



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**QUÍMICA**



**LARISSA NASCIMENTO LÔBO**

**OBTENÇÃO DE NANOLIGNINA A PARTIR DA CASCA E FIBRA DO**  
**COCO VERDE (*Cocos* sp.)**

Maceió - AL  
2024

LARISSA NASCIMENTO LÔBO

**OBTENÇÃO DE NANOLIGNINA A PARTIR DA CASCA E FIBRA DO  
COCO VERDE (*Cocos sp.*)**

Defesa da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química na área de concentração de Desenvolvimento e Pesquisa de Processos Regionais.

Orientador: Profa. Dra. Renata Maria Rosas Garcia Almeida

Coorientador: Dra. Francine Pimental de Andrade

Maceió - AL

2024

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

L799o Lobo, Larissa Nascimento.  
Obtenção de nanolignina a partir da casca e fibra do coco verde (*Cocos sp.*) / Larissa Nascimento Lobo. – 2024.  
59 f. : il. color.

Orientadora: Renata Maria Rosas Garcia Almeida.  
Co-orientadora: Francine Pimental de Andrade.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas.  
Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 45-59.

1. Coco verde. 2. Lignina. 3. Polpação acetossolv. 3. Ultrassonicação. I. Título.

CDU: 665.353.6

**Larissa Nascimento Lôbo**

**Obtenção de nanolignina a partir da casca e fibra do coco verde (*cocos sp.*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em: Maceió, 21 de março de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **RENATA MARIA ROSAS GARCIA ALMEIDA**  
Data: 21/03/2024 16:20:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Maria Rosas Garcia Almeida (Orientadora - PPGEQ/UFAL)

Documento assinado digitalmente  
 **FRANCINE PIMENTEL DE ANDRADE**  
Data: 21/03/2024 18:27:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr<sup>a</sup>. Francine Pimentel de Andrade (Coorientadora – Pós-Doc/PPGEQ/UFAL)

Documento assinado digitalmente  
 **CARLOS EDUARDO DE FARIAS SILVA**  
Data: 21/03/2024 21:03:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo de Farias Silva (PPGEQ/UFAL)

Documento assinado digitalmente  
 **MARCIA ANDREA GOMES**  
Data: 21/03/2024 18:02:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia Andréa Gomes (IFAL)

## RESUMO

A lignina, segundo biopolímero mais abundante na natureza, desempenha papéis vitais nas plantas e possui propriedades atrativas para aplicações industriais. Diversos métodos de extração de lignina são mencionados, sendo a polpação acetossolv destacada por sua eficácia e sustentabilidade. Essa pesquisa teve como objetivo a obtenção de nanolignina a partir da lignina proveniente da casca e fibra do coco verde (*Cocos nucifera*) pelo método acetossolv. A pesquisa se iniciou com a coleta de resíduos de coco verde, comercializado nas imediações da Universidade Federal de Alagoas e sua preparação para a obtenção de farinha. A farinha foi então caracterizada quanto a extrativos totais, teor de cinzas, lignina, umidade, holocelulose, alfacelulose e hemicelulose. A polpação acetossolv foi realizada em duas etapas, variando condições de temperatura e presença ou não de extrativos. A lignina foi obtida por precipitação e posteriormente caracterizada através de análises químicas e morfológicas. O estudo abrangeu cinco etapas principais. A análise dos componentes primários da casca e fibra de coco demonstrou um teor de lignina de 40%, de celulose de 15,90% e hemicelulose de 15,86% situando-se dentro das faixas encontradas em outros estudos. A caracterização físico-química da farinha de coco verde revelou teores de extrativos entre 2,6 a 19,26%, umidade de 9,22 a 10,5%, cinzas de 0,98 a 5,12%, e proteínas entre 3,56 a 8,27%. Esses resultados indicam que a casca e fibra de coco verde são fontes ricas em lignina em comparação com outras biomassas lignocelulósicas. Em seguida, a nanolignina foi produzida através de ultrassonicação. As características dos produtos obtidos foram analisadas, considerando a influência da temperatura e da presença de extrativos. Por fim, a nanolignina na melhor condição foi submetida a uma caracterização qualitativa e quantitativa abrangente. Os resultados revelaram um rendimento médio de 13,86%, com variações relacionadas à temperatura e tipo de biomassa. A pureza da lignina foi confirmada pelos teores de umidade, cinzas e lignina Klason, indicando valores consistentes. A análise termogravimétrica demonstrou estabilidade térmica da lignina, enquanto o FTIR revelou características típicas de lignina, como grupos cetona, estrutura aromática e metilação. A microscopia eletrônica de varredura destacou a formação de aglomerados e porosidades na lignina, sugerindo uma estrutura complexa. Esses resultados contribuem para uma compreensão abrangente da extração de lignina acetossolv e suas propriedades estruturais.

**Palavras-chave:** Coco Verde, Lignina, Polpação acetossolv, Ultrassonicação.

## ABSTRACT

The lignin, the second most abundant biopolymer in nature, plays vital roles in plants and possesses attractive properties for industrial applications. Various methods of lignin extraction are mentioned, with acetosolv pulping being highlighted for its efficacy and sustainability. This research aimed to obtain nanolignin from lignin derived from green coconut (*Cocos nucifera*) husk and fiber using the acetosolv method. The research began with the collection of green coconut residues, available near the Federal University of Alagoas, and their preparation to obtain flour. The flour was then characterized for total extractives, ash content, lignin, moisture, holocellulose, alpha-cellulose, and hemicellulose. Acetosolv pulping was conducted in two stages, varying temperature conditions and the presence or absence of extractives. Lignin was obtained through precipitation and subsequently characterized through chemical and morphological analyses. The study comprised five main stages. Analysis of the primary components of coconut husk and fiber showed a lignin content of 40%, cellulose of 15.90%, and hemicellulose of 15.86%, within the ranges found in other studies. Physicochemical characterization of green coconut flour revealed extractive contents between 2.6 to 19.26%, moisture from 9.22 to 10.5%, ash from 0.98 to 5.12%, and proteins between 3.56 to 8.27%. These results indicate that green coconut husk and fiber are rich sources of lignin compared to other lignocellulosic biomasses. Next, nanolignin was produced through ultrasonication. The characteristics of the obtained products were analyzed, considering the influence of temperature and the presence of extractives. Finally, the nanolignin under the best condition underwent comprehensive qualitative and quantitative characterization. The results revealed an average yield of 13.86%, with variations related to temperature and biomass type. The purity of lignin was confirmed by moisture, ash, and Klason lignin content, indicating consistent values. Thermogravimetric analysis demonstrated thermal stability of lignin, while FTIR revealed typical lignin characteristics such as ketone groups, aromatic structure, and methylation. Scanning electron microscopy highlighted the formation of clusters and porosities in lignin, suggesting a complex structure. These results contribute to a comprehensive understanding of acetosolv lignin extraction and its structural properties.

**Keywords:** Green coconut, Lignin, Acetosolv pulping, Ultrasonication.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do coco.....	11
Figura 2 - Tipos de unidades de lignina .....	15
Figura 3 - Representação esquemática de uma estrutura de lignina de madeira dura .....	16
Figura 4- Processo resumido de obtenção da farinha de coco verde. A) Resíduo <i>in natura</i> , B) Resíduo seco, C) Peneiramento da farinha após trituração, D) Farinha da casca e fibra de coco verde. ....	22
Figura 5- Esquema simplificado para a extração da lignina por método acetossolv.....	28
Figura 6- Esquema simplificado da precipitação da lignina.....	29
Figura 7- Redução do tamanho das partículas por meio de ultrassonicação. ....	30
Figura 8– Análise Termogravimétrica das amostras (a) LCIN, (b) LCSE .....	36
Figura 9– Espectro infravermelho da biomassa .....	38
Figura 10 – Espectro infravermelho da biomassa <i>in natura</i> com diferentes parâmetros. ....	39
Figura 11– Espectro infravermelho da biomassa sem extrativos com diferentes parâmetros..	39
Figura 12 – Microscopia da lignina <i>in natura</i> e lignina pré tratada, ambas obtidas a 100 °C .	41
Figura 13 – Microscopia da lignina <i>in natura</i> e lignina pré tratada, ambas obtidas a 120 °C ..	42
Figura 14 - Microscopia da lignina <i>in natura</i> com diferentes ampliações .....	43
Figura 15 – Tamanho da nanolignina <i>in natura</i> .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de extração de lignina.....	18
Tabela 2 - Caracterização dos componentes primários do coco.....	32
Tabela 3 – Rendimento das amostras .....	34
Tabela 4 – Extração de lignina após método acetossolv .....	36
Tabela 5 - Caracterização dos picos do FTIR.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DLS	Espalhamento Dinâmico de Luz
FC	Fibra do Coco Verde
FCIN	Fibra do Coco in natura
FCSE	Fibra do Coco sem extrativos
FTIR	Infravermelho por Transformada de Fourier
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFAL	Instituto Federal de Alagoas
LCIN	Lignina do Coco in natura
LCSE	Lignina do Coco sem extrativos
LDPE	Polietileno de baixa densidade
LI	Líquidos Iônicos
LNPs	Nanopartículas de lignina
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
TG	Análise Termogravimétrica
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UV	Ultravioleta

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
2.1 Geral .....	9
2.2 Específicos.....	9
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>10</b>
3.1 Coco Verde.....	10
3.2 Produção mundial e consumo de coco .....	12
3.3 Impactos Ambientais do resíduo de coco .....	12
3.4 Formas de reaproveitamento do resíduo de coco .....	13
3.5 Lignina.....	14
3.6 Métodos de extração de Lignina.....	16
3.7 Nanolignina .....	18
3.8 Métodos de obtenção da Nanolignina .....	20
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
4.1 Coleta dos resíduos e obtenção da farinha da fibra do coco.....	22
4.2 Caracterização da farinha da fibra do coco .....	22
<i>4.2.1 Determinação de extrativos totais</i> .....	<i>22</i>
<i>4.2.2 Determinação do teor de cinzas</i> .....	<i>23</i>
<i>4.2.3 Determinação do teor de lignina</i> .....	<i>24</i>
<i>4.2.4 Determinação do teor de umidade</i> .....	<i>24</i>
<i>4.2.5 Determinação do teor de holocelulose, alfacelulose e hemicelulose</i> .....	<i>25</i>
<i>4.2.6 Determinação do Rendimento</i> .....	<i>27</i>
4.3 Polpação Acetossolv.....	27
4.4 Obtenção da lignina .....	28
4.5 Caracterização da lignina obtida .....	29
<i>4.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i> .....	<i>29</i>
<i>4.5.2 Análise Termogravimétrica (TG)</i> .....	<i>29</i>
<i>4.5.3 Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)</i> .....	<i>30</i>
<i>4.5.4 Determinação dos teores de umidade, cinzas e lignina klason</i> .....	<i>30</i>
4.6 Obtenção da nanolignina .....	30
<i>4.7 Caracterização da nanolignina</i> .....	<i>31</i>
<i>4.7.1 Espalhamento Dinâmico da Luz (DLS)</i> .....	<i>31</i>

<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
5.1 Caracterização Físico-química .....	32
5.2 Rendimento da Lignina Acetossolv.....	34
5.3 Teores de Umidade, Cinzas e Lignina Klason .....	35
5.4 Análise Termogravimétrica (TG) da Lignina.....	36
5.5 Análise de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) da Lignina.....	37
5.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da Lignina.....	41
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>7. TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>45</b>
<b>8. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Diante do crescimento populacional do mundo e as preocupações frente as condições ambientais do planeta, tem se intensificado a busca por alternativas para substituir a utilização de recursos não renováveis, principalmente produtos a partir do petróleo. Assim, a biomassa lignocelulósica mostra uma alternativa vantajosa para esse fim, pois essas biomassas são ricas em macromoléculas com potencial interesse industrial, como a lignina (Marques et al., 2022).

