002?via%3Dihub>. Acesso em: 05 nov. 2019
- BAEISSA, E. S. **Novel Pd/CaSn(OH)₆ nanocomposite prepared by modified sonochemical method for photocatalytic degradation of methylene blue dye**. *Journal Alloys and Compounds*, 2014. V. 590, p. 303 – 308. Disponível em: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45054443. Acesso em: 08 nov. 2019.
- BASTIAN, E. Y. O.; ROCCO, J. L. S. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. São Paulo. CETESB: SINDITÊXTIL. 2009. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/guia_textil.pdf. Acesso em: 20 nov. 2019.
- BERTOLINI, T. C. R.; FUNGARO, D. A. **Estudos de equilíbrio e modelagem cinética da adsorção do corante cristal violeta obre zeólitas de cinzas leve e pesada de carvão**. In:

Workshop Internacional “Advances in Clear Production”, n. 3, 2011, São Paulo. Anais... São Paulo, 2011, n. 1-10.

BERTOLINI, Tharcila Colachite Rodrigues. **Estudo comparativo sobre a adsorção de diferentes classes de corantes em zeólitas de cinzas de carvão: modelagem cinética e de equilíbrio**. 2014. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Nuclear - Materiais, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-19032014-111612/pt-br.php> . Acesso em: 30 out. 2019.

BIOLOGIA, Top (org.). **Castanha do Pará é considerada o fruto mais radioativo do mundo**. 2014. Disponível em: <https://topbiologia.com/castanha-para-e-considerada-o-fruto-mais-radioativo-mundo/>. Acesso em: 09 set. 2021

BOUVIE, L. *et al.* **Caracterização físico-química dos frutos de castanheira do Brasil**. *Nativa*, v. 4(2), p. 107-111, 2016. Disponível em: <http://www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/>. Acesso em: 29 set. 2019.

CISNEROS, R.L.; ESPINOZA, A.G.; LITTER, M.I. **Chemosphere**. 48, 393, 2002. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1611660](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1611660). Acesso em: 08 nov. 2019.

COONEY, D. O. **Adsorption Design for Wastewater Treatment**. Florida: CRC Press, 1999.

COSTA JUNIOR, S. S. **Carvão ativado produzido a partir do endocarpo de coco da baía (coccus nucifera) aplicado no tratamento de efluente têxtil**. 2014, 108f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. João Pessoa – PB. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5547>. Acesso em: 17 out. 2019.

COSTA, S. P. S. E. **Microbiota fúngica e espécies produtores de aflatoxinas, ocratoxinas e citrinina em castanha-do-brasil, Bertholletia excelsa Humboldt e Bompland**. (Dissertação de Mestrado em Criptógamas). Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1991

DIAS, J. M. C. S. *et al.* **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/78690/1/DOC-13.pdf>. Acesso em: 29 set. 2019.

DOGAN, M.; ALKAN, M.; DEMIRBAS, Ö. **Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite**. *Chemical Engineering Journal*, v. 124, p. 89-101, nov. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229312964_Adsorption_Kinetics_of_Maxilon_Blue_GRL_onto_Sepiolite_from_Aqueous_Solutions. Acesso em: 30 out. 2019.

DOMINGUINI, L. *et al.* **Utilização de resíduos de materiais cerâmicos na adsorção de corante Azul de Metileno.** *Cerâmica*, v. 60, p. 218–222, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v60n354/a09v60n354.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2019.

DOS ANJOS, D. B.; *et al.* **Potencial da casca da castanha do Brasil como biofertilizante no cultivo de *Lactuca sativa* L.** *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v. 4, n. 1, 17 jul. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/1014>. Acesso em: 30 set. 2019.

EMBRAPA (Org.). **Árvore do conhecimento: castanha do Brasil.** 2019. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/castanha-do-brasil/arvore/CONT000fzfy7i8602wx5ok0cpoo6a08db1xh.html>. Acesso em: 27 set. 2019.

ERDOGAN, S. Y. *et al.* **Optimization of nickel adsorption from aqueous solution by using activated carbon prepared from waste apricot by chemical activation.** *Applied Surface Science*, v. 252, p. 1324-1331, 15 dez. 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433205003971>. Acesso em: 28 out. 2019.

FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. **Insights into the modeling of adsorption isotherm systems.** *Chemical Engineering Journal*, Amsterdam, v. 156, n. 1, p. 2-10, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894709006147>. Acesso em: 28 out. 2019.

