



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RENATO CAINAN ARRUDA DA SILVA

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CELULOSE A PARTIR DO MESOCARPO
DO COCO SECO**

Recife
2023

RENATO CAINAN ARRUDA DA SILVA

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CELULOSE A PARTIR DO MESOCARPO
DO COCO SECO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Química

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Bezerra de Moraes Medeiros

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Renato Cainan Arruda da.

Produção e caracterização da celulose a partir do mesocarpo do coco seco /
Renato Cainan Arruda da Silva. - Recife, 2023.
45 : il., tab.

Orientador(a): Eliane Bezerra de Moraes Medeiros

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química -
Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. caracterização. 2. celulose. 3. coco. 4. lignina. I. Medeiros, Eliane Bezerra
de Moraes. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

RENATO CAINAN ARRUDA DA SILVA

**“PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CELULOSE A PARTIR DO
MESOCARPO DO COCO SECO”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Química

Aprovado em: 08/05/2023

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Bezerra de Medeiros

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ELIANE BEZERRA DE MORAES MEDEIROS
Data: 13/05/2023 09:11:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Eliane Bezerra de Medeiros
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente
NELSON MEDEIROS DE LIMA FILHO
Data: 15/05/2023 11:47:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Nelson Medeiros de Lima Filho
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente
CHESQUE CAVASSANO GALVAO
Data: 15/05/2023 11:04:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Chesque Cavassano Galvão
Universidade Federal de Pernambuco

À minha família e amigos que sempre estiveram presentes nos momentos mais difíceis me dando forças para continuar lutando pelos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, que mesmo não estando mais presente sempre me apoiou e continuará servindo de inspiração para que eu continue lutando.

À minha irmã Renata que tanto amo, meu ponto de apoio nos momentos mais difíceis
À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Laboratório de Processos Catalíticos (LPC) que abriram as portas para que esta pesquisa fosse realizada.

Aos colegas de laboratório Elerson, Michael, Paulo, Chesque e Dayane, que sempre estiveram à disposição e foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

À professora Dra. Eliane, que me confiou à realização desta pesquisa e me orientou com muita atenção e dedicação.

Ao professor Dr. Nelson que me deu dicas valiosas e me mostrou caminhos mais eficientes a serem tomados.

Aos meus familiares Sebastiana, Mirtes, Clodoaldo, Vivyan, Victor, Natália e Cristiana que nunca desistiram de me apoiar.

Aos meus amigos de curso Filipe, Gabriela, Renata, Raphael, Eduarda, Sarah e Quezia, que conseguiram tornar tudo mais agradável.

Aos meus amigos Rafaela, Lethicia, Lívia, Nathalia, Arthur, Wendell, Paulo e Débora por sempre iluminarem meu dia, mesmo à distância.

RESUMO

O Nordeste brasileiro apresenta a maior produção nacional de coco e é um dos maiores consumidores nacionais do fruto. O resíduo do coco após o consumo corresponde de 80-85% do peso total, além de ser responsável pela maior parte do seu volume, o que gera grandes quantidades de resíduos que demoram em média 8 anos para serem decompostos. Sabendo que o coco é uma biomassa lignocelulósica, este trabalho se propôs a obter uma celulose purificada a partir do mesocarpo do coco, possibilitando uma nova destinação para esta biomassa. O processo de purificação realizado foi composto de 5 etapas: preparação da matéria-prima, extração com água quente; 3 etapas de hidrólise alcalina à 50°C utilizando soluções de NaOH de 1% e 2% m/v; e 2 etapas de branqueamento com solução de NaClO 2,5% m/v à 50°C; sendo a variação da concentração da solução básica o parâmetro variável que demonstrou maior eficiência na concentração a 2% (m/m) de NaOH em relação à 1% m/m. Ao final o material obtido foi avaliado a partir do seu espectro, gerado por um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier, em comparação ao de uma amostra padrão de celulose que possibilitou a confirmação da obtenção de celulose com a metodologia proposta, porém com pureza abaixo da desejada.

Palavras-chave: caracterização; celulose; coco; lignina.

ABSTRACT

The Northeast region of Brazil presents the highest national production of coconuts and is one of the largest consumers of the fruit. The coconut residue after consumption corresponds to 80-85% of the total weight, in addition to being responsible for most of its volume which generates large quantities of waste, that take an average of 8 years to decompose. Knowing that coconut is a lignocellulosic biomass, this work aimed to obtain purified cellulose from the coconut mesocarp, enabling a new destination for this biomass. The purification process consisted of four stages: pre-treatment; hot water extraction; three stages of alkaline hydrolysis at 50°C using NaOH solutions; and two stages of bleaching with a 2.5% w/v NaClO solution at 50°C, where the concentration variation of the basic solution was the variable parameter that showed the highest efficiency at 2% w/w NaOH concentration compared to 1% w/w. In the end, the obtained material was evaluated based on its spectrum, generated by a Fourier transform infrared spectrometer, compared to that of a standard cellulose sample, confirming the obtaining of cellulose with the proposed methodology, albeit with a purity lower than desired.

Keywords: cellulose; characterization; coconut; lignin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema estrutura do coco	16
Figura 2	Esquema da parede celular das fibras lignocelulósicas	17
Figura 3	Estrutura da lignina	18
Figura 4	Estrutura molecular da celulose	19
Figura 5	Açúcares precursores da hemicelulose	21
Figura 6	Esquema de funcionamento de um espectrômetro	24
Figura 7	Sinal de FTIR antes e após processamento no equipamento	25
Figura 8	Bandas de absorção da radiação IV pelas ligações covalentes	25
Figura 9	Fluxograma da metodologia utilizada	26
Figura 10	Características visuais das fibras de coco durante o processo de extração alcalina com solução 2%. sendo: A, matéria inicial; B após extração com água quente; C, após primeira extração alcalina; D, após segunda extração alcalina; e E, após a terceira extração alcalina	31
Figura 11	Características visuais dos filtrados alcalinos durante a extração com álcali a 2%. Sendo: F, da primeira extração alcalina; G, da segunda extração alcalina; e H, da última extração alcalina.....	32
Figura 12	Lignina precipitada do filtrado gerado durante a primeira etapa alcalina com solução 2%	32
Figura 13	Fibras de celulose durante o processo de branqueamento após etapa hidrolítica a 1%. Sendo: A, após a primeira etapa de branqueamento; B, após a segunda etapa de branqueamento; e C, celulose final seca.	34
Figura 14	Comparação entre espectros de FTIR da celulose padrão e a obtida pelo processo com extração alcalina a 2%. Com A, B, C, D e E os picos padrão do espectro da celulose.....	34

Figura 15 Comparação entre espectros de FTIR da celulose padrão e a obtida pelo processo com extração alcalina a 2%. Com A, B, C, D e E os picos padrão do espectro da celulose.....

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição química da fibra do coco seco	18
Tabela 2	Massas iniciais de fibras utilizadas nas extrações	30
Tabela 3	Massa de lignina estimada para todo o filtrado com base na massa precipitada na alíquota de 50 mL	33
Tabela 4	Variação percentual de massas entre as etapas	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celcius
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
G	Gramma
HCl	Ácido clorídrico
IV	Infravermelho
L	Litros
m_s	Massa de fibras de coco seca
m_u	Massa de fibras de coco úmida
m/v	Massa de soluto por volume de solução
NaOH	Hidróxido de sódio
NaClO	Hipoclorito de sódio
v/v	Volume de soluto por volume de solução

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	ASPECTOS GERAIS	15
1.2	OBJETIVOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	O COQUEIRO	16
2.1.1	O coco	16
2.1.2	Estrutura e composição química do mesocarpo do coco	17
2.1.2.1	A lignina.....	17
2.1.2.2	A celulose	18
2.1.2.3	A hemicelulose.....	19
2.3	ISOLAMENTO DA FIBRA DE CELULOSE	21
2.3.1	Preparação da matéria-prima.....	21
2.3.2	Processo hidrolítico	22
2.3.3	Processo de branqueamento.....	22
2.4	MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO DA CELULOSE.....	23
2.4.1	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	23
3	METODOLOGIA	26
3.1	PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	27
3.2	ISOLAMENTO DA FIBRA DE CELULOSE	27
3.2.1	Extração com água quente	27
3.2.2	Processo hidrolítico	28
3.2.2.1	Precipitação da lignina	28

3.2.3	Processo de branqueamento.....	28
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA CELULOSE	28
3.3.1	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	28
		
4	RESULTADOS E DISCUÇÃO.....	30
4.1	PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	30
4.2	ISOLAMENTO DA CELULOSE.....	30
4.2.1	Extração com água quente	30
4.2.2	Processo hidrolítico	30
4.2.2.1	Precipitação da lignina	32
4.2.3	Processo de branqueamento.....	33
4.2.4	Análise gravimétrica do processo	34
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA CELULOSE	36
4.3.1	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier.....	36
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38
	APENDICE A	42
	APENDICE B	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

O Brasil, que em 2019 encontrava-se como o 47º maior exportador de produtos à base de coco e coco in natura, apresenta boa produção do fruto em todas as regiões, tendo historicamente maior produção na região nordeste que concentra cerca 80,9% de área produzida e 73,5% de toda a produção nacional; de modo que muitas localidades têm o cultivo do coqueiro como principal atividade econômica. Internamente o país vem apresentando uma crescente demanda dos produtos que tem como base o fruto, óleo, leite e polpa, tendo em 2021 um consumo total de 1,78 milhões de toneladas apenas na região nordeste do país (BRAINER, 2021).