A lignina, o segundo biopolímero mais abundante na natureza, possui uma estrutura química complexa, já que sua estrutura depende de seu precursor, e desempenha um papel crucial no transporte de água, nutrientes e metabólitos nas plantas. É também responsável por promover o endurecimento, impermeabilidade, resistência mecânica e a ataques microbiológicos aos tecidos vegetais das plantas, e são essas características que despertam o interesse para esse biopolímero, sua obtenção e aplicação a processos produtivos, buscando conferir aos produtos gerados essas mesmas características, bem como: estabilidade térmica, ação antioxidante, ação antimicrobiana (Mariana et al., 2021).

Há uma variedade de métodos que podem ser utilizados para extrair a lignina das biomassas lignocelulósicas. Os métodos tradicionais usados geralmente incluem abordagens como hidrólise ácida ou alcalina, enzimática, limpeza com líquidos iônicos e proteção com solventes orgânicos ou uma combinação entre eles (Dessie et al., 2023). A polpação acetossolv é caracterizada pela dissolução seletiva da lignina em ácido acético, resultando em lignina de alta pureza com baixo percentual de degradação, baixo teor de impurezas inorgânicas e ausência de compostos de enxofre. É uma técnica eficaz e ambientalmente amigável já que conseguimos recuperar parcialmente o ácido acético utilizado, possui baixa emissão de compostos orgânicos voláteis e utiliza solventes orgânicos considerados verdes, para obter lignina de alta qualidade a partir de materiais vegetais (Rodrigues et al 2020).

O interesse dos pesquisadores pelos materiais em nanoescala tem crescido devido às suas propriedades únicas, o que possibilita ampliar a reatividade das partículas devido à sua grande área superficial, possibilitando o uso em diversas aplicações, utilizada como proteção contra raios ultravioleta, na elaboração de encapsulados na indústria farmacêutica e como antioxidantes para a produção de embalagens (Rangan et al., 2016). Existem diversos processos para reduzir a lignina para a nanoescala, dentre eles os métodos químicos, por exemplo, hidrólise ácida e precipitação ácida, métodos mecânicos, como a homogeneização e a ultrassonicação (Hussin et al., 2022).

O Brasil é o quinto maior produtor de coco do mundo, mas ocupa a primeira posição

quando o assunto é rentabilidade em kg de fruto por hectare plantado (12.588kg/ha), isso pode estar relacionado ao poder aquisitivo, políticas públicas e aos avanços tecnológicos no processo produtivo do país (Faostat, 2021).

A região Nordeste detém cerca de 74% da produção nacional do Brasil. Isso pode ser atribuído a fatores como as condições edafoclimáticas, que incluem características ambientais como clima, relevo, litologia, temperatura, umidade do ar, radiação tipo de solo, vento, composição atmosférica e precipitação pluvial. Além disso, a região Nordeste lidera a produção nacional de coco devido a avanços tecnológicos e à transição do extrativismo para o cultivo em grande escala. Aspectos culturais também desempenham um papel significativo. Dada a localização litorânea, o turismo é uma das principais atividades econômicas, influenciando o consumo de coco, considerado um ícone representativo da região (Brainer, 2021). O aumento do consumo do coco e sua expansão na indústria ocasiona o aumento dos resíduos gerados e consequentemente o descarte inadequado desses resíduos. Bonamone e Gonçalves (2019) mencionam os significativos impactos ambientais ocasionados pelo descarte desse resíduo, como, sua lenta decomposição (em média doze anos) e redução da capacidade dos aterros devido ao volume que o resíduo de coco ocupa.

Os resíduos de coco verde, mais especificamente a casca e a fibra, são riquíssimos em material lignocelulósico: lignina, celulose e hemicelulose respectivamente em ordem de maior disponibilidade. Esses biopolímeros possuem bastante valor agregado na indústria e podem ser aplicados nas mais diversas áreas, como por exemplo, na indústria farmacêutica, alimentícia, biomédica, automobilística e muitas outras, o que pode atribuir um valor agregado a esses resíduos e justificar os investimentos voltados para a extração e obtenção desses polímeros (Cetin et al., 2022).

Este trabalho visa a obtenção de nanolignina a partir da casca e fibra do coco verde do nordeste do Brasil, contribuindo para a sustentabilidade, aproveitando resíduos, valorizando recursos naturais e estimulando a inovação.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Obtenção de nanolignina a partir da casca e fibra do coco verde (*Cocos nucifera*) pelo método acetossolve.

### **2.2 Específicos**

- Caracterizar a farinha proveniente do exocarpo e mesocarpo do coco verde;
- Avaliar a influência da presença de extrativos na farinha de coco para extração da lignina;
- Extrair a lignina a partir do processo acetossolve, aplicando diferentes temperaturas;
- Caracterizar a lignina por meio de análises;
- Obtenção da nanolignina por ultrassonificação;
- Caracterizar a nanolignina por meio de análises físico-químicas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Coco Verde

O coqueiro, uma das primeiras plantas domesticadas, é originária do sudeste da Ásia, e atualmente encontrado na Américas do Norte, Central e Sul, Ilhas do Pacífico e África Oriental e Ocidental. As disseminações intercontinentais dos cocos ocorreram provavelmente devido às características do fruto, onde nos estados maduro (marrom e seco) e imaturo (verde), a casca é impermeável e a fibra é densa, tornando o fruto capazes de flutuar nos oceanos (Ignacio e Miguel, 2021).

O coco é o fruto resultante do coqueiro (*Cocos nucifera* L.), uma árvore tropical pertencente à família Arecaceae. O número de espécies de *C. nucifera* não é conhecido definitivamente, no entanto, é composta por três grupos de variantes principais: *C. nucifera* var. *typica* (coqueiro gigante), *C. nucifera* var. *nana* (coqueiro anão), e uma variante híbrida proveniente do cruzamento entre essas duas formas distintas (Ignacio e Miguel, 2021).

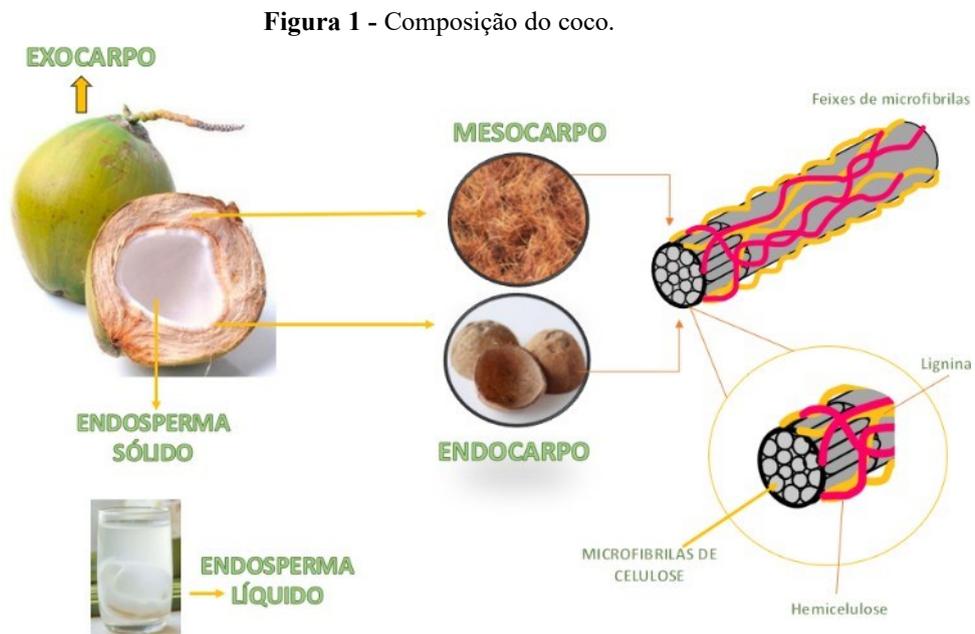
Os coqueiros gigantes são plantas resistentes com crescimento rápido, atingindo alturas entre 20 e 30 metros, no entanto, seu período vegetativo é mais longo, necessitando de aproximadamente 8 a 10 anos para florescer. Em contrapartida, o coqueiro anão tem um estágio vegetativo mais curto, com um tempo estimado de 4 a 6 anos até a floração, e atinge alturas de 10-15m (Wang et al., 2022b; Ridho et al., 2022).

O fruto, que é definido como uma drupa fibrosa, é composto por uma epiderme lisa conhecida como epicarpo ou exocarpo (casca do coco). Sob essa camada externa, encontram-se o mesocarpo (de natureza fibrosa) e o endocarpo (copra, que é a casca que envolve a polpa), que correspondem a 35 e 12% do fruto, respectivamente. Enquanto o endosperma sólido (carne) e endosperma líquido (água) correspondem a 28 e 25% do fruto, respectivamente (San, Aguilar-sierra e Graziella 2023), Figura 01.

O endosperma sólido apresenta diferentes texturas conforme o estágio de maturação: no estágio verde do coco, ele é gelatinoso e translúcido, enquanto no estágio maduro (coco seco), torna-se espesso, rígido e adquire uma coloração branca. Essa porção do fruto também é conhecida por outras designações, como endosperma carnosos, albúmen sólido, castanha, amêndoa, polpa ou pelo termo em inglês "kernel" (Debmandal e Mandal, 2011; Vysakh et al., 2014).

O processo de transformação do coco verde em coco seco ocorre ao longo de cerca de 5 meses enquanto permanece na árvore. O momento de colheita do coco é determinado pelo grau de maturação necessário para sua utilização, seja em nível doméstico ou industrial

(Debmandal e Mandal, 2011).



Fonte: Autora, 2024.

No contexto da extração de água de coco, a colheita é recomendada no início do desenvolvimento do endosperma sólido, quando o teor de água é maior, o teor de endosperma sólido é menor e o sabor é mais agradável devido à concentração mais elevada de açúcares. Esse estágio ocorre aproximadamente no segundo mês após a abertura natural da inflorescência, atingindo seu pico entre o sexto e o oitavo mês (Carvalho et al., 2006; Fontes e Ferreira, 2006). A partir desse ponto, os níveis de açúcar e água começam a diminuir, contribuindo para o amadurecimento completo do coco em torno do décimo segundo mês (Aragão, 2022).

Quando a produção tem como foco produtos derivados de coco maduro (seco), a colheita é recomendada entre o décimo primeiro e o décimo terceiro mês, uma vez que o albúmen sólido já está completamente formado (Martins e Júnior, 2014).

Durante o processo de germinação da semente, que tem lugar em um dos pontos de germinação ou poros, uma porção do embrião cresce na cavidade da semente, resultando na formação de uma substância comestível branca e esponjosa conhecida como haustório, cotilédone, broto do coco, maçã do coco ou pão do coco (Manivannan et al., 2018; Kannaian et al., 2020).

### **3.2 Produção mundial e consumo de coco**

No mercado global, a colheita do coco é principalmente voltada para a produção de copra, cujos principais subprodutos compreendem o óleo e a farinha de coco. Os maiores consumidores de óleo de coco na alimentação são a União Europeia, a Índia e o Vietnã, enquanto as Filipinas e a Indonésia se destacam como os principais produtores de óleo de coco, consumindo cerca de 40% de sua produção em média e exportando o restante, o que os torna os principais exportadores (Rocha et al., 2022).

O Brasil se destaca entre os principais produtores globais, atingindo um rendimento de produção notável de 12.588kg/ha (Faostat, 2021). Esse sucesso está intrinsecamente ligado à aplicação de tecnologias avançadas na cultura do coco. Essas inovações englobam práticas eficientes de manejo e cultivo de plantações de coqueiros, a adoção de sistemas intensivos de cultivo e o plantio de variedades melhoradas, incluindo tipos anões e híbridos. Essas melhorias têm exercido um impacto substancial na produtividade, possibilitando a expansão do cultivo para regiões onde a tradição era anteriormente ausente (Brainer, 2021).