GARG, Vinod K. *et al.* **Basic Dye (Methylene Blue) Removal From Simulated Wastewater By Adsorption Usin Indian Rosewood Sawdust: A Timber Industry.** Hisar, 2004. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vffcz55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=986009](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=986009). Acesso em: 19 nov. 2019.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil.** *Estudos avançados*, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf>. Acesso em: 30 set. 2019.

GRUBER, Talita (ed.). **Castanha do Pará – Benefícios e Propriedades da Semente.** 2018. Quero viver bem. Disponível em: <https://www.queroviverbem.com.br/castanha-do-para-beneficios/>. Acesso em: 09 set. 2021.

HAMED, M. M.; AHMED, I. M.; METWALLY, S. S. **Adsorptive removal of methylene blue as organic pollutant by marble dust as eco-friendly sorbent.** *Journal Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 1610. N 01, p 8, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/26399597/Adsorptive_removal_of_methylene_blue_as_organic_pollutant_by_marble_dust_as_eco-friendly_sorbent. Acesso em: 08 nov. 2019.

HO, Y. S. **Review of second-order models for adsorption systems.** *Journal of Hazardous Materials*, v.136, p. 681–689, 2006. Disponível em:

file:///C:/Users/camyl/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/JHazMat136681%20(1).pdf. Acesso em: 30 out. 2019.

HO, Y. S.; MCKAY, G. **Pseudo-second order model for sorption processes**. Process Biochemistry, v. 34, 1999, p. 451-465. Disponível em: <http://dns2.asia.edu.tw/~ysho/YSHO-English/1000%20CE/PDF/Pro%20Bio34,%20451.pdf>. Acesso em: 30 out. 2019.

HONORATO, Andressa C.; MACHADO, Jocasta M.; CELANTE, Gizele; BORGES, Wesley G. P.; DRAGUNSKI, Douglas C.; CAETANO, Josiane. **Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – UAEEA/UFCG, Campina Grande, PB, v.19, 2015.

HUNTER, R. J. **Introduction to modern colloid science**. New York: Oxford University Press, p. 338, 1993.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2013/default.shtm>>. Acesso em 29 set 2019.

KAMMRADT, P. B. **Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba – Paraná, 2004. Disponível em: http://www.prppg.ufpr.br/ppgerha/teses_e_dissertacoes/. Acesso em: 19 nov. 2019.

KEHL, Cibele Cristina Pinto Lauxen. **Remoção de nitrogênio amoniacal por adsorção em carvão ativado**. 2015. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/131318/000981346.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 set. 2021.

KIMURA, I. Y. *et al.* **Efeito do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 1999. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/article/10.1590/S0104-14281999000300010/pdf/polimeros-9-3-51.pdf> . Acesso em: 20 nov. 2019.

KORNEXL, L. W. **Limites e chances econômicas da produção e comercialização de Castanha-do-Brasil para pequenos produtores**. POEMA. Tropic, n. 4, jul./dez. 1999.

LAGERGREN, S. **Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe**. Kungl Svenska Vetenskapsakad. Handl. V. 24, p. 1-39, 1898.

LEAL, Paulo Vitor Brandão; GREGÓRIO, Airton Messias; OTONI, Emiret; SILVA, Paulo Roberto da; KRAUSER, Maíke de Oliveira; HOLZBACH, Juliana Cristina. **Estudo da adsorção do corante azul de metileno em resíduos de babaçu**. Journal Of Biotechnology And Biodiversity. Gurupi, p. 166-171. nov. 2012. Disponível em:

file:///C:/Users/camyl/Downloads/389-Texto%20do%20artigo-1363-2-10-20190927%20(3).pdf. Acesso em: 18 set. 2021.

LOBO, José Maria da Conceição de Oliveira Pio Caetano. **Avaliação do potencial energético de resíduos de biomassa Amazônica.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Proceedings online... Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100026&lng=en&nrm=abn>. Access on: 26 Sep. 2021

LONGHINOTTI, E. *et al.* **Adsorção de Azul de Metileno e croconato amarelo pelo biopolímero quitina.** Química nova, v. 19, n. 3, p. 221-224. 1996. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol19No3_221_v19_n3_01.pdf. Acesso em: 12 nov. 2019.

LORENZI, Harri. **Castanha-do-brasil (Bertholletia excelsa).** 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/terra-da-gente/flora/noticia/2015/02/castanha-do-brasil.html>. Acesso em: 09 set. 2021.