A casca do coco, que normalmente refere-se ao coco sem a água, representa de 80 a 85% do peso total do fruto. Para o coco maduro (coco seco) esse resíduo tem um aproveitamento regular pela indústria sendo utilizado como fonte de combustível, material de estofamento, e beneficiamento de suas fibras para fins diversos, uma realidade diferente dos resíduos do coco verde (ROSA et al., 2002). Dado o grande volume e dificuldade de decompor-se por conta de sua composição rica em lignina, hemicelulose e celulose; esta biomassa tem um processo de degradação que pode durar cerca de 8 anos, podendo ter um acréscimo de mais 2 anos para as fibras do coco verde. Logo, esse resíduo promove um impacto considerável dentre os outros resíduos agroindustriais de fácil degradação (CARRIJO; LIZ; MAKISHIMA, 2002).

Sendo a fibra do coco uma biomassa lignocelulósica, ela possui em sua composição quantidades consideráveis de celulose, lignina e hemicelulose; polissacarídeos que isoladamente podem ser utilizados como matéria-prima para diversas aplicações industriais, desde obtenção de biocombustíveis a aplicação em nanomateriais (VAZ JUNIOR et al., 2017).

Dentre os três componentes majoritários, a lignina e celulose sobressaem-se em termos de aproveitamento industriais e tecnológicos. Atualmente a lignina é vista como o “petróleo vegetal” dado seu poder energético e complexidade de sua cadeia, de modo que vários estudos têm se debruçado sobre essa abundante macromolécula que demonstra um enorme potencial tecnológico na produção de subprodutos e beneficiamento de material vegetal (DEUS et al., 2022). Já a celulose sempre teve relevância econômica e cultural desde as antigas civilizações, principalmente sob a forma de papel, que no Brasil apresenta-se como um setor de extrema relevância econômica ostentando em 2022 produção recorde de 25 e 11 milhões de toneladas de celulose e papel respectivamente, que significou um crescimento favorável de 10,5 bilhões

de dólares na balança comercial do setor, uma variação positiva de 32% em relação a 2021 (SINPAPEL, 2023). Na área de desenvolvimento tecnológico tanto a celulose cristalina quanto a amorfa exibem resultados satisfatórios na produção de materiais poliméricos com alta resistência e condutividade, se destacando como um potente material para o futuro de setores de automação e construção civil (PEREIRA; ANJOS; MAGNAGO, 2019).

1.2 OBJETIVOS

O estudo a ser apresentado se propõe a possibilitar uma nova destinação para o resíduo da casca do coco; tendo como objetivo a produção de celulose pura (livre de lignina, hemicelulose e extrativos) através da aplicação de sucessivos tratamentos de purificação. Sendo os objetivos específicos:

- Desenvolver metodologia de purificação de celulose a partir de sucessivas extrações de lignina, hemicelulose e extrativos;
- Avaliar a eficiência do processo de purificação a partir da variação da concentração da solução de hidróxido de sódio;
- Caracterizar a celulose purificada através da análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COQUEIRO (*Cocos nucifera* L.), UMA VISÃO GERAL

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma espécie pertencente à família Palmae, única do gênero cocos, e tem como origem o leste asiático. Estruturalmente a planta apresenta: um sistema fasciculado de raízes; caule do tipo estipe que varia o comprimento para cada variedade; folha do tipo penada e inflorescências que produzem os frutos, sendo estes os cocos (FONTES; FERREIRA, 2006). Existem duas variedades principais da espécie: o coqueiro-anão, utilizado na produção de água de coco e em pesquisas de melhoramento genético; e o coqueiro gigante, mais utilizado na exploração do óleo, polpa e fibras secas. Além das variedades principais é possível encontrar híbridos que possuem maiores vantagens produtivas e econômicas comparado as variedades principais (PASSOS; ARAGÃO; RAMOS, 2007).

2.1.1. O coco

O coco, fruto do coqueiro (Figura 1) é uma drupa fibrosa esférica alongada e pode apresentar diversos tamanhos, massa e coloração; sendo essas características dependente da variedade da planta (CHAN & ELEVITCH, 2006).

Figura 1 - Esquema estrutural do coco



Fonte: Embrapa (2013)

Como apresentado, o fruto do coqueiro é composto pelo: epicarpo, que trata-se de uma película externa fina e lisa que pode possuir diferentes colorações; mesocarpo, camada espessa e fibrosa do fruto; endocarpo, que apresenta-se como uma fina camada amarronzada com

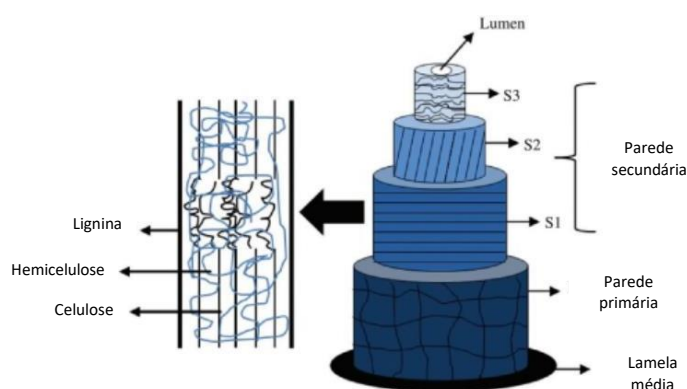
grande resistência mecânica que envolve a copra, polpa branca; e a água do coco, albúmen líquido (BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013).

2.1.2 Estrutura e composição química do mesocarpo do coco

Como já citado, no mesocarpo do coco está situado o maior volume das fibras, que em geral correspondem a cerca de 35% de seu peso seco. As fibras aqui encontradas são longas contendo uma porção agregada de fibras curtas, denominada pó de coco (ROSA et al., 2002). As principais características apresentadas pela fibra são: a grande resistência mecânica, alta rigidez e baixa condutividade de calor (SENHORAS, 2003).

As características mecânicas das fibras dão-se pelo arranjo celular e composição química graças a sua origem lignocelulósica. Este tipo de material (Figura 2) são compostos majoritariamente por celulose, hemicelulose, lignina e outros compostos chamados extrativos, como: minerais, compostos fenólicos, terpenos, ceras e taninos (FENGEL & WEGENER, 1984). A fração de cada uma destas 3 macromoléculas majoritárias no material possui dependência de sua origem, espécie vegetal, idade e meio de desenvolvimento (KOTARSKA; SWIERCZNSKA; DZIEMIANOWICZ, 2015).

Figura 2 - Esquema da parede celular das fibras lignocelulósicas



Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2015)

Como exibido na Figura 2, as fibras lignocelulósicas são formadas por uma região central, o lúmen, por onde há o transporte de nutriente entre as células, e pelas diversas camadas de paredes celular compostas por celulose, lignina e hemicelulose, sendo essas: a parede primária, que trata-se de um arranjo desordenado de celulose em uma matriz composta por

pectina, lignina e hemicelulose; e parede secundária que subdivide em em 3 regiões: S1, S2 e S3, compostas por microfibras de celulose cristalinas em arranjo helicoidal que diferenciam-se pelo ângulo de orientação do arranjo (PEREIRA et al., 2015).

Segundo Araújo (2023) o mesocarpo do coco apresenta a composição descrita na Tabela 1, possuindo uma maior fração de lignina que outras fibras vegetais.

Tabela 1 – composição química da fibra da casca do coco

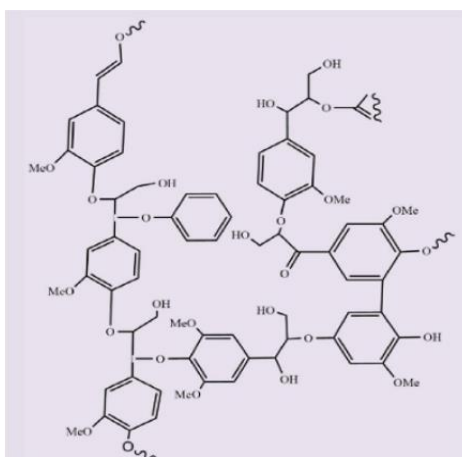
Componente	Composição (%)
Lignina	40,00 $\pm$ 0,10
Celulose	35,77 $\pm$ 0,48
Hemicelulose	11,61 $\pm$ 0,47
Cinzas	6,17 $\pm$ 0,11
Extrativos	6,45 $\pm$ 0,82

Fonte: Adaptado de Araújo (2023)

2.1.2.1 A lignina

A lignina (Figura 3) é um heteropolímero amorfo de cadeia complexa e ramificada formada por estruturas aromáticas e alifáticas responsável por cerca de 20-35% da massa seca das fibras vegetais (AZADI et al., 2013). Além de possuir zonas totalmente amorfas as cadeias de lignina podem organizar-se de modo a apresentar estruturas globulares, sendo sua composição e forma de organização intrinsecamente relacionadas à biomassa de origem (PEREIRA; ANJOS; MAGNAGO, 2019).

Figura 3 - Estrutura da lignina



Fonte: Azadi et al. (2013)

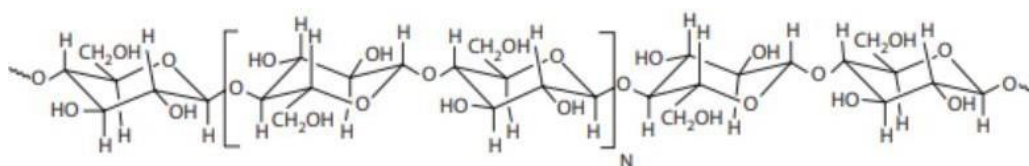
Conjuntamente com a celulose e hemicelulose, a lignina é uma das macromoléculas que compõem os tecidos vegetais e sua incorporação à biomassa vegetal ao longo da evolução pode ter contribuído com que as plantas conseguissem ganhar a superfície terrestre por atribuir resistência mecânica às células (FENGEL; WEGENER, 1984). Essa resistência é dada pela presença do complexo lignina-carboidrato formada pela ligação do tipo α – éter que ocorre entre o C6 β -manose presente na hemicelulose e a posição α da lignina. Além da rigidez, por ser insolúvel em água, a lignina também é responsável pela proteção dos tecidos contra a ação do intemperismo e degradação microbiológica (NISHIMURA et al., 2018 apud MARTINS, 2020).