Em 2021, no Brasil, cerca de 187 mil hectares de terra foram dedicados à plantação de coqueiros, com uma produção de aproximadamente 1,6 bilhão de frutos, e um rendimento médio de 8,791 frutos ha<sup>-1</sup>. Entre os estados que se destacam na produção de coco, quatro deles situam-se na região nordeste do país (Bahia, Ceará, Sergipe e Pernambuco), contribuindo com mais da metade da produção total de coco a nível nacional, por conta das condições climáticas favoráveis dessa região litorânea, que contribuem para o seu desenvolvimento (IBGE, 2021).

Como desdobramento direto desse processo, a cocoicultura emergiu como um setor proeminente na criação de oportunidades de emprego e no aumento da renda, desempenhando um papel relevante no desenvolvimento econômico da região produtora (Rodrigues, Martins e Barros, 2018). Além dos benefícios econômicos, o cultivo sustentável dessa palmeira também pode estabelecer um sistema autossuficiente de exploração, o que contribui para a geração de recursos nas comunidades costeiras dos estados nordestinos do Brasil (Vieira e Pinhão Neto, 2021).

### **3.3 Impactos Ambientais do resíduo de coco**

Embora a perspectiva da produção de coco verde seja positiva, surge uma inquietação a respeito da quantidade de resíduos sólidos gerados devido à comercialização do fruto e à sua água. A estimativa aponta para um descarte anual de 1,6 milhão de cocos, o que representa uma quantia significativa. Isso ganha relevância ao considerar que a casca do coco corresponde a

80-85% do peso total do fruto e é composta por material lignocelulósico que se degrada lentamente (Pereira Júnior, 2020; Queiroz, Albuquerque e De Souza, 2021). Esse volume substancial de resíduos é frequentemente descartado de forma inadequada, desobedecendo às diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e resultando em impactos ambientais negativos (Brasil, 2010).

Uma estimativa aponta que cerca de 7 milhões de toneladas de coco são descartadas anualmente no Brasil. Essas cascas de coco, que têm o potencial de serem aproveitadas na produção de diversos produtos, acabam se acumulando, causando inconvenientes para a população local. Esse cenário gera um desconforto de longa duração, uma vez que os resíduos resultantes do descarte dessas cascas de coco pós-consumo demoram aproximadamente 12 anos para se decomporem por completo (Bonamone e Gonçalves, 2019).

A acumulação dos cocos descartados, combinada com a incapacidade de reduzir seu volume devido à dureza, resulta em desafios logísticos e ambientais. Mesmo quando transportados para locais de disposição, devido ao seu longo tempo de decomposição, esses resíduos reduzem a vida útil dos aterros sanitários e dos lixões, pois a cada 125 cocos descartados após a retirada da água, ocupam aproximadamente 1 m<sup>3</sup> de espaço nos aterros (Cintra et al., 2009). Vale destacar que, ao contrário do lixo comum encontrado nas praias, esses cocos não podem ser recolhidos manualmente durante campanhas de conscientização ambiental devido ao seu peso e volume. Além disso, eles podem danificar os recipientes de coleta de lixo, geralmente feitos de plástico, resultando em quebras.

A problemática referente ao acúmulo dos cocos descartados permanece como um desafio a ser abordado, uma vez que isso poderia evitar tanto a poluição visual quanto a contaminação ambiental. Esses resíduos possuem o potencial de se transformarem em matéria-prima para a produção de diversos produtos industriais e artesanais, o que criaria oportunidades de emprego e renda. Adicionalmente, eles podem ser utilizados como insumo agrícola ou como biomassa para geração de energia. Com isso em mente, serão apresentadas algumas formas de agregar valor através da trituração da casca do coco, a fim de extrair suas fibras para fins de reaproveitamento.

### **3.4 Formas de reaproveitamento do resíduo de coco**

Ao explorar as diversas aplicações para a casca do coco verde, revelam-se soluções inovadoras e sustentáveis para o reaproveitamento desse resíduo. O mapeamento sistemático conduzido por Vasconcelos et al., (2021) destaca uma ampla gama de utilizações, evidenciando

a versatilidade desse material. Entre as práticas identificadas, destacam-se compósitos cimentícios, compósitos polietileno de baixa densidade (LDPE), produção de carvão vegetal, processo de adsorção, produção de briquetes, produção de polpa celulósica e, predominantemente, o emprego como substrato agrícola.

A relevância do uso da casca do coco verde como substrato agrícola é notável, representando a maioria das aplicações (75%) conforme apontado por Brito et al. (2018) e Carvalho et al. (2020), tendo essa aplicação destacado-se pela sua contribuição significativa para práticas agrícolas sustentáveis, proporcionando benefícios tanto para o solo quanto para as plantas cultivadas.

Além disso, compósitos cimentícios despontam com uma representatividade significativa, indicando o potencial desse resíduo na produção de materiais de construção e na promoção de alternativas ecoeficientes e a sua diversidade de utilizações ressalta a importância de explorar múltiplos caminhos para o reaproveitamento da casca do coco verde (Capelin et al., 2020).

No contexto específico dos compósitos polietileno de baixa densidade (LDPE), produção de carvão vegetal, processo de adsorção, produção de briquetes e produção de polpa celulósica, os resultados apontam para uma distribuição mais equitativa, indicando que a casca do coco verde pode ser valiosamente incorporada em diferentes setores, contribuindo para a sustentabilidade e redução de impactos ambientais (Wearn et al., 2020).

Há alguns pesquisadores como Gomes et al. (2021) que trazem outra visão no reaproveitamento do resíduo de coco, através de processos fermentativos com a produção de biocombustíveis como o etanol lignocelulósico.

A diversidade nas aplicações evidencia a importância de estudos mais aprofundados para maximizar o aproveitamento desse resíduo, explorando não apenas as aplicações predominantes, mas também investigando novas possibilidades. Essa abordagem holística no reaproveitamento da casca do coco verde não apenas promove a sustentabilidade ambiental, mas também abre portas para oportunidades econômicas e sociais, fortalecendo a relevância desse tema na atualidade.

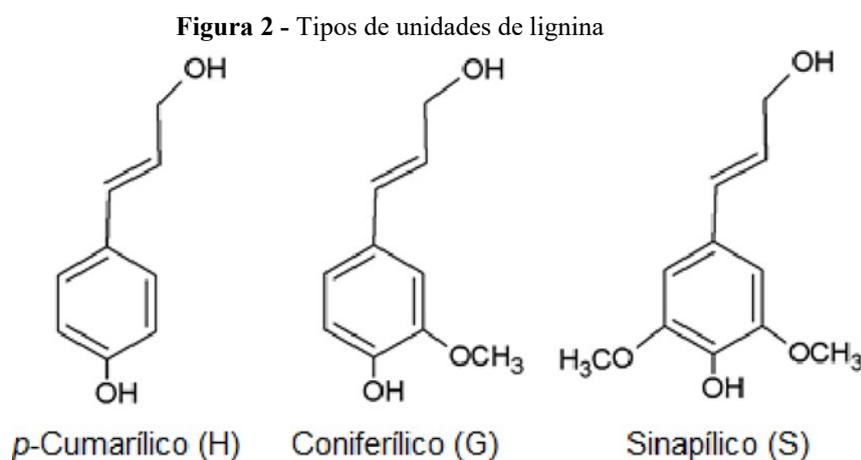
### **3.5 Lignina**

A biomassa lignocelulósica é a matéria-prima orgânica mais abundante do mundo. 90% composição polimérica da lignocelulose é composta por lignina, hemicelulose e celulose. Sendo a lignina o segundo polímero mais abundante encontrado na natureza, ficando atrás apenas da

celulose, e seu descarte inadequado pode resultar em perda de biomassa e significativo impacto ambiental (Dessie et al., 2023). O conteúdo relativo da lignina em biomassa pode variar entre 15 a 40%, possui maior estabilidade térmica e maior energia específica em comparação com a celulose e hemicelulose (Hu, Tan e Xi, 2021).

A palavra “lignina” é derivada da palavra latina “lignum”, que significa “madeira” (Patel et al., 2023). A lignina contém uma estrutura aromática com uma macromolécula amorfa formada por três monômeros de fenilpropano, tornando-a um precursor potencial para a produção de materiais, combustíveis e produtos químicos (Ridho et al., 2022).

A lignina é formada a partir de três tipos de subunidades de álcoois hidroxicinâmicos, conhecidos como monolignóis: o álcool *p*-cumarílico (H), o álcool coniferílico (G) e o álcool sinapílico (S). Esses monolignóis apresentam diferenças estruturais na extensão do radical metila localizado na posição 3' ou 3'-5' dos anéis fenólicos, Figura 02 (Tian et al., 2016). As moléculas precursoras são covalentemente ligadas de diversas maneiras, conferindo à lignina uma notável complexidade estrutural (Solomons, Fryhle e Snyder, 2016).



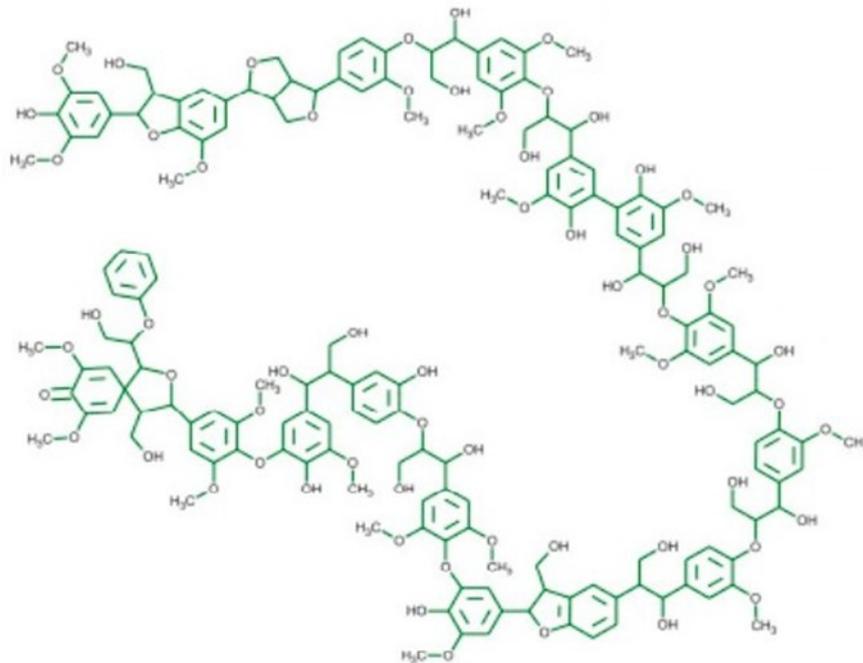
Fonte: Bonfatti Junior (2020).

A estrutura química da lignina e a proporção das três unidades básicas (diferentemente da celulose, varia de acordo com a biomassa precursora, localização, idade da planta, estação climática, métodos de extração e obtenção, dentre outros (Cruz Filho et al., 2023). As três unidades básicas da lignina são conectadas por ligações éter ( $\beta$ -O-4,  $\alpha$ -O-4 e 4-O-5), ligações C-C (5-5,  $\beta$ -5,  $\beta$ - $\beta$ , e  $\beta$ -1), e ligações éster. Sendo a ligação  $\beta$ -O-4 predominante, é responsável por cerca de 50 e 60% das ligações em ligninas de madeira macia e dura, respectivamente (Wang et al., 2022a), Figura 03, no qual a madeira macia e a madeira dura contém de 18 a 25% e 27 a 33% em peso de lignina, respectivamente (Patel et al., 2023).