LUZ, A. D. da. **Aplicação de coluna de adsorção em leito fixo para a remoção de compostos BTX multicomponentes presentes em efluentes petroquímicos.** 2012. 193 f. Tese (Doutor em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/100668>. Acesso em: 10 out. 2019.

MALL, I. D. *et al.* **Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash – kinetic study and equilibrium isotherm analyses.** Dyes and Pigments. Vol 69, p. 210-223, 2006. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1287595](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1287595). Acesso em: 30 out. 2019.

MARIN, P. *et al.* **Avaliação do efeito da temperatura, pH e granulometria do adsorvente na adsorção do corante Azul Reativo 5G.** Engevista, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p.59-68, mar. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/engevista.v17i1.542>. Acesso em: 10 out. 2019.

MASEL, R. **Principles of adsorption and reaction on solid Surfaces.** Wiley Series in Chemical Engineering, 1 Ed. 1996.

MEDEIROS, V. R. R. de. **Remoção dos corantes Azul de Metileno e Laranja reativo 64 por carvão produzido a partir de lodo de ET.** 2017. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/4117/6/RemocaoDosCorantes_Monografia.pdf. Acesso em: 08 nov. 2019

MORAES, Fernanda Pereira de. **A sustentabilidade e a inovação tecnológica no processo criativo de moda têxtil.** 2015. 55 f. Monografia (Especialização) - Curso de Moda, Cultura

de Moda e Arte, Instituto de Artes e Design, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015. Disponível em: <http://www.ufjf.br/posmoda/files/2015/02/Monografia-Fernanda-Moraes.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MORAIS, L.C. et al. Reactive dyes removal from wastewaters by adsorption on eucalyptus bark: variables that define the process. *Water Research*, v.33, p.979988, 1999. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593332108618096>. Acesso em: 17 out. 2019.

MORITZ, A. **Estudos biológicos da floração e frutificação da castanha-do-brasil**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1984. p. 16. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/387228>. Acesso em: 27 set. 2019.

MULLER, C. H. *et al.* **A cultura da castanha-do-Brasil**. Belém: Texto Novo, 1995. 63 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162019/1/A-cultura-da-castanha-do-Brasil.pdf>. Acesso em: 27 set. 2019.

NASCIMENTO, R. F. do *et al.* **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 258 p. Disponível em: < http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf >. Acesso em: 20 out. 2019.

NASCIMENTO, V. F. *et al.* **Caracterização de biomassas amazônicas: ouriço de castanha-do-Brasil, ouriço de sapucaia e caroço do fruto do tucumã**: visando sua utilização em processos de termoconversão. 2012. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266670/1/Nascimento_VicenteFranco_M.pdf. Acesso em: 29 set. 2019.

NYBG- The New York Botanical Garden. **The Brazil nuts Industry- Past, present and future**. Disponível em: <http://www.nybg.org/bsci/braznut/>. Acesso em: 27 set. 2019.

PENNACHIO, H. L. **Castanha-do-Brasil – Proposta de preço mínimo safra 2006/2007**. Editora Mapinguari. Brasília: 2006. p. 08-10.

PLAZINSKI, W.; RUDZINSKI, W.; PLAZINSKA, A. **Theoretical models of sorption kinetics including a surface reaction mechanism**: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 152, 2009, p. 2-13. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868609000700?via%3Dihub> . Acesso em: 29 out. 2019.

REPO, E. *et al.* **Heavy metals adsorption by novel EDTA modified chitosan–silica hybrid materials**. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21440904>. Acesso em: 20 out. 2019.

ROYER, B. **Remoção de corantes têxteis utilizando casca de sementes de Araucaria angustifolia**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption processes**. New York: J. Wiley - Interscience, 1984. p 433.

SANTOS O. V. *et al.* **Processing of Brazil-nut flour: characterization, thermal and morphological analysis**, 2010. Cienc Tecnol Aliment. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v30s1/40.pdf>. Acesso em: 29 set. 2019.

SANTOS, O. V. dos. **Desenvolvimento de barras de alto teor protéico a partir da castanha-do-Brasil**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Disponível em: <http://ppgcta.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2008/Orquídea%20dos%20Santos.pdf> . Acesso em: 29 set. 2019.