Atualmente o potencial da lignina tem sido crescentemente explorado em diversos setores indústrias, como: Utilização em biopolímeros como agente agregador de resistência (RODRIGUES, 2020); Produção de nanomateriais com variados fins, destacando-se as aplicações ambientais como descontaminante de corpos hídricos (YAHAIIRA; LUCERO, 2022).

2.1.2.2 A celulose

A celulose (Figura 4) é o composto orgânico mais abundante no planeta terra e pode corresponder de 30 a 50% da massa seca de um material lignocelulósico (LIMAYEM; RICKE, 2012). Este polissacarídeo pode ser descrito como uma molécula linear formado pela união de β -D-glicoses unidas através de ligações glicosídicas $\beta(1 \rightarrow 4)$ que ocorre pela eliminação de uma molécula de água entre os grupos hidroxilas gerando o resíduo anidroglicose que posteriormente formam a celobiose, unidade estrutural da celulose (ROWELL, 2013).

Figura 4: Estrutura molecular da celulose



Fonte: Rowell (2013)

A quantidade de resíduos de glicose presentes na cadeia polissacarídica define o grau de polimerização da celulose (GP) que comumente situa-se entre 1.000-15.000 e dita o peso molecular, tamanho da cadeia e viscosidade (NELSON; COX, 2014). Além do grau de polimerização, outra importante propriedade é a sua cristalinidade, visto que a celulose pode

estar configurada em regiões de alta organização estrutural decorrente das interações intra e intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio entre as cadeias lineares, que originam as microfibrilas que ao se reunirem resultam nas fibrilas que formam regiões cristalinas (DELMER; AMOR, 1995).

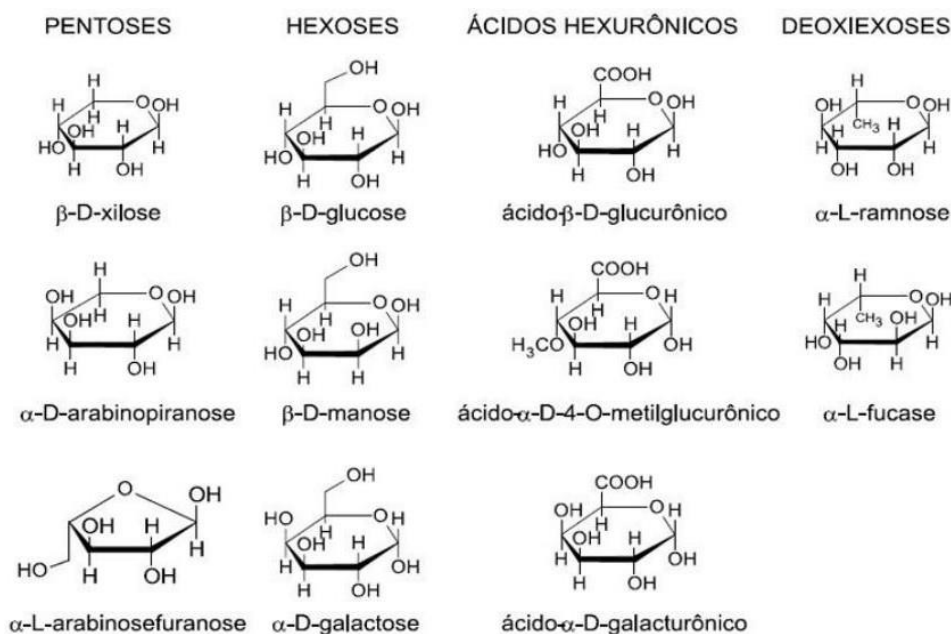
Estas regiões cristalinas presentes na estrutura do polímero garantem importantes propriedades às fibras celulósicas como: alta resistência mecânica e rigidez elevada. Além das regiões cristalinas, a celulose também apresenta zonas amorfas, ou seja, zonas onde não há organização das cadeias, que quando comparadas com as cristalinas, apresentam baixa rigidez e resistência, mas alta flexibilidade (VÁSQUEZ et al., 2007).

2.1.2.3 A hemicelulose

A hemicelulose ou polioses são o segundo polissacarídeo mais abundante na natureza depois da celulose (PENG et al., 2009) e compreende 25-30% da massa da matéria lignocelulósica (JOSHI et al., 2011). Pode ser descrita como um grupo polissacarídico que conjuntamente com a lignina e celulose formam os tecidos vegetais. Diferente da celulose que possui sua cadeia totalmente formada por unidades estruturais provenientes da glicose, as hemiceluloses possuem suas unidades estruturais provenientes de diversos açúcares com a composição dependendo de sua origem, sendo os principais carboidratos precursores de suas cadeias: as pentoses, hexoses, ácidos hexurônicos e deoxiexoses, que tem suas estruturas apresentadas na Figura 5 (FENGEL; WEGENER, 1989).

Outra característica importante das hemiceluloses é que sua estrutura não apresenta cristalinidade, logo, totalmente amorfa. A não presença de regiões cristalinas se dá por conta das curtas cadeias. Desse modo, a hemicelulose pode facilmente ser hidrolisada sob a ação de um ácido, e solubilizar-se na presença de um álcali (FENGEL; WEGENER, 1989) e por esta facilidade de extração e abundância tem sido vista como uma potente fonte de carboidratos fermentáveis para a produção de biocombustíveis (MARTINS, 2020).

Figura 5: Açúcares precursores da hemicelulose



Fonte: Rodrigues e Camargo (2008)

2.2 ISOLAMENTO DA FIBRA DE CELULOSE

2.2.1 Preparação da matéria-prima

O pré-tratamento das fibras lignocelulósicas consistem no processo de lavagem, secagem e moagem. Esses processos garantem a retirada de impurezas da superfície fibra; diminuição da quantidade de água presente e aumento da superfície de contato e porosidade, facilitando as posteriores etapas hidrolíticas que atuarão nas cadeias de lignina e hemicelulose (PEREIRA; ANJOS; MAGNAGO, 2019).

2.2.2 Processo hidrolítico

A hidrólise de materiais lignocelulósicos tem como o objetivo fragmentar as cadeias de lignina e hemicelulose que circundam a celulose na estrutura da fibra vegetal e consequentemente originando a polpa celulósica. Neste processo a temperatura, pH e o tempo reacional são fatores que influenciam a efetividade de deslignificação e solubilização da hemicelulose. Os processos hidrolíticos podem ser químicos: alcalinos ou ácidos, onde o alcalino é tomado como o mais seguro para a preservação da estrutura fibrosa da celulose já

que há menor degradação de carboidratos quando comparado aos ácidos; e bioquímicos: enzimáticos, que por serem extremamente seletivos garantem maior segurança à manutenção da fibra celulósica (PEREIRA; ANJOS; MAGNAGO, 2019).

Para a hidrólise em meio básico, o mecanismo dá-se através da saponificação das ligações éster existentes entre as moléculas de xilana (composto de hemicelulose) e os outros componentes da estrutura fibrosa gerando aumento da porosidade do material tratado, diminuição de grau de polimerização e diminuição da cristalinidade (SUN; CHENG, 2002).

Neste mecanismo a lignina extraída, decorrente da ionização dos grupos fenólicos da estrutura, permanecem solubilizadas no meio reacional por manter-se eletricamente carregadas em pH alcalino e precipitam com a diminuição do pH do meio dado a protonação das moléculas, de modo que este é um possível método de isolamento da substância. Logo, sendo a solubilização da lignina e outros carboidratos favorecidas pela alcalinidade, soluções com maiores concentrações geram uma maior exposição da fibra celulósica (ALMEIDA et al., 2021).

2.2.3 Processo de branqueamento

Após a polpação (processo de hidrólise) as fibras de celulose ainda possuem quantidades residuais de lignina, hemicelulose e extrativos, gerando uma coloração escura. Sendo assim, o processo de branqueamento objetiva a remoção restante destes componentes, podendo ser compreendido como a continuação da etapa anterior. Os principais agentes branqueadores utilizados pela indústria de papel e celulose são o ozônio, peróxidos, cloro e derivados. Sendo as primeiras duas opções de alto custo, porém de menor impacto ambiental quando comparado aos agentes clorados (TEIXEIRA et al., 2017).

Entre os compostos clorados, os hipocloritos de cálcio e sódio foram os primeiros agentes branqueadores utilizados industrialmente. O hipoclorito funciona como agente oxidante ocasionando a descoloração da biomassa por solubilizar o residual de lignina, extrativos e impurezas que possam existir nas fibras. A solubilização dá-se pela característica básica do meio, provocando a exposição constante das regiões residuais de lignina. Então, se o processo estiver controlado em termos de presença de hipoclorito, tempo de reação e temperatura é possível purificar toda a fibra (SENAI CETCEP, 2001).

Mesmo apresentando capacidades branqueadoras o hipoclorito não é ideal para a preservação da estrutura celulósica por ser um oxidante não específico. Em um primeiro instante age sobre os extrativos, lignina e hemicelulose, mas com o decréscimo do teor destes,

a fibra celulósica, agora mais exposta, fica suscetível ao ataque do hipoclorito, ocasionando a diminuição de sua cristalinidade e viscosidade, tornando-a mais amorfa. O impacto sobre a estrutura da celulose depende da temperatura, favorecida por temperaturas mais altas, e concentração do agente, também favorecido por maiores concentrações (NAVARRO, et al. 2004)

2.3 MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO DA CELULOSE

Dentre muitas formas tradicionais e instrumentais de se caracterizar, analisar e quantificar os componentes das madeiras e fibras, a Espectrometria de infra-Vermelho por transformada de Fourier (FTIR) possui larga utilização por resultar em melhores espectros para compostos orgânicos das fibras vegetais (MAZZOCATO, et al., 2018).