Podendo ser extraída de resíduos de culturas como trigo, milho, linho, cânhamo, coco, caules de plantas e partes lenhosas de plantas, sendo a fibra de coco e o caule de algodão alguns dos resíduos que contêm maiores teores de lignina, 32,8% e 26%, respectivamente (Khali et al., 2006).

Atualmente, a lignina é utilizada em cosméticos para proteção contra radiação UV, em nutracêuticos, biocidas, bioestabilizadores, materiais de revestimento e como retardante de chamas na indústria de papel, fenóis para atividade antimicrobiana e atividade antioxidante, usada para preparação de biofertilizantes, resinas epóxi e produtos químicos finos semelhantes (Patel et al., 2023).

**Figura 3** - Representação esquemática de uma estrutura de lignina de madeira dura



Fonte: Adaptado de Yáñez-S et al. (2014).

### 3.6 Métodos de extração de Lignina

Os métodos convencionais de separação e extração de lignina incluem principalmente hidrólise ácida/alcalina, enzimático, extração com líquidos iônicos e extração com solventes orgânicos. As técnicas mais comuns de deslignificação conseguem acessar apenas as ligações C-O, que correspondem a cerca de 36-40% do peso total da lignina. A parte complexa da lignina é delimitada pela ligação C-C, a qual geralmente é descartada como resíduo (Dessie et al., 2023).

O processo Kraft, utilizado em aproximadamente 85% das indústrias de celulose e

papel, obtém uma lignina que sofre alterações químicas e estruturais significativas devido as altas temperaturas e elevados pH obtidos pela utilização de reagente como hidróxido de sódio e sulfeto de sódio. A polpação com sulfito também é bastante utilizada para extração da lignina em indústria de celulose e papel, onde as ligações  $\alpha$  e  $\beta$ -éter da lignina são hidrolisadas por hidróxido de sódio com energia térmica durante a reação (Jang et al., 2020). Estima-se que cerca de 100 milhões de toneladas de lignina são produzidas anualmente como subproduto das produções de celulose e papel, sendo a maior parte destinada para produção de energia através da queima (Gracia-Vitoria et al., 2023).

Tratamento enzimáticos são alternativas para o isolamento da lignina sem alterações estruturais significativas. Coquetéis enzimáticos específicos podem aumentar a eficiência da extração da lignina ou deixá-la como resíduo. Os métodos são nomeados e caracterizados pela fase em que o tratamento enzimático é realizado e o estado em que a lignina é isolada, por exemplo, lignina enzimática celulolítica, lignina enzimática de acidólise suave e lignina enzimática residual (Wang e Deuss, 2023).

Líquidos iônicos (LI) consistem em um par cátion e ânion-íon (Wang e Deuss, 2023). Os LIs possuem a capacidade de dissolver parcialmente ou completamente a lignina com alta eficácia de extração. No entanto, a toxicidade dos LIs, alta viscosidade, alto custo, a reciclabilidade a longo prazo e os métodos extensivos de pós-tratamento inibem sua aplicação industrialmente (Mankar, Pandey e Pant, 2022).

A polpação com solventes orgânicos (organossolve) reduz a dependência de álcalis ou ácidos inorgânicos no processo tradicional de polpação além de poderem ser usados para dissolver a lignina nos materiais brutos para atingir o propósito de separação da celulose (Allegretii et al., 2019).

A polpação acetossolv é uma técnica de extração de lignina que faz parte dos processos organossolve. Nesse método, uma mistura de solventes orgânicos, como o acetato de etila ou o etanol, é combinada com água e aquecida até a temperatura de ebulição da mistura. Isso permite a dissolução seletiva da lignina presente na matéria-prima vegetal. Tem como vantagens uma amostra de lignina com alto teor de pureza, baixa degradação, baixo teor de sólidos inorgânicos e ausência de compostos de enxofre. Isso a torna atraente para aplicações industriais que requerem lignina de alta qualidade, como na produção de produtos químicos, materiais avançados e bioplásticos. Além disso, a polpação acetossolv pode ser considerada ambientalmente correta, uma vez que permite a recuperação parcial do solvente utilizado durante a extração da lignina. Isso não apenas reduz o impacto ambiental, mas também pode tornar o processo mais economicamente viável, uma vez que os solventes podem ser

reutilizados (Rodrigues et al 2020).

A Tabela 1 apresenta algumas características da lignina obtidas a partir de diferentes métodos de extração. Nestas características, são pontuadas vantagens e desvantagens de cada metodologia utilizada para obtenção de lignina.

**Tabela 1** - Métodos de extração de lignina

<b>Métodos</b>	<b>Características da lignina</b>
<b>Processo Kraft</b>	Com teor de cinzas de 1-2% é adequado para aplicações de baixo valor agregado; Possui alta concentração de estruturas condensadas com ligações éter fortes e grupos hidroxilica fenólicos; Solubilidade é limitada; Modificado podem ser usados como agentes dispersantes, aditivos e polímeros termorrígidos principalmente em baixo peso molecular;
<b>Tratamento enzimático</b>	Remoção de unidades de carboidratos; Grupos fenólico e ésteres mais reativos; Menor quantidade de produtos químicos; Elevado custo;
<b>Líquidos iônicos</b>	Alta pureza; Compatibilidade com processos químicos menos agressivos; Alto grau de complexidade em sua operação; Necessidade de reciclar e regenerar os líquidos iônicos utilizados;
<b>Polpação organossolv</b>	Alta solubilidade em solventes orgânicos; Insolúvel em água; Baixo teor de carboidratos residuais; Alta qualidade para aplicações de maior valor agregado;

Fonte: Adaptado de Yong e Wu (2023).

### 3.7 Nanolignina

Uma abordagem para contornar a desvantagem da heterogeneidade estrutural ou morfológica das ligninas é convertê-las em nanopartículas de tamanho e forma uniformes. A diversidade de grupos funcionais nessas nanopartículas de lignina pode ser explorada para

diversas aplicações (Rangan et al., 2016). A conversão da lignina em materiais nanoestruturados, é um campo de pesquisa promissor, com o potencial de melhorar significativamente as características de mistura e expandir as aplicações da lignina, como por exemplo uma maior área superficial, melhora na dispersão e compatibilidade com outros materiais (Teh, Tan e Chew, 2021). Nanopartículas de lignina com diferentes morfologias (coloidais lisas, ocas, esféricas e quase esféricas) foram sintetizadas com sucesso controlando as condições de reação do solvente/anti-solvente, a concentração de lignina, a temperatura e o pH da solução, entre outros fatores (Beisl et al., 2017).

As nanopartículas obtidas a partir da lignina por meio de vários métodos de síntese possuem uma área de superfície mais desenvolvida e podem ser modificadas para ter grupos funcionais mais acessíveis, o que são características importantes para aplicações de alto valor (Mishra et al., 2017). Portanto, as nanopartículas de lignina (LNPs) apresentam propriedades aprimoradas ou mais diversas do que as ligninas iniciais (Tortora et al., 2014). Logo, as LNPs podem ser utilizadas em diferentes áreas, incluindo fabricação de compósitos, embalagens de alimentos e medicina, o que tem despertado o interesse de pesquisadores devido à sua renovabilidade, atividade antioxidante e estabilidade térmica (Nair et al., 2014).

Nos últimos anos, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas utilizando a lignina nanoestruturada para a potencialização de suas propriedades e aplicação em processos produtivos. A valorização da lignina, das nanopartículas de lignina e de seus nanocompósitos tem sido extensivamente revisada. Alguns dos estudos mais recentes, tais como de Budnyak et al. (2020) focaram em materiais compostos de lignina-inorgânica e suas aplicações no armazenamento de energia. Mishra et al. (2019) concentraram-se na interação não-covalente e automontagem da lignina, descrevendo brevemente os métodos sintéticos sem mencionar aplicações específicas.

Hussain et al. (2022) discutem algumas aplicabilidades para a nanolignina, como absorvente de luz ultravioleta (UV), relacionando essa propriedade à estrutura núcleo-invólucro gerada a partir dos fragmentos de lignina anfífilos, que pode ser aplicada em embalagens de alimentos por exemplo para prolongar a validade dos alimentos.

A literatura menciona ainda, a utilização da nanolignina como reforço em compósitos, visando aprimorar as propriedades térmicas, a biocompatibilidade e as características mecânicas de polímeros. Quando incorporadas em espumas fenólicas com células de menor tamanho e baixa densidade, elas conferem uma notável resistência à compressão (Hussain et al., 2022). Conforme o estudo realizado por Singh et al. (2022) as nanoestruturas de lignina podem ser usadas para substituir resinas de fenil formaldeído na produção de adesivos com

diversas aplicações comerciais. Já Duval et al. (2014) descreveram a estrutura e o processo de extração da lignina, bem como as aplicações de materiais poliméricos e micro/nanoestruturados à base de lignina.

### **3.8 Métodos de obtenção da Nanolignina**

A produção de nanolignina envolve uma combinação de técnicas físicas e químicas que utilizam diferentes fontes de lignina, como lignina kraft, alcalina e organossolv obtida a partir de diferentes matérias-primas (madeira de conífera, madeira de folhosas ou plantas anuais). Para produção de nanolignina, podem ser listados alguns métodos como: métodos químicos (hidrólise ácida e precipitação ácida), aplicações mecânicas (ultrassonicação e homogeneização), e outros métodos (modificação química, mediada por microrganismos e enzimas, processo de aerossol, etc.) (Mishra et al., 2017).

O método químico, denominado hidrólise ácida, é um dos meios mais comuns para a obtenção de nanolignina. Envolve uma hidrólise ácida da lignina bruta, onde é realizado o tratamento com ácidos fortes, como ácido sulfúrico ou ácido clorídrico, em condições controladas de temperatura e tempo. Quebrando as ligações entre os componentes da lignina e gerando nanoestruturas de lignina. Apesar de muito utilizado, o tratamento ácido pode levar à perda de algumas propriedades funcionais da lignina, resultando dessa forma na limitação da aplicabilidade das nanoligninas (Swiatek, 2020).

Outro método químico utilizado é a precipitação ácida, consiste primeiro na dissolução da lignina em etilenoglicol e, em seguida, soluções aquosas ácidas diluídas são adicionadas à mistura. Isso faz com que a lignina precipite como nanoestruturas. A escolha do solvente e as condições de pH podem ser ajustadas para controlar o tamanho e as propriedades das partículas de nanolignina (Hussin et al., 2022). Os pesquisadores Frangville et al. (2012) foram pioneiros ao descrever a síntese de nanolignina por dois métodos de aquisição catalisada por ácido.

Os métodos mecânicos se destacam por sua capacidade de produzir partículas de lignina em nanoescala com eficiência e possuir uma série de vantagens se comparada a outros métodos, como a obtenção de nanolignina sem comprometer significativamente suas propriedades químicas, além da utilização de solventes menos tóxicos, o que minimiza o uso de produtos químicos perigosos e torna o processo mais ambientalmente amigável (Matsakas et al. 2020).

Dentre os métodos físicos, tem-se a homogeneização de alto cisalhamento, que envolve submeter a lignina a altas forças de cisalhamento, normalmente através de um homogeneizador de alta velocidade. As forças mecânicas quebram o biopolímero em estruturas menores

(nanoescala). Este processo, é comumente usado para dispersar a lignina em várias matrizes e é eficaz na redução do tamanho das partículas (Bello, 2020). Como realizado por Nair et al. (2014), que apresentaram um método de homogeneização de alto cisalhamento de lignina kraft para preparar nanolignina. Enquanto Yaqoob et al. (2021), exploraram quatro velocidades de cisalhamento de homogeneização para controlar o tamanho das partículas de lignina.