SEADER, J. D.; HENLEY, E. J. **SEPARATION PROCESS PRINCIPLES**. 2nd. ed. Danvers: John Wiley & Sons, Inc. All reserved., 2006. Disponível em: <https://imtk.ui.ac.id/wp-content/uploads/2014/02/Separation-Process-Principles-Third-Edition.pdf> . Acesso em: 28 out. 2019.

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. **Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell**. Colloid and Interface Science, v. 279, p. 307-313, 15 nov. 2004. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15464794>. Acesso em: 20 out. 2019.

SHAHMOHAMMADI-KALALAGH, Sh. *et al.* **Isotherm and Kinetic Studies on Adsorption of Pb, Zn and Cu by Kaolinite**. Caspian Journal Of Environmental Sciences, Gilan, v. 9, n. 2, p.243-255, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266874259_Isotherm_and_Kinetic_Studies_on_Adsorption_of_Pb_Zn_and_Cu_by_Kaolinite/citation/download . Acesso em: 28 out. 2019.

SOARES, I. D. *et al.* **Propriedades físico-químicas de resíduos agroflorestais amazônicos para uso como substrato**. Nativa, v. 2(3), p. 155-161, 2014. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa>. Acesso em: 30 set. 2019.

SOUSA, F. W. de. **Adsorção de metais tóxicos em efluente aquoso usando pó da casca de coco verde tratado**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil. Saneamento Ambiental)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/2189/1/2007_dis_fwsousa.pdf. Acesso em: 20/10/2019.

SOUSA, W. P.; L. A. FERREIRA. **Os sistemas agrários com castanha-do-brasil (Bertholletia excelsa H.B.K.) na região sul do Estado do Amapá**, 2006. Amazônia: Ciência & Desenvolvimento 2(3): 217-246. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/> . Acesso em: 29 set. 2019.

STYLO URBANO (Brasil). **China abre sua 1ª indústria de tratamento de águas residuais industriais**. 2017. Fashion Jobs. Disponível em: <https://br.fashionnetwork.com/news/China->

abre-sua-1ª-usina-de-tratamento-de-aguas-residuais-industriais,804324.html. Acesso em: 08 nov. 2019.

SUZUKI, M. **Adsorption engineering**. Tokyo: Kodansha, 1990. 295 p.

TESSARO, Maristela. **Estudo da remoção do Azul de Metileno utilizando bagaço de malte como biossorvente**. 2015. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Processos Químicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2015. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25391/1/remocaoazulmetileno.pdf>. Acesso em: 18 set. 2021.

TOLEDO, B. I. *et al.* **Bisphenol a removal from water by activated carbon, Effects of carbon characteristics and solution chemistry**. Environmental Science Technology, v. 39, p. 6246–6250, 9 jul. 2005. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0481169> . Acesso em: 11 out. 2019.

TONINI, H. **Castanheira-do-brasil: uma espécie chave na promoção do desenvolvimento com conservação**. Boa Vista: EMBRAPA Roraima, 2007. 3 p. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/> . Acesso em: 27 set. 2019.

VAGHETTI, J. C. P. **Utilização de Biossorbentes para Remediação de Efluentes Aquosos Contaminados com Íons Metálicos**. 2009. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17482/000709030.pdf?sequence=1>. Acesso em: 28 out. 2019.

VILAR, V. J. P. **Remoção de íões metálicos em solução aquosa por resíduos da indústria de extracção de agar**. 2006. 512 f. Dissertação (Doutor em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto – Portugal, 2006. Disponível em: [file:///C:/Users/camyl/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Texto%20integral%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/camyl/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Texto%20integral%20(1).pdf). Acesso em: 28 out. 2019.

WADT, L. H.; KAINER, K. **Domesticação e melhoramento de castanheira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 22 p. Disponível em: [file:///C:/Users/camyl/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/21826%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/camyl/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/21826%20(1).pdf). Acesso em: 27 set. 2019.

WWF- Brasil. **Castanheira-do-Brasil: Grandiosa e Ameaçada**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/biodiversidade/especie_do_mes/fevereiro_castanheira_do_brasil.cfm . Acesso em: 27 set. 2019

Yang J. **Brazil nuts and associated health benefits: a review**. Food Sci Technol. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223004187_Brazil_nuts_and_associated_health_benefits_A_review. Acesso em: 29 set. 2019.

ZOLLINGER, H. R. **Color Chemistry: Syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments.** Wiley -VCH: Weinheim, New York, 2nd Edition, 1991.