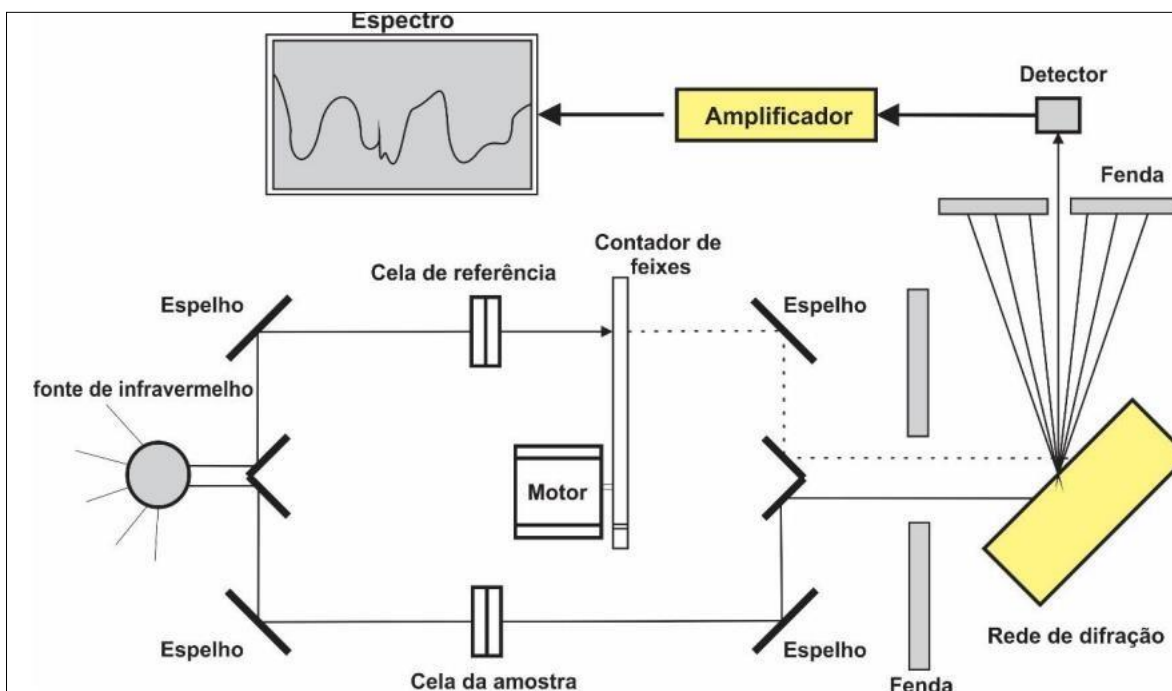
2.3.1 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os métodos espectroscópicos baseiam-se na interação entre um feixe de radiação e as moléculas incididas. Ao serem submetidas à radiação a matéria pode passar pelo processo de absorção, reação fotoquímica, fluorescência, espalhamento e/ou reflexão. Sendo a energia do feixe utilizado o fator que especifica o método, podendo estar compreendida nas regiões da luz visível, ultravioleta ou Infravermelho.

Durante o processo de absorção, a radiação ao incidir as moléculas gera um estado de excitação, dada a transição eletrônica nos orbitais moleculares, dando origem a movimentos vibracionais nas ligações covalentes. Como cada grupo funcional vibra em uma determinada banda de comprimentos de onda é possível realizar a caracterização da estrutura dos compostos orgânicos (AMAYA, 1999). É importante frisar que por tratar-se de uma técnica dependente da vibração de ligações, compostos de cadeias semelhantes podem possuir espectros similares, por isso, o método não é recomendado como técnica isolada de identificação de compostos, sendo necessário para este fim sua utilização conjunta a outros métodos.

Para a obtenção dos espectros o equipamento que utiliza a radiação na região do Infravermelho é o Espectrômetro de Infravermelho, que tem seu esquema geral de funcionamento apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Esquema de funcionamento de um espectrômetro.



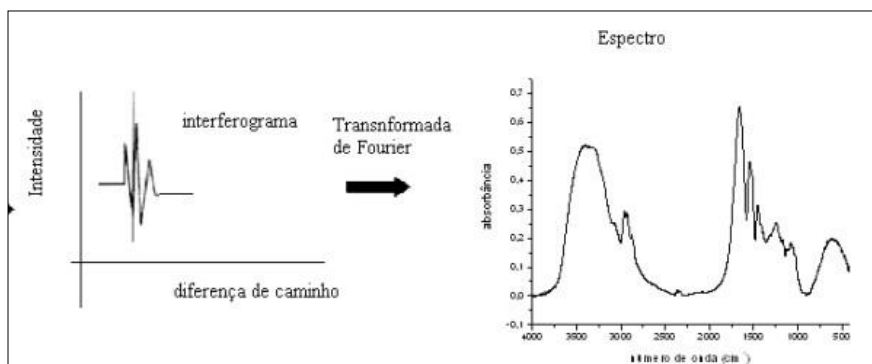
Fonte: PEZZIN (2019)

O instrumento consiste numa fonte de radiação IV, normalmente um resistor aquecido, que ao gerar os feixes de energia os mesmos são conduzidos por um sistema de espelhos refletores para que incidam sobre a amostra e a referência alocadas nas celas do equipamento. Durante a incidência da radiação parte é absorvida, refletida, espalhada e transmitida. O feixe transmitido segue para a rede de difração (monocromador) que permite selecionar qual o comprimento de onda (dentro da região IV) seguirá para o detector que gerará um sinal elétrico, amplificado e processado pelo computador (HAACK, 2010).

Alguns espectrômetros de IV não possuem a rede de difração, caso dos que utilizam o método da transformada de Fourier (FTIR), sendo não-dispersivos. Desta forma, os equipamentos não-dispersivos são munidos de um interferômetro de Michelson, onde o feixe gerado pela fonte de radiação antes de atravessar a amostra passa por um conjunto de espelhos posicionados de forma que ocorra uma série de dispersões, atrasos e recombinações que ocasionam em interferências construtivas e destrutivas da onda eletromagnética. Após a passagem pela amostra o feixe transmitido segue para o detector que quantifica a energia absorvida por cada comprimento de onda e gera um sinal de interfograma. O interfograma é processado pelo computador do equipamento através do método da transformada de Fourier (Equação 1) que possibilita separar os diversos sinais recebidos e gera um espectro semelhante

ao dos equipamentos com redes de dispersão (FORATO et al., 2010). Estando um exemplo de interferograma e espectro pós-processamento apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Sinal de FTIR antes e após processamento no equipamento



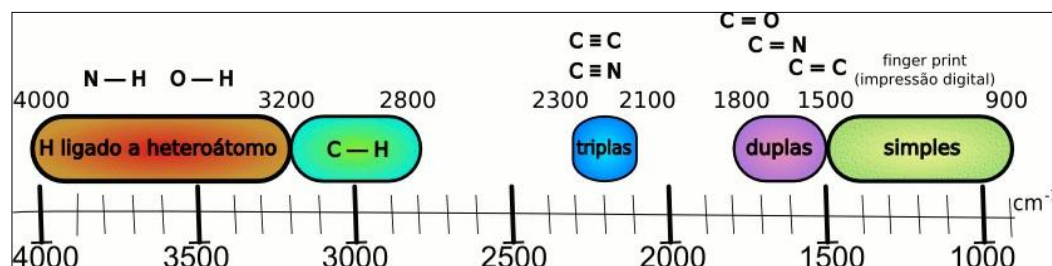
Fonte: Forato et al. (2010)

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

Onde: $F(t)$: Transformada de Fourier; $f(t)$: função; ω : frequência angular; i : representação do domínio dos números complexos; e t : tempo.

A avaliação do espectro baseia-se na identificação de picos característicos do movimento dos grupos funcionais, estes movimentos podem ser do tipo: estiramento simétrico, estiramento assimétrico, torção, balanço, rotação e tesoura. A região gerada por cada tipo de movimento pode ser vista no esquema apresentado na Figura 8.