Outro método de obtenção da nanolignina é o tratamento ultrassônico que envolve a exposição da lignina a ondas sonoras de alta frequência. Este processo cria bolhas de cavitação no líquido, levando à quebra dos agregados de lignina em nanoestruturas. Isso é particularmente importante quando se deseja preservar características específicas da lignina para aplicações especializadas, como sua capacidade de interagir com outros materiais ou suas propriedades antioxidantes (Kim et al., 2021). Na literatura podemos encontrar trabalhos desenvolvidos sobre este método, a citar:

Totora et al. (2014), avaliaram a modificação estrutural induzida na lignina kraft por diferentes tratamentos ultrassônicos, presença de peróxido de hidrogênio e na presença de éter diglicídico de poli(etilenoglicol). Gilca, Popa e Crestini (2015), utilizaram o método físico por irradiação ultrassônica para obtenção de nanolignina. Gonzalez et al. (2017), prepararam nanopartículas de lignina por tratamento ultrassônico de lignina kraft de madeira macia para obter dispersões de lignina-água com excelente estabilidade coloidal. Yin et al. (2018) prepararam nanopartículas de lignina partir de lignina switchgrass usando o método alcalino assistido por ultrassom

A análise detalhada dos métodos de polpação acetossolv e suas aplicações em materiais lignocelulósicos como a casca do coco, demonstra a importância dessas técnicas no desenvolvimento de processos sustentáveis e na obtenção de compostos de alto valor agregado.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia consistiu, inicialmente, na coleta do resíduo de coco na unidade geradora seguida da sua caracterização. Posteriormente, foi realizado a deslignificação por método organossolv. A lignina obtida foi caracterizada quanto seu teor de umidade, cinzas, lignina de Klason, MEV, FTIR e TG. A obtenção de nanolignina foi realizada por método mecânico de ultrassonicação. Por fim, realizou-se a caracterização da nanolignina por potencial zeta e distribuição do tamanho das partículas.

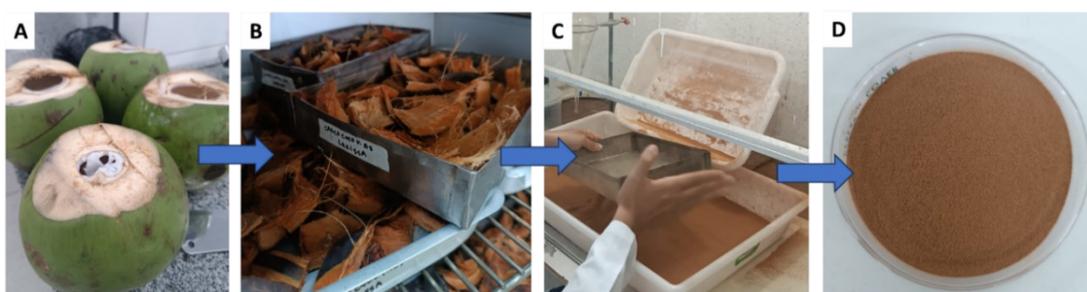
#### 4.1 Coleta dos resíduos e obtenção da farinha da fibra do coco

Os resíduos do coco verde (*Cocos sp.*) foram coletados nas imediações da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, de ambulantes locais que atuam no comércio de água de coco. Esses resíduos eram compostos por toda a estrutura do coco, comumente intitulada exocarpo, mesocarpo e endocarpo, com exceção da água e da polpa. Os resíduos foram coletados no mesmo dia em que a água foi consumida para evitar que o processo fosse realizado em um material já em estado de decomposição avançado (para evitar a alteração de suas características).

Inicialmente a parte externa do coco foi lavada em água corrente para evitar contaminação de alguma sujidade no material final, em seguida as amêndoas dos cocos foram removidas e suas cascas e fibras foram cortadas a fim de se reduzir o tamanho da partícula, aumentando dessa forma a eficiência e rapidez do processo de secagem.

Os resíduos dos cocos higienizados e com tamanho reduzido foram então submetidos ao processo de secagem em estufa com circulação de ar forçado (inox digital 7Lab 1152 Litros 220v) por 72 horas. Em seguida as fibras foram trituradas em micro moinho de facas (Marconi, Mod. MA680), peneiradas em uma peneira granulométrica de 40 mesh para uniformização das partículas, acondicionadas em recipientes plásticos e mantidas em local seco e sem iluminação, Figura 04.

**Figura 4-** Processo resumido de obtenção da farinha de coco verde. A) Resíduo *in natura*, B) Resíduo seco, C) Peneiramento da farinha após trituração, D) Farinha da casca e fibra de coco verde.



Fonte: Autora, 2024.

#### 4.2 Caracterização da farinha da fibra do coco

##### 4.2.1 Determinação de extrativos totais

Na determinação de extrativos totais, pesou-se entre 2 a 5g da amostra de biomassa moída em cartucho de papel de filtro, o qual foi submetida ao processo de extração em aparelho Soxhlet, usando uma combinação de solventes hexano/etanol na proporção de 2:1 por 5h,

metodologia adaptada de Chen et al. (2016). A combinação de solventes é necessária para garantir a remoção de diferentes combinações possíveis dessas moléculas, pois os extrativos representam um grande número de biomoléculas. Depois do processo de extração a amostra é mantida em estufa, seguido do resfriamento em dessecador até a temperatura ambiente, até a massa constante. O percentual de extrativos total é determinado por meio da equação 1, apresentada abaixo:

$$\%TE = \frac{MRE - MRRS}{MA} \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

%TE = teor de extrativos em percentual;

MRE = massa do conjunto recipiente/extrativos;

MRRS = massa do conjunto recipiente/resíduos de solvente;

MA = massa da amostra.

#### 4.2.2 Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado para as amostras de biomassa *in natura*, a amostra foi transferida para cadinhos de porcelana, previamente identificados e tarados. Em seguida, a amostra é levada a mufla, sendo aquecida até a temperatura de 550°C por 5h, metodologia adaptada de Araújo et al. (2006) e Hojo et al. (2008). O percentual de cinzas na amostra é calculado utilizando a equação 2.

$$\%TC = \frac{MRRA - MR}{MA} \cdot 100$$

Equação 2

Onde:

%TC = teor de cinzas em percentual;

MRRA = massa do conjunto recipiente/resíduo de amostra;

MR = massa do recipiente;

MA = massa da amostra.

### 4.2.3 Determinação do teor de lignina

O teor de lignina foi determinado para as amostras de biomassa sem extrativos a partir da adaptação da metodologia descrita por Gouveia et al. (2009), onde 2g da amostra moída, seca e sem extrativos, é transferida para um béquer de 100mL e adicionado 10mL de ácido sulfúrico 72% (v/v), sob agitação vigorosa com bastão de vidro, em um banho termostático a 45°C por 7 min. Depois de transcorrido o tempo a reação é interrompida com a adição de 50mL de água destilada, e a amostra transferida quantitativamente para um erlenmeyer de 500mL, e em seguida acrescentado 225mL de água destilada. A solução com volume total de 275mL é levada à autoclave por 30min a 121°C para que a hidrólise dos oligômeros restantes seja realizada.

Após a descompressão da autoclave, os erlenmeyer foram resfriados à temperatura ambiente, sendo a mistura reacional filtrada e o material insolúvel retido no papel de filtro foi lavado com 1500mL de água destilada para remoção de ácido residual e ajuste do pH, para próximo da neutralidade. Depois de lavado o material insolúvel é seco em estufa à temperatura de 100°C até massa constante. O percentual de lignina é obtido por meio da equação 3.

$$\%TL = \frac{MLI-MC}{MA} \cdot 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

%TL = teor de lignina em percentual;

MLI = massa de lignina insolúvel;

MC = massa de cinzas;

MA é a massa da amostra.

### 4.2.4 Determinação do teor de umidade

Aproximadamente 2g da amostra foram transferidos para cápsulas previamente aferidas e levadas a estufa a 105°C por 2h, ou até peso constante, em seguida resfriadas em dessecador por 30 minutos e pesados. O percentual de umidade é então definido tendo como base a perda de massa em relação a amostra inicial, conforme equação 4.

$$\%TU = \frac{MRA-MR}{MA} \cdot 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

%TU = teor de umidade em percentual;

MRRA = massa do conjunto recipiente/resíduo de amostra;

MR = massa do recipiente;

MA = massa da amostra

#### 4.2.5 Determinação do teor de holocelulose, alfacelulose e hemicelulose

Para determinação do teor de holocelulose (TAPPI T 203 em 99, 2009), 3g da farinha, sem extrativos, e 120 mL de água destilada foram adicionados em um Erlenmeyer de 500 mL. Em uma capela de exaustão foram acrescentados 2,5 g de clorito de sódio ( $\text{NaClO}_2$ ), 1 mL de ácido acético glacial, tampado com um Erlenmeyer de 25 mL e levado a banho-maria, sob agitação e temperatura constante de  $70 \pm 2$  °C, por uma hora. Após esse tempo, foram adicionados mais 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético, e a temperatura de  $70 \pm 2$  °C foi mantida por mais uma hora. Findo esse tempo, adicionou-se, mais uma vez, 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético, e o material foi mantido em aquecimento no banho por mais três horas. Em seguida o recipiente permaneceu em banho de por 30 minutos.

O conteúdo foi filtrado em funil de vidro sinterizado previamente tarado. O precipitado recolhido no funil deve ser enxaguado até que o filtrado tenha um pH próximo ao da água utilizada. Posteriormente adicionou-se de 10 a 20 mL de acetona e em seguida o material foi lavado em abundância com água destilada. O funil, foi então levado para uma estufa a  $105 \pm 2$  °C e secado até adquirir um peso constante. Após a secagem, o conjunto funil-holocelulose foi colocado em um dessecador com agente desecante, por 30 minutos, para atingir a temperatura ambiente, e o funil contendo a holocelulose foi pesado em uma balança analítica. Os teores de holocelulose e holocelulose corrigido na amostra são definidos conforme as equações 5 e 6, respectivamente.

$$\%TH = \frac{MFH-MF}{MA} \cdot 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

%TH = teor de holocelulose;

MFH = massa do conjunto funil + massa de amostra seca;

MF = massa do funil;

MA = massa da amostra.

$$\%TH_{\text{corrigido}} = \%TH \cdot \frac{100 - \%TU}{100} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$\%TH_{\text{corrigido}}$  = teor de holocelulose corrigido;

$\%TH$  = teor de holocelulose;

$\%TU$  = teor de umidade.

O teor de alfacelulose é determinado a partir da amostra holocelulose (TAPPI T 203 Cm 99, 2009), deve-se pesar aproximadamente 1g, e transferir para um almofariz com uma solução de hidróxido de sódio, aguardar 2 min de contato, e, então, triturar a amostra por 8 min. Transcorrido esse tempo, adiciona-se água destilada e o material é transferido para um funil, o precipitado do funil deve então ser lavado até que o pH fique próximo ao da água utilizada. O conjunto funil/amostra deve então ser levado para estufa a 105°C, e seco até atingir massa constante. O percentual de alfacelulose na amostra e alfacelulose corrigido são definidos conforme equações 7 e 8, respectivamente.

$$\%TA = \frac{MFA - MF}{MAH} \cdot 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$\%TA$  = teor de alfacelulose;

MFA = massa do conjunto funil/amostra;

MF = massa do funil;

MAH = massa da amostra de holocelulose.

$$\%TA_{\text{corrigido}} = \frac{\%TH_{\text{corrigido}} \cdot \%TA}{100} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$\%TA_{\text{corrigido}}$  = teor de alfacelulose corrigido;

$\%TH_{\text{corrigido}}$  = teor de holocelulose corrigido;

$\%TA$  = teor de alfacelulose.