Figura 8 – bandas de absorção da radiação IV pelas ligações covalentes



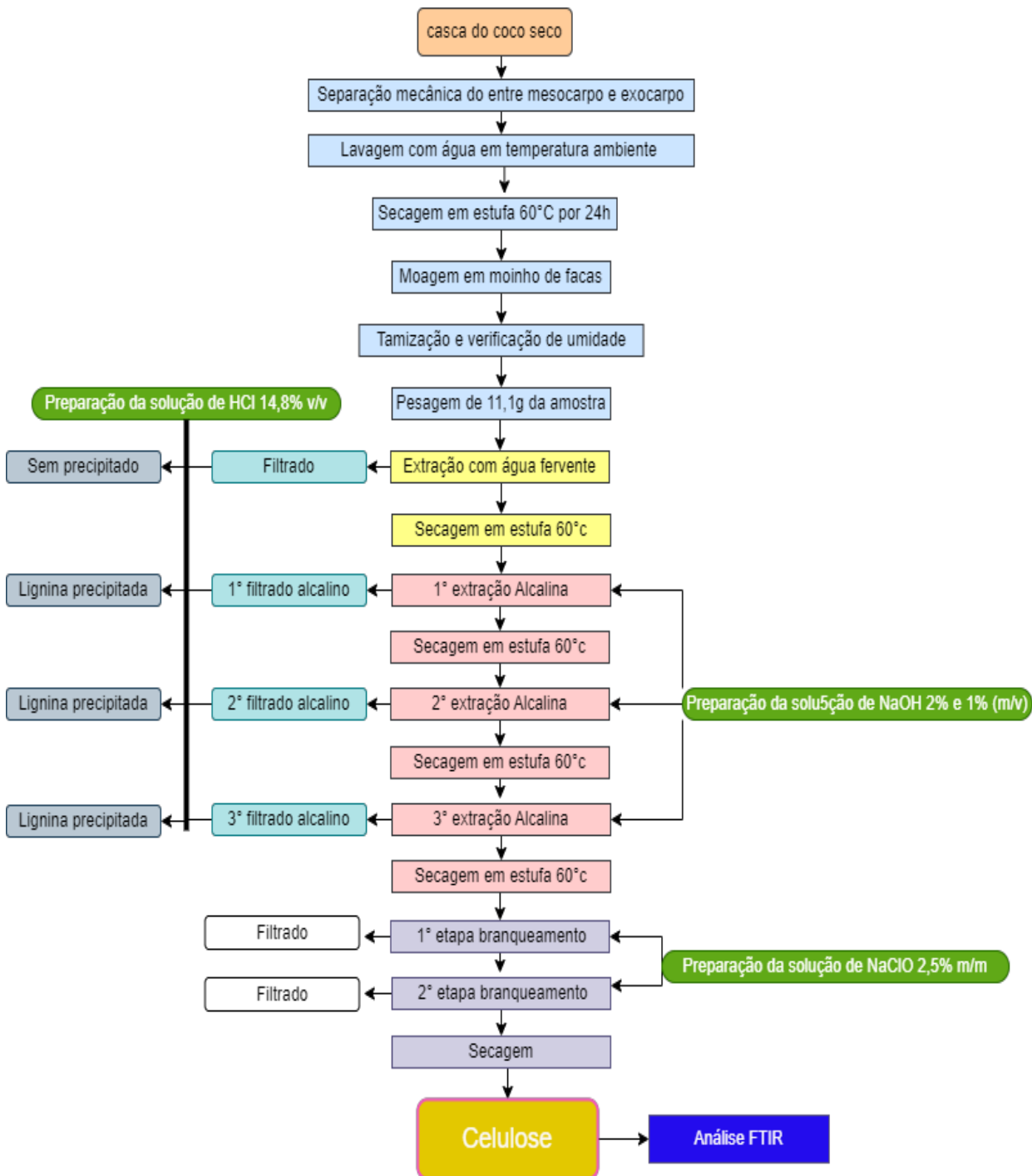
Fonte: Quimicorga (2014)

Para a celulose espectro obtido por FTIR possui seus picos característicos, sendo eles: o estiramento de OH em 3390 cm^{-1} ; estiramento de CH de alcanos e estiramento assimétrico de CH_2 em 2921 cm^{-1} . Deformação de OH em 1636 cm^{-1} ; deformação de CH_2 em 1410 cm^{-1} ; deformação de OH em 1340 cm^{-1} . Além destes, também é possível encontrar na banda de $400\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ picos que indicam a torção angular de grupos OH (SOUZA, J. P., 2019).

3 METODOLOGIA

O fluxograma que consta na Figura 9 resume as etapas utilizadas durante todo o procedimento realizado para a obtenção dos resultados.

Figura 9 – Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Autoria própria

3.1 PREPARAÇÃO DA METÉRIA-PRIMA

Inicialmente as fibras do coco (mesocarpo) foram mecanicamente separadas dos outros componentes da casca. Em sequência as fibras separadas passaram por uma lavagem com água destilada para a retirada de sujidades e seguiu para a estufa em 60°C por um período de 24 horas. Após secas as fibras foram moídas em um moinho de facas e peneiradas em abertura de 28 mesh; e em seguida foram armazenadas sob refrigeração em sacos plásticos até sua posterior utilização.

Antes de seguirem para o processo, a biomassa reservada foi levada à balança de umidade por infra-vermelho (Gehaka IV 2002). A Equação 1 descreve o modo de quantificação realizado pelo equipamento:

$$U(\%) = \frac{(m_u - m_s)}{m_u} \times 100 \quad (1)$$

Onde, U(%) equivale ao teor de umidade da amostra analisada; Mu à massa do material úmido e Ms à massa do material seco, após ser submetido a uma temperatura de 105°C no equipamento.

3.2 ISOLAMENTO DA FIBRA DE CELULOSE

O processo de isolamento foi feito com conjunto de amostras em triplicata para cada concentração de álcali. O peso das amostras foi calculado com base na umidade para que tivessem 10g de fibra seca. A equação 2 descreve o procedimento de obtenção dessa massa. Onde: m é a massa necessária das fibras úmidas.

$$m_u = 10 \times (1 + U(\%)) \quad (2)$$

3.2.1 Extração com água quente

Foram pesadas em balança analítica 3 amostras (triplicata) de 11,1 g das fibras armazenadas, e foram transferidas para erlenmeyers de 500 mL. Aos erlenmeyers adicionou-se 300 mL de água fervente e foram postos em repouso por 15 min. Na sequência, a mistura foi filtrada à vácuo utilizando papel filtro faixa preta. Os sólidos retidos seguiram para a estufa em 60°C por 24 horas e após secos foram pesados. Já o filtrado foi reservado sob refrigeração.

3.2.2 Processo hidrolítico

Para este momento do processo foi feita a utilização de duas concentrações de solução de NaOH, 1% e 2% (m/v); preparadas pela solubilização de 10g e 20g de NaOH em 1L de água destilada, respectivamente.

O processo de extração básica possuiu um total de três etapas. Em cada uma delas os sólidos secos foram inseridos em erlenmeyers de 250 mL, e cada um deles sofreu a adição de 200 mL da solução de NaOH. Na sequência, a mistura formada seguiu para a Incubadora (shaker) Marconi MA-420 (Figura 10) na temperatura de 50°C por 3h. Por fim, as fibras passaram por uma filtração a vácuo em papel filtro tarja preta.

O filtrado foi reservado sob refrigeração e os sólidos retidos foram secos em estufa em 60°C por 24h e posteriormente pesados.

3.2.2.1 Precipitação da lignina

Inicialmente foi preparada uma solução de 14,8% V/V de HCl pela mistura de 125 mL de água destilada e 125 mL de HCl PA em um elernmeyer de 250 mL. Com a solução pronta, foram tomadas alíquotas de 50 mL de cada filtrado reservado nas etapas anteriores, e com o auxílio de um pHmetro a mistura foi levada até o pH 1 pela adição da solução ácida. A mistura, agora com precipitação, foi inserida em tubos de Falcon e levadas à centrífuga em 20000 rpm. O sobrenadante foi desprezado e o precipitado levado a estufa em uma temperatura de 60°C por cerca de 24h. Após seco com o auxílio de uma balança analítica o precipitado teve sua massa tomada.

2.2.3 Processo de branqueamento

Após as etapas de tratamento alcalino, as amostras secas seguiram para o processo de branqueamento. Nesta etapa as fibras foram inseridas em erlenmeyers de 200 mL conjuntamente com uma solução 2,5% m/m de NaClO (Hipoclorito de sódio), seguindo para Incubadora (shaker) Marconi MA-420 em temperatura de 50°C por 90 minutos (1,5h) por um total de duas vezes, trocando a solução de NaClO entre elas. Por fim a amostra foi filtrada, seca em temperatura ambiente e pesada em balança analítica. Já o filtrado foi desprezado.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA CELULOSE

3.3.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Antes das análises das amostras obtidas, no fim do processo, foram moídas uma pequena quantidade delas. Além da celulose produzida, a fim de haver um padrão de comparação, também foi feita a obtenção do espectro de uma amostra de celulose em pó.

A produção dos espectros foi realizada utilizando o equipamento Spectrum 400 – Perkin Elmer, através do método da reflectância total atenuada (Cristal de ZnSe, 1 reflexão). As varreduras ocorreram na faixa de 4000 cm^{-1} a 500 cm^{-1} , com uma resolução de 2 cm^{-1} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Inicialmente, a fibra da casca do coco seco passou por uma lavagem com água em temperatura ambiente (28°C) gerou um filtrado transparente de coloração levemente avermelhada com algumas partículas de impureza em suspensão. Já a biomassa após a secagem apresentou o teor de umidade inicial de 11%. Desse modo, das massas inicialmente medidas apenas 89% representavam o peso seco das fibras. Estando as massas médias das amostras utilizadas em ambas as extrações exibidas na Tabela 2

Tabela 2 – Massas iniciais de fibras utilizada nas extrações

Concentração da solução	Material medido	Massa média da amostra
1%	Fibra úmida	11,0678 ± 0,0899
	Fibra seca	10,0616 ± 0,0622
2%	Fibra úmida	11,2044 ± 0,0429
	Fibra seca	10,0940 ± 0,0429

Autor: Autoria própria

4.2 ISOLAMENTO DA FIBRA DE CELULOSE

4.1.2 Extração com água quente

Após a preparação da matéria-prima, o filtrado gerado na extração com água em alta temperatura exibiu-se como uma solução transparente de coloração castanha escura. Sabendo que os compostos majoritários que compõe a biomassa não se solubilizam em pH neutro, a cor observada deveu-se aos extrativos presentes na fibra, assim como na lavagem inicial (OLIVEIRA et al., 2005).

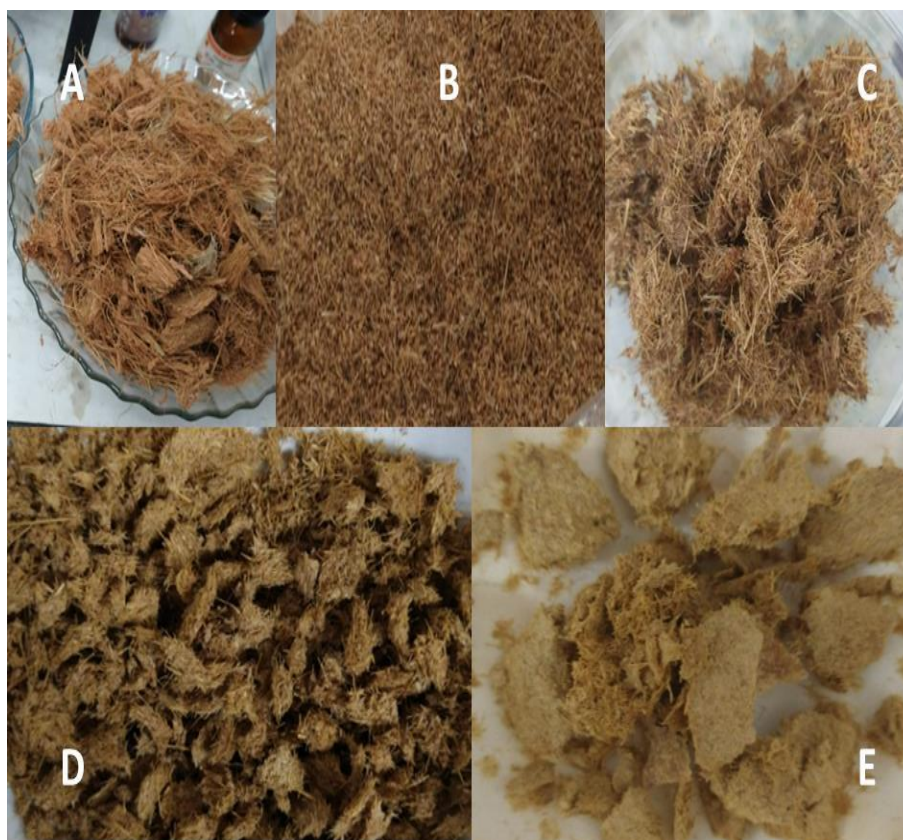
4.1.3 Processo hidrolítico

A primeira extração em solução básica resultou em um filtrado de cor negra, denominado pela literatura como “líquor negro”, que, por trata-se de uma solução de pH elevado, além dos extrativos possui quantidades significativas de lignina e hemicelulose, também responsáveis na atribuição de cor ao filtrado (ALMEIDA et al., 2021). Já em relação

as fibras, após a secagem foi perceptível a mudança da coloração antes e após o processo. Estando a biomassa em um tom mais claro depois da extração. Além disso, foi perceptível a diferença de cor entre os filtrados obtidos em ambas as concentrações, sendo a 2% um líquido mais escuro.

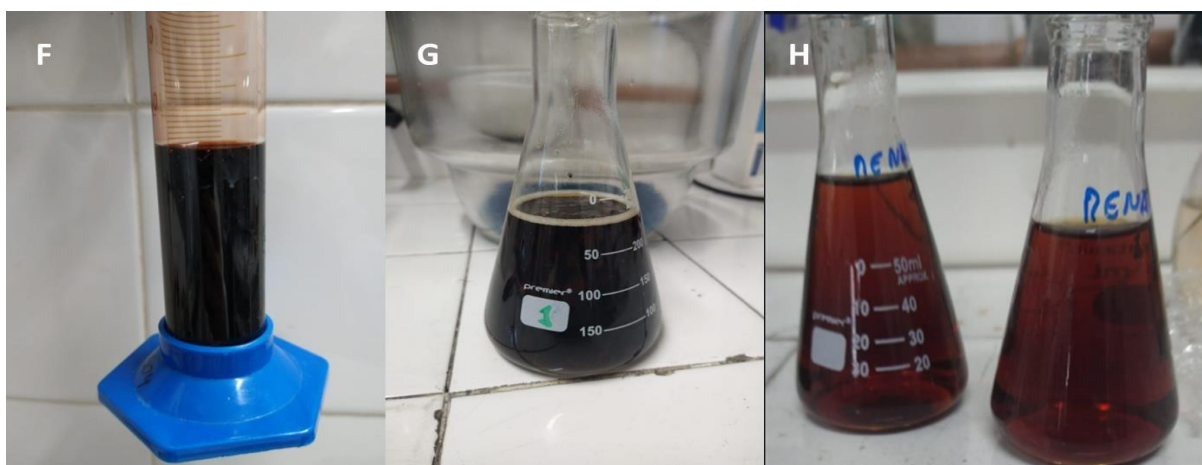
Durante a segunda etapa da extração foi observado que tanto o filtrado obtido, quanto a biomassa seca exibiram colorações mais claras que o da primeira etapa e mais escuro que a terceira etapa, mas não sendo mais possível observar variação de intensidade de cor entre as amostras das diferentes concentrações. As Figuras 11 e 12 exibem respectivamente as fibras e os filtrados durante o andamento do processo em concentração de 2%, sendo a biomassa: A, a inicial; B, após o a extração com água quente; C, após primeira extração alcalina; D, após segunda extração alcalina; e E, após a terceira extração alcalina. Já os filtrados (Figura 12): F, da primeira extração alcalina; G, da segunda extração alcalina; e H, da última extração alcalina.

Figura 10 – Características visuais das fibras de coco durante o processo de extração alcalina com solução 2%. sendo: A, matéria inicial; B após extração com água quente; C, após primeira extração alcalina; D, após segunda extração alcalina; e E, após a terceira extração alcalina



Fonte: Autoria própria

Figura 11 – Características visuais dos filtrados alcalinos durante a extração com álcali a 2%. Sendo: F, da primeira extração alcalina; G, da segunda extração alcalina; e H, da última extração alcalina.



Fonte: Autoria própria

4.1.3.1 Precipitação da lignina

Dos filtrados reservados, a adição da solução ácida e consequente diminuição do pH do meio gerou turbidez apenas nas extrações alcalinas, como era esperado, indício de que a extração da lignina ocorreu apenas durante estas etapas. A lignina precipitada foi obtida como finas partículas escuras, como mostrado na Figura 13.

Figura 12 - Lignina precipitada do filtrado gerado durante a primeira etapa alcalina com solução 2%



Fonte: Autoria própria

Tomando como base as massas de lignina obtidas através da quantificação de massa nas alíquotas de 50 mL de cada etapa extrativa dispostas na Tabela 3, vê-se que a maior quantidade de lignina é conseguida na primeira etapa do processo de extração alcalina, além de que em acordo com a literatura, a solução de 2% demonstrou maior potencial de solubilização da lignina.

Tabela 3 – Massa de lignina estimada para todo o filtrado com base na massa precipitada na alíquota de 50 mL

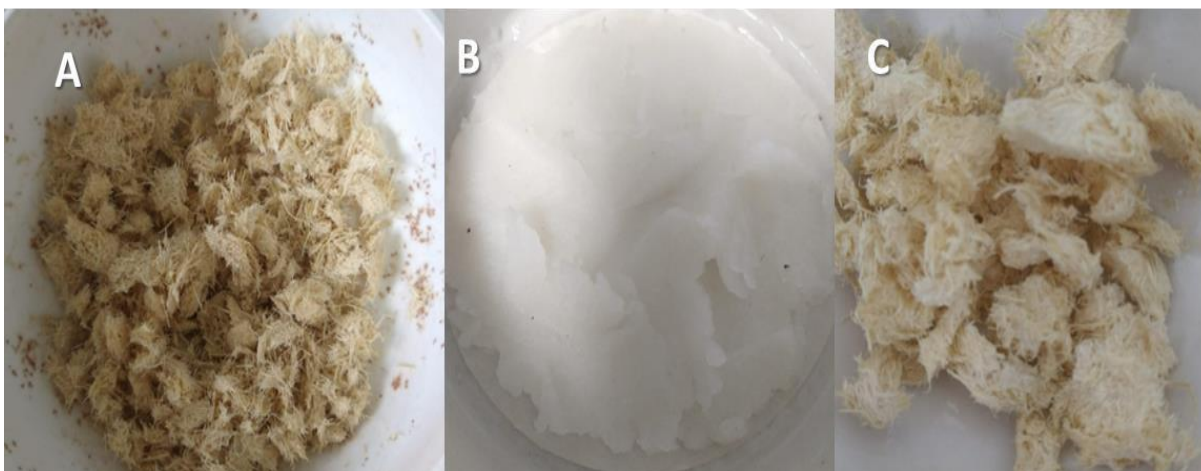
Concentração da solução	Etapa de extração	Estimativa da massa de lignina em todo filtrado (200 mL)
1%	Extração com água quente	-
	1° extração alcalina	$1,0261 \pm 0,0112$ g
	2° extração alcalina	$0,3663 \pm 0,0057$ g
	3° extração alcalina	$0,0299 \pm 0,0016$ g
2%	Extração com água quente	-
	1° extração alcalina	$1,3595 \pm 0,0177$ g
	2° extração alcalina	$0,3981 \pm 0,0007$ g
	3° extração alcalina	$0,1076 \pm 0,0033$ g

Fonte: Autoria própria

4.1.4 Processo de branqueamento

Na etapa de branqueamento não foi notado diferença de comportamento entre as fibras previamente tratadas em solução alcalina de 1% e 2% de NaOH. Após a primeira etapa de branqueamento a biomassa mostrou descoloração, mas ainda não apresentava a alvura desejada (Figura 14 - A), chegando no estado de interesse apenas na segunda e última etapa do processo (Figura 14 - B). No entanto, com a secagem foi obtida uma polpa amarelada para ambas as concentrações (Figura 14 – C). O que pode ocorrer devido aos métodos de secagem, há não retirada do hipoclorito em sua totalidade, oxidando a fibra além do ideal; ou há não retirada total de lignina e hemicelulose da fibra.

Figura 13 – Fibras de celulose durante o processo de branqueamento após etapa hidrolítica a 1%. Sendo: A, após a primeira etapa de branqueamento; B, após a segunda etapa de branqueamento; e C, celulose final seca.