O valor do teor percentual corrigido de hemicelulose é determinado por meio do cálculo da diferença entre os valores de holocelulose e alfacelulose conforme a equação 9.

$$\%TheC_{\text{corrigido}} = \%TH_{\text{corrigido}} - \%TA_{\text{corrigido}}$$

Equação 9

Onde:

$\%TA_{\text{corrigido}}$  = teor de alfacelulose corrigido;

$\%TH_{\text{corrigido}}$  = teor de holocelulose corrigido;

$\%TheC_{\text{corrigido}}$  = teor de hemicelulose corrigido.

#### 4.2.6 Determinação do Rendimento

A equação abaixo descreve o cálculo do rendimento de lignina extraída em uma base seca (%), onde  $LA$  é o rendimento de lignina extraída em uma base seca (%),  $M_L$  é a lignina recuperada obtida após a precipitação em uma base seca (g), e  $M_{IL}$  é a massa inicial (base seca) de lignina nas fibras antes do processo (g) (Marques et al., 2021).

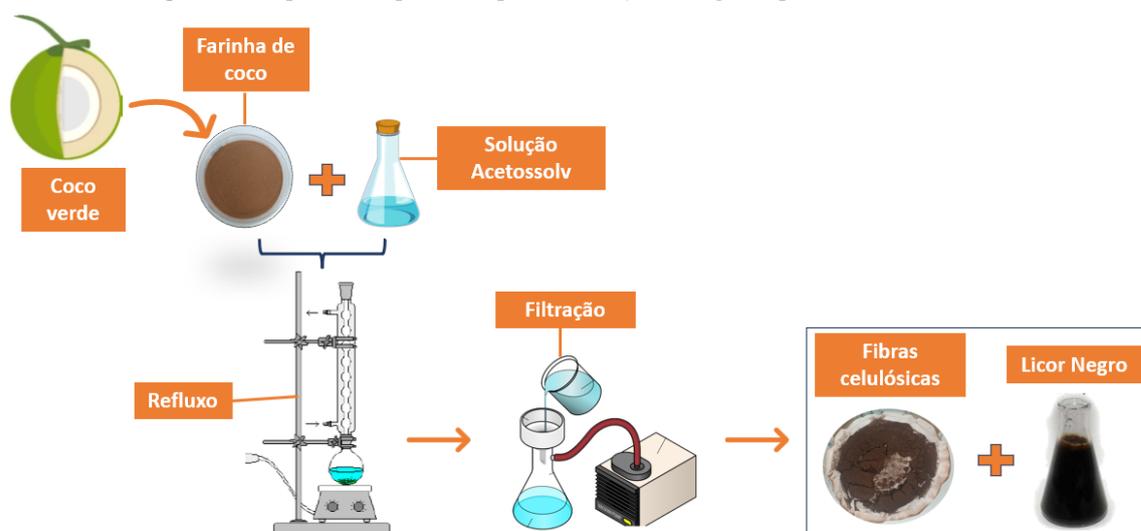
$$LA(\%) = \left( \frac{M_L}{M_{IL}} \right) \times 100$$

Equação 10

#### 4.3 Polpação Acetossolv

O processo de polpação acetossolv foi realizado para a extração e obtenção da lignina. 8g da biomassa sem extrativos foram adicionadas a 120 mL de solução acetossolv (ácido acético 93% m:m, ácido clorídrico 0,3% m:m, água destilada 6,7% m:m), numa relação biomassa solvente de 1:15 m:v (adaptado de Benar et al., 1992 e Nascimento et al., 2016). O sistema permaneceu em refluxo em balão de fundo chato, à pressão atmosférica e a temperatura de 120°C, após a ebulição da mistura foi mantido por 3 horas. A polpa resultante foi filtrada em papel de filtro com o auxílio de uma bomba a vácuo, para separação das fibras celulósicas e do licor negro ácido contendo a lignina, Figura 05.

**Figura 5-** Esquema simplificado para a extração da lignina por método acetossolv.



Fonte: Autora, 2024.

Para avaliar o aumento no rendimento de lignina, foi realizada uma polpação acetossolv com duas etapas de extração, conforme a metodologia anteriormente descrita, onde após a filtração e obtenção das fibras celulósicas, estas fibras foram submetidas ao processo acetossolv novamente, para otimizar a remoção de lignina do material. Optou-se pela biomassa *in natura* ao invés da biomassa sem extrativos, devido à falta de diferenças significativas observadas durante a caracterização da lignina obtida, consequentemente reduzindo os custos do processo com a eliminação da etapa de pré-tratamento. A condição utilizada no processo foi a de menor temperatura (100 °C) para reduzir o consumo energético.

#### 4.4 Obtenção da lignina

O licor negro obtido na etapa descrita no tópico 4.3, foi rotaevaporado a 60°C, para a concentração do volume do licor em até 10 vezes e para a recuperação da solução acetossolv. A lignina resultante do processo foi precipitada em água destilada quente (80°C) em uma proporção de 1:10 em volume de lignina rotaevaporada para água destilada utilizada na precipitação.

A mistura foi deixada em repouso a temperatura ambiente por 24 horas. Em seguida foi realizada a filtragem a vácuo em funil de Buchner e papel de filtro e lavada com água destilada até atingir o pH da água de lavagem. O material obtido foi seco em estufa a 60°C durante 24 horas e armazenado em dessecador a vácuo por aproximadamente 30 minutos (Nogueira, 2016), Figura 06.

Posteriormente, a lignina obtida foi caracterizada em seu teor de umidade, cinzas,

lignina de Klason, FTIR, MEV e TG.

**Figura 6-** Esquema simplificado da precipitação da lignina.



Fonte: Autora, 2024.

## 4.5 Caracterização da lignina obtida

### 4.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O estudo da morfologia da lignina foi conduzido no Laboratório de Química do Instituto Federal de Alagoas - campus Maceió, utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca TESCAN. Para a preparação das amostras, foram utilizadas tiras finas de carbono em um porta-amostra circular de aço.

O processo de preparo das amostras envolveu a remoção da umidade a uma temperatura de 105°C. Em seguida, as amostras foram metalizadas em um metalizador com alvo de platina por 3 minutos, seguido pela aplicação de alvo de ouro durante 5 minutos com correntes de 10 mA.

O MEV foi operado a 5 kV com ampliação de foco variando de 457 a 1800 vezes. Foram utilizados campos de visão entre 454  $\mu\text{m}$  e 115  $\mu\text{m}$ , com escalas de 100  $\mu\text{m}$  e 20  $\mu\text{m}$  para visualização das fotomicrografias. A varredura do material foi realizada em diferentes pontos, com ampliações variando entre 300 e 4000 vezes.

### 4.5.2 Análise Termogravimétrica (TG)

A análise térmica da lignina foi realizada no Laboratório de Química do Instituto Federal

de Alagoas, localizado no campus de Maceió, utilizando um analisador termogravimétrico TGA-SHIMADZU. Para este estudo, foi utilizada uma amostra de 4 a 13 mg de lignina, cujo peso inicial foi estabilizado a 25°C antes do início da análise. A curva de aquecimento foi programada para aumentar a temperatura a uma taxa constante de 10°C por minuto até atingir 900°C, sendo todo o procedimento realizado em atmosfera de nitrogênio para evitar reações indesejadas.

O processo completo de análise termogravimétrica demandou em média 90 minutos, incluindo um período adicional de 30 minutos para o resfriamento do equipamento após o término da análise. As curvas de termo decomposição foram adquiridas por meio de um microcomputador conectado ao instrumento, utilizando o software TA-60 WS SHIMADZU, que permitiu a captura dos dados a uma taxa de um ponto a cada 0,5 segundos, garantindo uma alta resolução na obtenção dos resultados.

#### **4.5.3 Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)**

Na análise térmica da lignina realizada no Laboratório de Química do Instituto Federal de Alagoas - campus Maceió, também foram utilizados o espectrofotômetro Shimadzu e o FTIR IRAffinity-1 da Shimadzu. O espectroscópio operou com uma faixa de comprimento de onda de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  e realizou 64 scans.

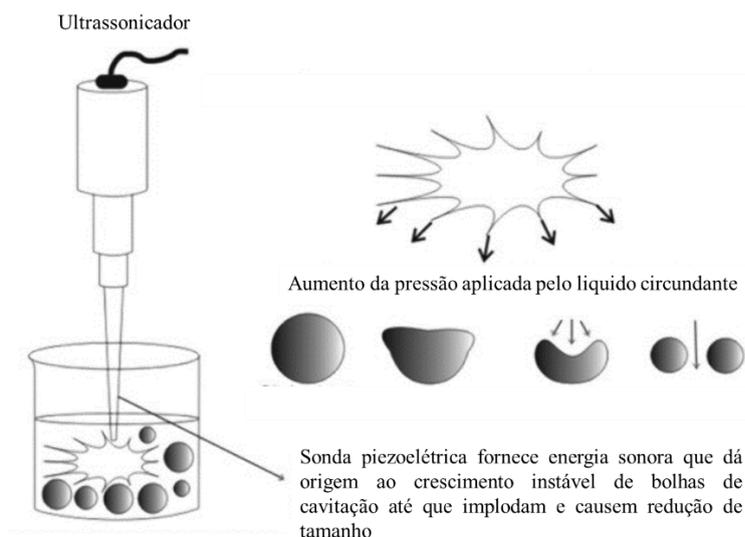
#### **4.5.4 Determinação dos teores de umidade, cinzas e lignina klason**

Estes parâmetros foram determinados de acordo com as metodologias descritas em 4.2.2, 4.2.3 e 4.2.4.

#### **4.6 Obtenção da nanolignina**

A lignina obtida pelo processo de polpação acetossolv, foi suspensa em água e então submetida a intensa ultrassonicação por 20 minutos (adaptado de Rani e Venkatachalam, 2022) como esquematizado na Figura 07. A nanolignina obtida foi então estocada sob refrigeração para caracterização, quanto ao potencial zeta e distribuição do tamanho das partículas.

**Figura 7-** Redução do tamanho das partículas por meio de ultrassonicação.



Fonte: Adaptada de Sing et al., 2017.

## 4.7 Caracterização da nanolignina

### 4.7.1 Espalhamento Dinâmico da Luz (DLS)

As amostras foram diluídas na proporção de 500  $\mu\text{L}$  para 25 mL e submetidas a ultrassom de ponteira por 3 minutos a 200W. O tamanho das nanoligninas foi então medido a uma temperatura de 25°C usando um analisador de distribuição de tamanho de partículas por espalhamento dinâmico de luz, o modelo Zetasizer Nano (ZS Malvern Instruments Ltda.; Reino Unido). A análise foi realizada no laboratório da Embrapa instrumentação em São Carlos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram subdivididos em cinco etapas principais: caracterização da farinha de coco obtida, extração da lignina pelo método acetossolv, caracterização da lignina obtida, obtenção da nanolignina por método mecânico e por fim a caracterização da nanolignina obtida. A caracterização lignocelulósica teve como objetivo revelar os componentes presentes na fibra e demonstrar a viabilidade de utilização da fibra de coco para obter a lignina. O processo de extração foi eficaz na remoção da lignina, sendo o método acetossolv o escolhido para esta finalidade.

### 5.1 Caracterização Físico-química

Caracterizou-se a farinha quanto aos componentes primários, tais como teor de lignina, celulose e hemicelulose que compõem o material lignocelulósico presentes na casca e fibra do coco verde. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos desta caracterização.

**Tabela 2** - Caracterização dos componentes primários do coco.

<b>Composição Química (%)</b>				
<b>Biomassa</b>	<b>Lignina</b>	<b>Celulose</b>	<b>Hemicelulose</b>	<b>Referências</b>
<b>Casca e fibra do coco verde</b>	40,0 ± 0,5	15,9 ± 1,5	15,86 ± 0,33	Este trabalho
<b>Fibra de coco</b>	32,8	28,0	15,0	Mankar, Pandey e Pant, 2022
<b>Fibra do coco</b>	32,2	37,9	23,0	Marques et al., 2022
<b>Fibra do coco</b>	32,2 ± 0,3	27,9 ± 1,5	23,9 ± 0,1	Nascimento et al., 2021
<b>Casca do coco verde</b>	23,21 ± 0,58	28,34 ± 0,06	18,09 ± 0,38	Bronzato, 2021
<b>Casca do coco verde</b>	35,7 ± 1,3	32,79 ± 0,63	15,97 ± 1,52	Nogueira, 2017
<b>Casca do coco verde <i>in natura</i></b>	40,1	24,7	12,3	Cabral et al., 2017
<b>Fibra do coco verde</b>	35,1 ± 2,2	31,6 ± 0,4	25,5 ± 0,4	Nascimento et al., 2016

<b>Fibra bruta de coco</b>	31,84 ± 0,48	38,44 ± 0,7	24,54 ± 0,15	Basu et al., 2015
<b>Casca do coco verde</b>	26,88	32,88 ± 0,88	26,50 ± 0,45	Gonçalves et al., 2014
<b>Casca e Fibra do coco verde</b>	35,0 a 45,0	23,0 a 43,0	3,0 a 12,0	Silva, 2014
<b>Diferentes cultivares de <i>Cocos nucifera</i></b>	37,2 ± 0,8 a 43,9 ± 0,7	31,5 ± 0,1 a 37,4 ± 0,5	-	Corradine et al., 2009

Fonte: Autora, 2024.

O teor de lignina da casca e fibra do coco mostra-se elevado quando comparado a outras biomassas, como 20-23% para o bagaço de cana-de-açúcar (Rodrigues et al., 2020), 10,2 a 18,6% para a fibra de bananeira (Albinante et al. 2012), 24,1% madeira bruta de eucalipto (Dong et al. 2023). Assim, a casca e fibra do coco se apresentam como uma fonte rica em lignina quando comparada a outros materiais lignocelulósicos. É importante notar que a pesquisa aprimorou a extração da lignina ao unir as estruturas da fibra e da casca, o que resultou em uma maior eficiência no processo.

No que se refere ao teor de hemicelulose, os valores obtidos neste trabalho (15,86%) está dentro da faixa dos valores apresentados por outros estudos, 3-26,5% (Silva, 2014; Gonçalves, 2014). No entanto, o teor de celulose obtido, 15,90%, está abaixo dos valores encontrados na literatura. A divergência entre os teores desses biopolímeros deve-se, provavelmente, a diferença dos cultivares, condições de cultivo e localização geográfica.

Os componentes secundários também foram analisados como no caso da farinha derivada da secagem e moagem da casca e fibra de coco verde, que foi analisada para caracterização físico-química, abrangendo o teor de umidade, cinzas, proteínas e extrativos presentes na amostra. A compreensão da composição dessas partes do coco é crucial para elucidar as propriedades da farinha obtida, e essa análise é especialmente valiosa quando consideramos os dados obtidos em referências prévias.

Os resultados revelaram uma notável variabilidade nos componentes secundários entre as diferentes partes do coco verde. Por exemplo, os teores de extrativos variam de acordo com as fontes: a casca e fibra do coco verde apresentam um teor médio de  $8,17 \pm 1,43\%$ , enquanto resultados anteriores indicam valores distintos para a casca do coco verde *in natura* (2,6%, Cabral et al., 2017) e para a casca do coco verde analisada por Bronzato (2021), atingindo  $19,26 \pm 1,61\%$ . Essa diversidade sugere diferenças significativas nas composições químicas das

diferentes partes do coco.

A umidade, um fator essencial para a estabilidade do produto, também varia entre as fontes. Enquanto a fibra do coco verde apresenta uma umidade mais elevada, oscilando em torno de 10,5% (Melo, 2013), a casca do coco verde *in natura* exibe um valor mais baixo, com 9,22% (Souza, 2009). Essas discrepâncias indicam a necessidade de considerações específicas durante o armazenamento da farinha, dependendo da fonte do material.

No que diz respeito às cinzas, os resultados variam de acordo com a parte do coco. A casca do coco verde apresenta uma faixa entre 0,98% e 4,56%, enquanto a fibra do coco verde possui um valor mais baixo, com  $1,8 \pm 0,02\%$  (Melo, 2013). Essa diversidade sugere diferentes níveis de minerais nas partes analisadas, impactando diretamente na composição nutricional e nas potenciais aplicações da farinha.

As proteínas, outro componente crucial, variam de 3,46% a 8,27%. A casca e fibra do coco verde se posicionam dentro dessa faixa, indicando uma contribuição significativa desse componente à farinha (Monteiro, 2010). A variação nos teores de proteínas destaca a importância da farinha como uma possível fonte nutricional, influenciando suas aplicações em diferentes contextos, como na indústria alimentícia.

Em síntese, a análise dos componentes secundários, considerando as referências prévias, proporciona uma visão abrangente da composição da farinha de coco verde. Essa abordagem não apenas enriquece a compreensão das propriedades do produto, mas também valida e contextualiza os resultados deste trabalho, contribuindo de forma substancial para a dissertação em questão.

## 5.2 Rendimento da Lignina Acetossolv

De acordo com as análises quantitativas para determinação da composição química e expostas na Tabela 3, a lignina acetossolv proveniente da casca e farinha de coco *in natura* apresentou um rendimento médio de 13,86%. Apesar deste resultado diferir de alguns outros na literatura, a diferença justifica-se por terem sido obtidas com diferentes parâmetros.

**Tabela 3** – Extração de lignina após método acetossolv

Tipo de biomassa	Temperatura (°C)	Rendimento Acetossolv (%)
FCIN	100	$13,89 \pm 4,35$
FCIN	120	$11,39 \pm 0,69$
FCSE	100	$14,09 \pm 1,075$
FCSE	120	$16,07 \pm 1,07$

Fonte: Autora, 2024.

Os rendimentos de lignina foram investigados em duas condições de temperatura (100°C e 120°C) para duas amostras diferentes: farinha de coco *in natura* (FCIN) e a farinha de coco sem extrativos (FCSE). Os resultados apresentados indicam uma tendência interessante nos rendimentos de lignina. Em geral, a remoção dos extrativos da biomassa, representada pela FCSE, resultou em rendimentos mais altos em comparação com a FCIN. Além disso, observou-se que a temperatura de tratamento de 120°C tendeu a resultar em rendimentos mais altos para FCSE, enquanto para FCIN, houve uma diminuição nos rendimentos a essa temperatura. No entanto, uma análise de variância (ANOVA) realizada nos dados revelou que não houve diferença significativa entre as condições variadas para a extração de lignina da casca e fibra do coco verde. Isso sugere que, estatisticamente, as variações nos parâmetros de extração não tiveram um impacto mensurável nos rendimentos de lignina.

Nascimento et al. (2016) identificaram um rendimento de lignina acetossolv proveniente da fibra do coco de aproximadamente 30%, o que é superior ao rendimento encontrado nesta pesquisa. No entanto, eles destacaram que o processo foi realizado sob agitação constante, o que pode justificar a diferença no rendimento obtido.

Verçosa et al. (2019) alcançaram um notável rendimento de 98% na extração de lignina a partir do tegumento de manga. A alta eficiência desse processo pode ser atribuída ao tipo de biomassa utilizada, que parece apresentar fibras menos resistentes e mais disponíveis para a extração empregada, a metodologia utilizada foi muito similar a aplicada nesta pesquisa.

O estudo realizado por Marques et al. (2022) revelou um rendimento de lignina da fibra do coco extraída de 13,88%, um resultado muito semelhante ao obtido nesta pesquisa. Utilizando um planejamento experimental fatorial 2<sup>3</sup>, os pesquisadores concluíram que o processo acetossolv apresenta um rendimento otimizado em temperaturas inferiores a 200°C. No entanto, os resultados apresentados pelo autor demonstram que a aplicação de temperaturas mais elevadas do que aquelas empregadas nesta pesquisa resulta em um rendimento superior de lignina. Essa descoberta tem implicações significativas para a otimização dos processos de extração de lignina e destaca a importância de considerar diferentes condições operacionais para alcançar os melhores rendimentos em aplicações industriais e ambientais.

### **5.3 Teores de Umidade, Cinzas e Lignina Klason**

A pureza da lignina foi determinada utilizando a análise da lignina de Klason, juntamente com os valores de cinzas e umidade da amostra. Essa abordagem permite uma

estimativa mais precisa da pureza da lignina, uma vez que leva em consideração fatores importantes na biomassa, que podem afetar os resultados da análise de lignina de Klason se não forem corrigidos.

A Tabela 4 apresenta os resultados da extração de lignina da biomassa de fibra de coco verde (FC) utilizando o método acetossolv em duas temperaturas diferentes (100°C e 120°C). Os resultados estão expressos em termos de umidade (%) da amostra, cinzas (%) e teor de lignina de Klason (%).

**Tabela 4** – Caracterização Química da Lignina

<b>Tipo de biomassa</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Lignina Klason (%)</b>
LCIN	100	5,32 ± 0,29	0,55 ± 0,26	78,82 ± 0,81
LCIN	120	2,47 ± 0,17	0,58 ± 0,27	80,93 ± 0,25
LCSE	100	5,86 ± 0,51	0,45 ± 0,26	78,2
LCSE	120	5,76 ± 0,71	0,50 ± 0,28	80,94 ± 5,12

Fonte: Autora, 2024.

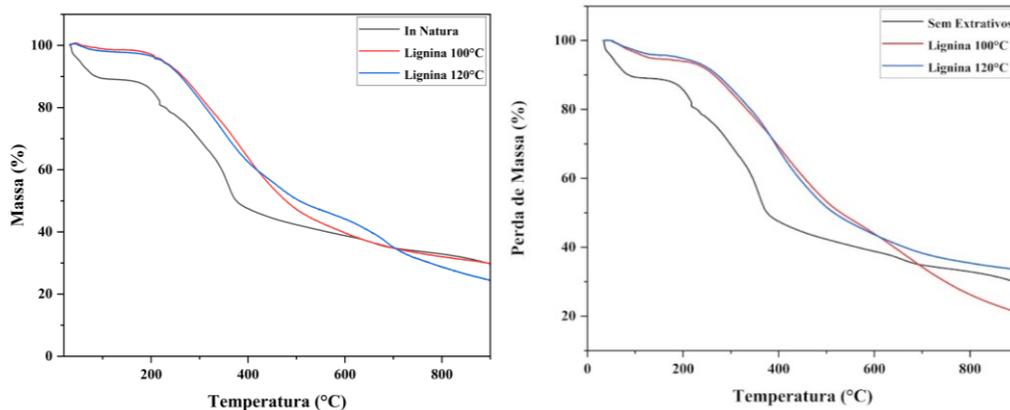
Verçosa et al. (2019) descobriram que a lignina de Klason presente em suas amostras alcançou um teor de 88%, evidenciando um alto grau de pureza na lignina obtida do Tegumento de Manga. Esse valor é comparável ao encontrado na presente pesquisa, sugerindo uma consistência nos resultados quanto à pureza da lignina extraída.

#### **5.4 Análise Termogravimétrica (TG) da Lignina**

A Análise Termogravimétrica (TG) é uma técnica crucial para avaliar a estabilidade térmica das ligninas pois mensura sua perda de massa por unidade de tempo, tornando essa técnica relevante principalmente em aplicações industriais sujeitas a altas temperaturas. Essa diminuição da massa ocorre por conta da degradação de alguns compostos presentes na lignina, tais como fenóis e derivados fenólicos, ácidos carboxílicos, aldeídos e cetonas (Wang et al., 2018).