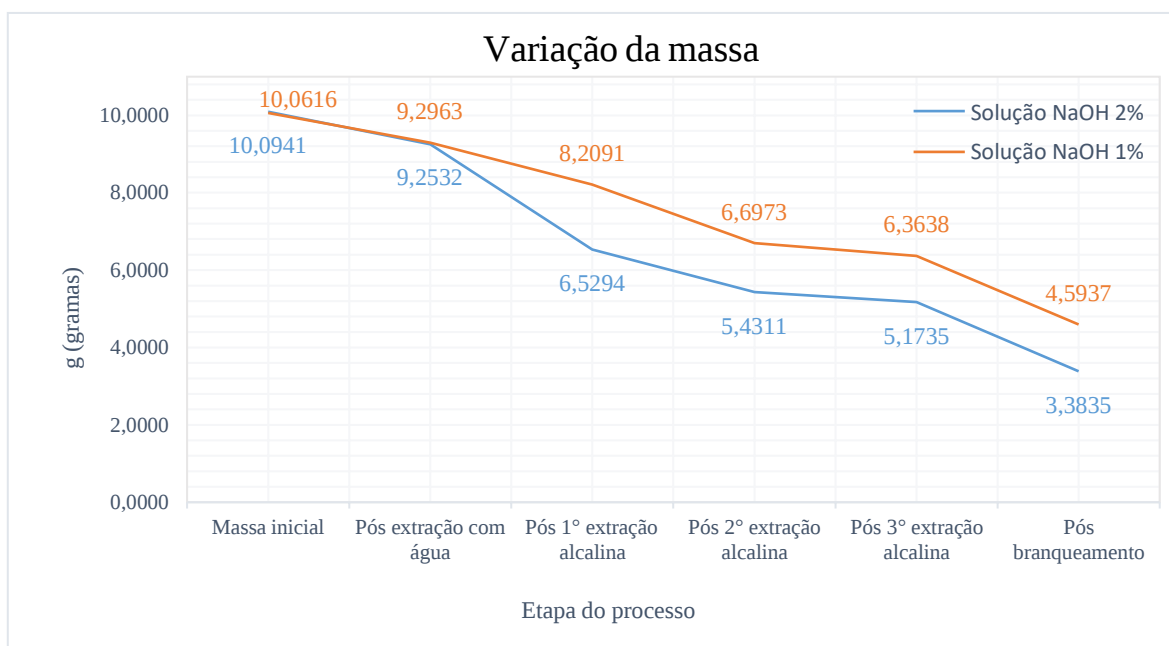


Fonte: Autoria própria

4.1.5 Análise gravimétrica do processo

Com base nas massas da biomassa seca em cada uma das etapas foi plotado o gráfico disposto na Figura 15, que exhibe o decaimento da massa total em cada etapa, englobando a retirada de lignina, hemicelulose e extrativos.

Figura 14 – Variação da massa durante os processos de isolamento da celulose



Fonte: Autoria própria

Através da análise gráfica e com os dados da tabela 4 é visível que o decaimento da massa na etapa de extração com água quente foi similar para ambas as amostras, visto que o processo a qual foram submetidas até este ponto foi o mesmo.

Tabela 4 – Variação percentual de massa entre as etapas

Etapa	Variação de massa (%)	
	1%	2%
Pós Extração com água quente	-8%	-8%
Pós 1º extração alcalina	-12%	-29%
Pós 2º extração alcalina	-18%	-17%
Pós 3º extração alcalina	-5%	-5%
Pós branqueamento	-28%	-35%

Fonte: Autoria própria

Com a entrada na etapa alcalina as variações de massa começam a apresentar divergências com a variação da concentração. Como é possível observar através da curva, fica perceptível o maior decaimento da massa com o aumento da concentração da solução extratora. Outro ponto a se notar é que para a amostra tratada em 1% de NaOH há uma maior queda da massa na segunda etapa alcalina em comparação com a primeira etapa. Como este comportamento é contrário ao visto na precipitação de lignina, é possível inferir ao fenômeno a maior retirada de hemicelulose e extrativos da fibra.

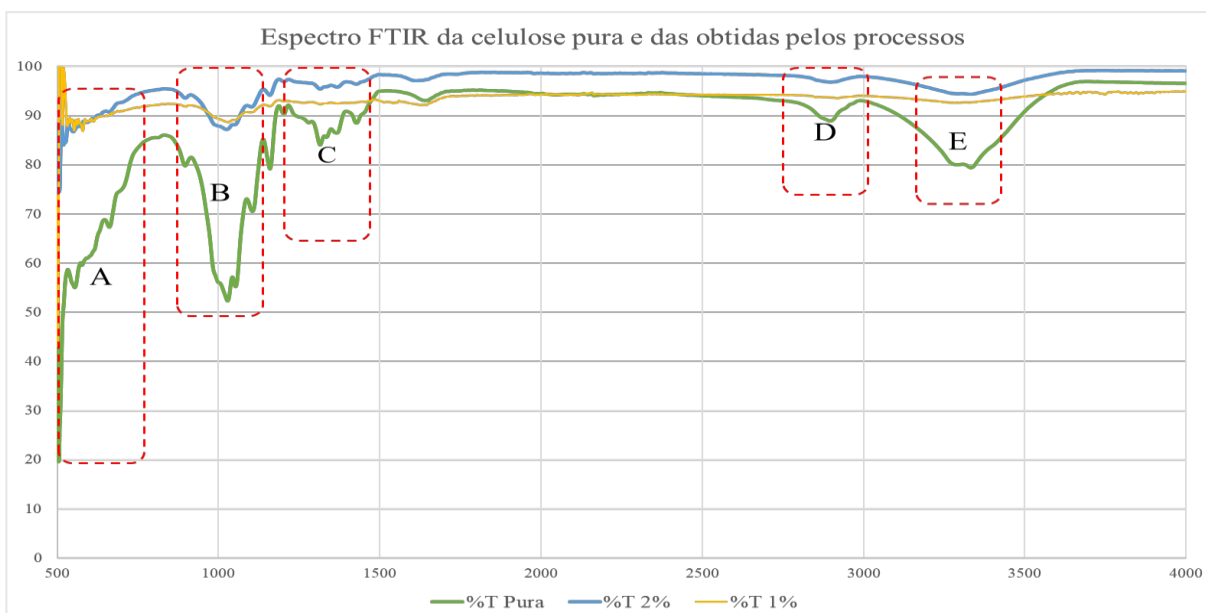
Para a terceira etapa alcalina, quando o decaimento da massa, nas diferentes concentrações tiveram variações similares, além disso comparando com a primeira e segunda etapa hidrolítica, a variação foi pequena, indicativo de que a adição de mais etapas de extração com solução de mesma concentração não haverá efetividade na extração de lignina. Já para o branqueamento é possível afirmar que para os parâmetros do processo utilizado, a quantidade restante de lignina, hemicelulose e extrativos na fibra interferiram no andamento da oxidação pelo hipoclorito, dado que houve diferentes variações de massa entre as amostras; sendo para a tratada com a maior concentração de álcali em solução, conseqüentemente com menor teor de lignina e hemicelulose, uma variação maior.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA CELULOSE

4.3.1 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier

Com os dados obtidos pela espectroscopia de infravermelho, os espectros da celulose padrão e da celulose obtida no processo com extração alcalina a 2% e 1% m/v, foram construídos (Figura 16).

Figura 15 – Comparação entre espectros de FTIR da celulose padrão e a obtida pelo processo com extração alcalina a 2%. Com A, B, C, D e E os picos padrão do espectro da celulose.



Fonte: Autoria própria

Da análise dos espectros é possível verificar os picos característicos da celulose tanto no padrão como na de 2%: A, sendo picos devido a torção angulas dos grupos CH_2 , que dado o comprimento da onda de radiação utilizado não foi possível ver seu total desenvolvimento que inicia por volta dos 400 cm^{-1} ; B, as deformações dos grupos hidroxilas; C, as deformações de CH_2 ; D, os estiramentos das ligações em CH e CH_2 ; e por fim E, o estiramento das hidroxilas (SOUZA, 2019). Estando os picos presentes tanto no espectro do padrão utilizado e no material que foi obtido em 2% ao fim do tratamento é certo dizer que houve produção da celulose; mas dado a menor intensidade dos picos em relação ao padrão, é indicativo de impureza, seja da oxidação discutida na seção 4.1.4, ou seja por resíduos dos outros componentes que não foram totalmente extraídos. Para o material tratado em 1%, pelo espectro é certo dizer que o tratamento não foi eficiente visto que os picos característicos não são observados, por tanto, confirma que quanto maior a alcalinidade do processo hidrolítico melhor a eficiência.

5 CONCLUSÃO

Dos processos de isolamento realizados foi possível verificar que o que possuiu a etapa de extração alcalina com solução de NaOH em uma concentração de 2% foi mais eficiente na remoção de lignina, hemicelulose e extrativos do que o processo com 1% de NaOH, o que pôde ser visto tanto na análise gravimétrica, quanto na massa de lignina precipitada durante as etapas. Dado que durante a análise foi percebido que a adição de mais etapas de extrações alcalina com solução de mesma concentração não aumentam a efetividade do processo extrativo, para o aumento da remoção seria necessário a inclusão de etapas de extração com soluções mais concentradas. Além disso, foi observado que o branqueamento para a biomassa tratada em solução 2% teve uma maior queda de massa, o que pode significar maior eficiência do processo ou maior ataque à fibra, sendo necessário para a confirmação de alguma das hipóteses a realização de análises que vão além das propostas para este trabalho.

Ao fim de todo o processo, incluindo o branqueamento com solução de hipoclorito de sódio 2,5%, foi obtido uma polpa de alta alvura que ao secar tornou-se levemente amarelada para ambos os processos de solução 1% e 2% da base. Ao analisar o espectro em comparação à amostra padrão de celulose foi possível identificar todos os picos característicos do composto, confirmando a obtenção de celulose para a amostra tratada em 2% de NaOH. No entanto, os picos apresentados possuíram intensidades significativamente menores, o que implica que a pureza esperada não foi obtida, sendo uma das possibilidades a presença de compostos gerados pela oxidação da celulose final, resultante de uma má lavagem do material que deixou um residual de hipoclorito e consequente ataque a fibra celulósica, ou pela presença de resíduos de lignina e hemicelulose não extraídos efetivamente durante os processos. Já para a amostra tratada em solução 1% do álcali, os picos característicos de celulose não são observados, por tanto, não se confirma o isolamento.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Michaela et al. **Influência da concentração de álcali no isolamento de lignina presente em resíduo da olivicultura**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 13, n. 3, 2021
- ARAÚJO, Filipe Bilio. **Extração e caracterização de lignina da fibra da casca de coco**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso.
- AZADI, P.; INDERWILDI, O. R.; FARNOOD, R.; KING, D. A. Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, sn, P. 506-523, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112007253>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- BENASSI, A. C.; FANTON, C. J.; SANTAN, E. N. **O cultivo do coqueiro anão verde: Tecnologias e produção**, Vitória, ES: Incaper, 2013.
- BRAINER, M. S. C. P. **Coco: Produção e mercado**. Caderno setorial ETENE, Banco do Nordeste, 2021
- CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra de casca de coco verde como substrato agrícola. Brasília: **Horticultura Brasileira**, v.20, n. 4, p. 533- 535, 2002
- CHAN, E.; ELEVITCH, C. R. **Cocos nucifera (coconut), Species profile for Pacific Island Agroforestry**. Hawaii: Permanent Agriculture Resources, 2006.
- DEUS, D. A. de; ZAÚ, A. S.; MUNIZ, G. I. B. de.; NISGOSKI, S. .; ABREU, H. dos S. .; GAMA, D. C. Lignina: uma importante tecnologia química da madeira. **E-Acadêmica**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. e7233391, 2022. DOI: 10.52076/eacad-v3i3.391. Disponível em: <https://eacademica.org/eacademica/article/view/391>. Acesso em: 9 abr. 2023.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. Berlin: De Gruyter, 1984.
- FERRI, M. G. **Botânica: morfologia externa das plantas [organografia]**. 15ed. São Paulo: Editora NOBEL, 1990.

FONTES, H. R. & FERREIRA, J. M. S. (2006). **A cultura do coqueiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/122591>. Acesso em: 20 jan. 2023

FORATO, L. A. et al. **A Espectroscopia na região do Infravermelho e algumas aplicações**. 2010.

KOTARSKA, K.; SWIERCZYNSKA, A.; DZIEMIANOWICZ, W. Study on the decomposition of lignocellulosic biomass and subjecting it to alcoholic fermentation. **Renewable Energy**, v. 75, 389-394, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114006454>. Acesso em: 12 dez. 2022.

MARTINS, R. P. **Extração de hemicelulose do bagaço, colmo e folhas e açúcares fermentáveis do sobro sacarino**. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2020.

NAVARRO, R. M. S. et al. **Estudo dos diferentes tipos de processos de branqueamento de celulose objetivando a comparação entre seus metodos e a geração do potencial de poluentes em seus respectivos efluentes**. 2004.

NISHIMURA, H. et al. Direct evidence for α ether linkage between lignin and carbohydrates in wood cell walls. **Nature: Scientific Report**, v. 8, n. 1, P 1-11, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24328-9>. Acesso em: 20 jan. 2023.

PASSOS, E. E. M.; ARAGÃO, W. M.; RAMOS, V. H. V. **caracterização morfológica e avaliação de cultivares de coqueiro no planalto central do brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/373009/1/Caracterizacao201.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

PENG, F.; REN, J. L.; XU, F.; BIAN, J.; PENG, P.; SUN, R. C. Comparative Study of Hemicelluloses Obtained by Graded Ethanol Precipitation from Sugarcane Bagasse. New York: **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol. 57, n. 14, p. 6305-6317, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf900986b>

PEREIRA, N. R. L.; ANJOS, F. E.; MAGNAGO, R. F. Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose. **Revista Virtual de Química**. v, 11. n, 4. p. 1165-1179, 2019. Disponível em: http://rvq.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1084. Acesso em: 30 dez. 2022.

PEREIRA, P. H. F; ROSA, M. F.; CIOFFI, M. O. H.; BENINI, K. C. C. C.; MILANESE, A. C.; VOORWALD, H. J. C. & MULINARI, D. R., vegetal fibers in polymeric composites: a

review. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol.25, n1, p.9-22, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/fMdzmd8wz3RJypPD4xW9jww/?lang=en>. Acesso em: 10 jan. 2023.

INTERPRETAÇÃO DE ESPECTROS. **Quimicorga**, 2 maio 2014. Disponível em: <http://quimicorga.blogspot.com/2014/05/interpretacao-de-espectros-um.html>. Acesso em: 22 jul. 2022

RODRIGUES, C. P.; CAMARGO, J. A. **Bagaço de cana-de-açúcar como potencial para cogeração de energia elétrica e etanol celulósico**. São Joaquim da Barra: Iara Coimbra, P. 25, 2008.

RODRIGUES, R.; MOURA RODRIGUES, R.; MOTTA DE MOURA, J.; SANTOS, M. F. A.; MOTTA, C. M.; SILVEIRA, G. R. **Efeito da lignina em filmes biodegradáveis**: uma breve revisão. São Paulo: Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 12, n. 2, 2020.

ROSA, F. M.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; SANTOS, F. J. DE S.; ABREU, F. A. P.; FURTADO, A. A. L.; BRÍGIDO, A. K. L. & NORÕES, E. R. DE V. **Utilização da casca de coco como substrato agrícola**. Fortaleza, CE: Embrapa, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/PQsvvcv3dgWRHGTYD9qsFML/?lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2022.

ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and woods composites**, 2 ed. New York: CRC press, 2013.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha da cana-de-açúcar para a produção de etanol. Viçosa, MG: **Revista Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3583. Acesso em: 29 jan. 2023.

SENAI CETCEP, Centro de Tecnologia em Celulose e Papel, Apostila do Curso de Especialização em Celulose e Papel. Branqueamento de Celulose, Telemaco Borba, Paraná, 2001.

SINPAPEL (SINDICATO DOS PRODUTORES DE PAPEL E CELULOSE). setor-florestal-bate-recorde-na-producao-de-celulose-e-papel-em-2022. Disponível em: <https://www.sinpapel.com.br/post/setor-florestal-bate-recorde-na-producao-de-celulose-e-papel-em-2022>. Acesso em: 01 jan. 2023.

SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco: transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes**. Campinas, SP: Universidade de Campinas, 2003.

SOUZA, João Pedro Bessa de. Produção e caracterização de celulose bacteriana em cultivo estático e agitado. 2019

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource technology**, v. 83, n. 1, p. 1-11, 2002.

YAHAIRA, R.; LUCERO, G. **Nano - Materiales de Lignina para el Tratamiento de Eliminación de Contaminantes Tóxicos de los Cuerpos de Agua: Revisión Sistemática**. Tese (Bacharelado). Lima, Peru: Universidad César Vallejo

**APÊNDICE A – DADOS DAS MASSAS DAS AMOSTRAS EM TRIPLICATA EM
CADA ETAPA E EM CADA PROCESSO**

Tabela 5 – Massas das amostras, 2 e 3 após cada etapa no processo com hidrólise alcalina em concentração 2%

Etapa	Amostras	Massas (g)
Início	1	10,1072
	2	10,1289
	3	10,0461
Pós extração com água quente	1	9,19862
	2	9,31859
	3	9,24241
Pós primeira extração alcalina	1	6,4852
	2	6,5736
	3	5,8038
Pós segunda extração alcalina	1	5,4364
	2	5,3961
	3	5,4608
Pós terceira extração alcalina	1	5,1223
	2	5,2454
	3	5,1529
pós branqueamento	1	3,2433
	2	3,4959
	3	3,4112

Autor: Autoria própria

Tabela 6 – Massas das amostras, 2 e 3 após cada etapa no processo com hidrólise alcalina em concentração 1%

Etapa	Amostras	Massas (g)
Início	1	10,1653
	2	10,0139
	3	10,0057
Pós extração com água quente	1	9,2336
	2	9,2974
	3	9,3579
Pós primeira extração alcalina	1	8,2357
	2	8,1824
	3	8,509
Pós segunda extração alcalina	1	6,766
	2	6,6286
	3	6,9569
Pós terceira extração alcalina	1	6,3084
	2	6,1075
	3	6,4191
pós branqueamento	1	4,5447
	2	4,6427
	3	4,4526

APÊNDICE B – MASSAS OBTIDAS A PARTIR DA PRECIPITAÇÃO DE LIGNINA DOS FILTRADOS DA EXTRAÇÃO ALCALINA

Tabela 7 – massas de lignina precipitadas nos filtrados das extrações alcalinas em concentração 2%

Filtrado	Amostra	Massa de precipitado (g)
Primeiro filtrado	1	0,3573
	2	0,3403
	3	0,322
Segundo filtrado	1	0,10030
	2	0,09940
	3	0,09890
Terceiro filtrado	1	0,0364
	2	0,0292
	3	0,0246

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 – massas de lignina precipitadas nos filtrados das extrações alcalinas em concentração 2%

Filtrado	Amostra	Massa de precipitado (g)
Primeiro filtrado	1	0,3147
	2	0,2989
	3	0,156
Segundo filtrado	1	0,0940
	2	0,24370
	3	0,08740
Terceiro filtrado	1	0,0287
	2	0,0432
	3	0,03101

Fonte: Autoria própria