Na Figura 08, podemos observar a variação de massa das amostras em função do aumento da temperatura.

Figura 8– Análise Termogravimétrica das amostras (a) LCIN, (b) LCSE



Fonte: Autora, 2024.

No termograma resultante, observam-se eventos de perda de massa que refletem diferentes processos térmicos na amostra. Inicialmente, é observada uma diminuição na massa em torno de 50°C na farinha precursora, indicando a liberação de umidade ou solventes residuais à medida que a amostra é aquecida (Freitas et al., 2022). Este evento é observável tanto na farinha *in natura* quanto na farinha sem extrativos. No entanto, o primeiro evento nas amostras de lignina obtidas por diferentes parâmetros ocorre apenas por volta de 200 °C.

Próximo da temperatura de 200°C, pode ocorrer um segundo evento de perda de massa, sugerindo a decomposição ou volatilização de compostos mais leves presentes na amostra. À medida que a temperatura aumenta, em torno de 400°C, um terceiro evento de perda de massa é identificado, provavelmente associado à decomposição de componentes mais pesados ou à queima de resíduos orgânicos.

Os perfis térmicos de todas as ligninas mostram-se, de modo geral, semelhantes. Após esse ponto, a curva de TG tende a se estabilizar, indicando a ausência de eventos significativos de perda de massa. Esta estabilização sugere que a amostra atingiu uma temperatura na qual sua decomposição é mínima ou não ocorre mais.

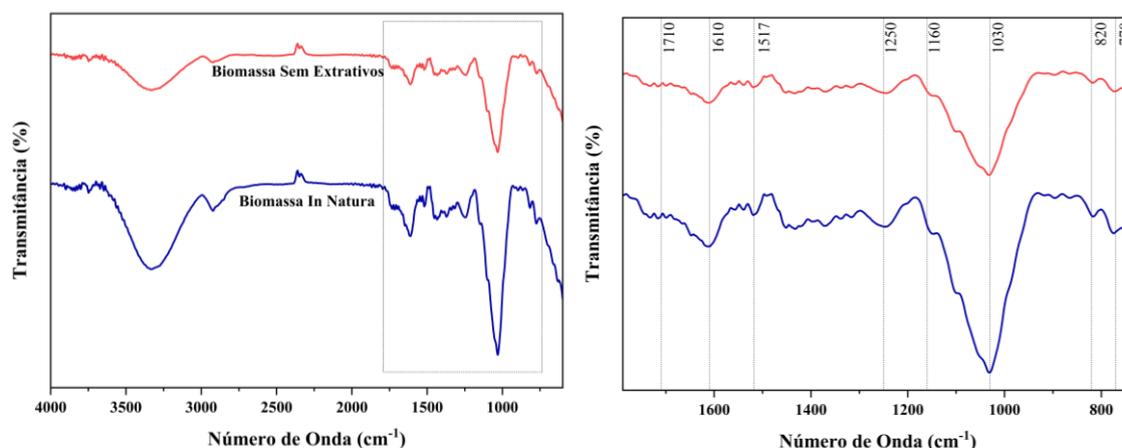
### 5.5 Análise de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) da Lignina

A obtenção da lignina pelo processo acetossolv foi seguida por uma análise detalhada através da espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). A interpretação dos picos obtidos revela informações valiosas sobre a composição e estrutura da lignina produzida.

Na Figura 09 podemos visualizar a análise de FTIR referente a biomassa precursora, onde podemos destacar picos significativos na faixa de 3700 a 3000  $\text{cm}^{-1}$ . Esses picos correspondem às vibrações de estiramento dos grupos alifáticos e fenólicos -OH, indicando a

formação de ligações de hidrogênio (Marques et al., 2021).

**Figura 9**– Espectro infravermelho da biomassa



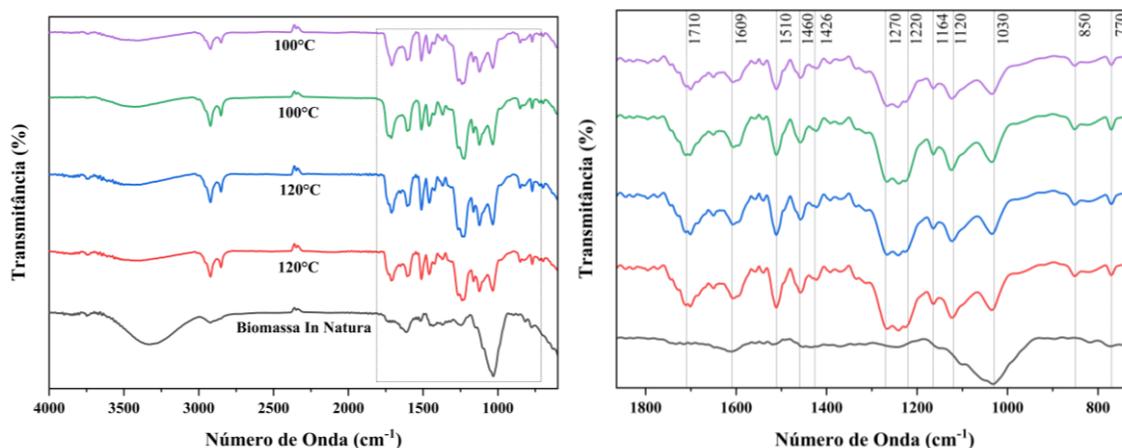
Fonte: Autora, 2024.

A investigação comparativa entre a forma *in natura* e a variante submetida ao pré-tratamento, com foco na remoção de extrativos evidenciou mudanças perceptíveis no precursor. O estudo teve como objetivo determinar se o precursor seria substancialmente modificado após o pré-tratamento, uma etapa considerada crucial na preparação para a polpação acetossolv, como descrito na literatura (Chin et al., 2020). Os resultados obtidos a partir do espectro de FTIR do precursor indicam uma diminuição na intensidade do pico em 1030 cm<sup>-1</sup>, sugerindo a efetiva remoção de ceras, resinas e outros constituintes durante o processo de pré-tratamento conduzido no equipamento Soxhlet (Ramezani et al., 2018).

Apesar das alterações, os picos característicos permaneceram semelhantes, conforme mostrado na Figura 09, indicando que a amostra, de maneira geral, não sofreu mudanças significativas. Isso respalda a eficácia do pré-tratamento em remover componentes indesejados, preservando as características essenciais do precursor (Thoresen et al., 2020). No entanto, sugere a viabilidade de eliminar o pré-tratamento, já que não houve mudanças significativas durante a polpação acetossolv, o que poderia reduzir custos químicos e energéticos. Dessa forma, a etapa pode ser realizada com a farinha *in natura*.

Na Figura 10, é apresentada uma comparação entre a biomassa *in natura* e as variações nos parâmetros analisados na pesquisa, destacando as características da banda de absorção expandida (700 a 1800 cm<sup>-1</sup>) nos espectros de FTIR de todas as amostras de lignina. Destaca-se que essas amostras preservaram os picos característicos, demonstrando estabilidade frente às alterações nas condições do processo, sem apresentar modificações significativas.

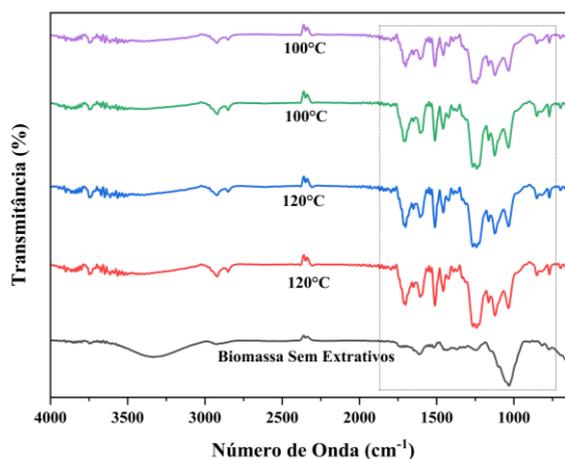
**Figura 10** – Espectro infravermelho da biomassa *in natura* com diferentes parâmetros.



Fonte: Autora, 2024.

A análise FTIR da lignina, conduzida após a manipulação das condições de polpação acetossolv, não evidenciou alterações significativas em sua estrutura, como podemos observar na Figura 11. Esses resultados levantam a possibilidade de que a etapa de remoção de extrativos associada à polpação acetossolv pode ser excluída, simplificando o processo de obtenção de lignina.

**Figura 11**– Espectro infravermelho da biomassa sem extrativos com diferentes parâmetros.



Fonte: Autora, 2024.

A análise por espectroscopia FTIR proporcionou a identificação de picos significativos, conferindo uma compreensão mais profunda da composição e estrutura da lignina obtida. O pico em torno de  $1710\text{ cm}^{-1}$ , evidencia o estiramento de  $\text{C}=\text{O}$  em cetonas não conjugadas,

carbonilas e grupos éster, conforme discutido na literatura por Abd Latif (et al., 2022), sugere a possível presença de complexos de lignina-carboidrato. Esses complexos referem-se às interações entre a lignina e carboidratos, como celulose, hemicelulose e pectina. Além disso, observou-se os picos em  $1609\text{ cm}^{-1}$  e  $1510\text{ cm}^{-1}$ , que estão associados ao estiramento de ligações C=C, indicando a presença de estruturas aromáticas na lignina, um traço característico dessa macromolécula (Rodrigues et al., 2020). Os picos em  $1460\text{ cm}^{-1}$  e  $1426\text{ cm}^{-1}$  são consistentes com a presença de grupos metilação, indicando metilação em grupos  $\text{CH}_3$  e  $\text{CH}_2$ , isso é corroborado pelo pico em  $850\text{ cm}^{-1}$ , que está relacionado à deformação da lignina com C-H fora do plano, confirmando a presença desses grupos (Juikar et al., 2017).

A observação de picos em  $1270\text{ cm}^{-1}$ ,  $1220\text{ cm}^{-1}$  e  $1164\text{ cm}^{-1}$  sugere a presença de unidades guaiacílicas e siringílicas na lignina, com influência do estiramento C=O e características típicas de lignina HGS e GS (Abd Latif et al., 2022). O pico em  $1120\text{ cm}^{-1}$  está relacionado ao estiramento C-O em éteres e álcoois alifáticos, indicando a presença desses grupos funcionais na estrutura da lignina obtida (Hernández et al., 2016). O pico em  $770\text{ cm}^{-1}$  está associado à deformação da lignina com C-H fora do plano, complementando a caracterização da estrutura lignocelulósica (Jose et al., 2017).

A Tabela 3, apresenta de forma resumida uma análise dos picos identificados no espectro FTIR, apresentando não apenas as posições desses picos, mas também detalhando as características vibracionais associadas a cada transição. Isso permite uma compreensão mais abrangente das interações moleculares e das ligações químicas presentes na substância analisada.

**Tabela 5** - Caracterização dos picos do FTIR.

Região ( $\text{cm}^{-1}$ )	Características Vibracionais
1710	Estiramento C=O
1609	Estiramento C=C (Estrutura aromática da lignina)
1510	Estiramento C=C (Estrutura aromática da lignina)
1460	Deformação de grupos CH em $\text{CH}_3$ e $\text{CH}_2$
1426	Vibrações esqueléticas aromáticas combinadas com a deformação no plano CH
1270	Vibrações de anéis guaiacílicos influenciada por estiramento C=O
1220	Unidades de guaiacyl e estiramento C-C e C=O
1164	Típica lignina HGS
1120	Típica lignina GS
1030	Estiramento C-O em éteres e álcoois alifáticos
850	Deformação da lignina com C-H fora do plano

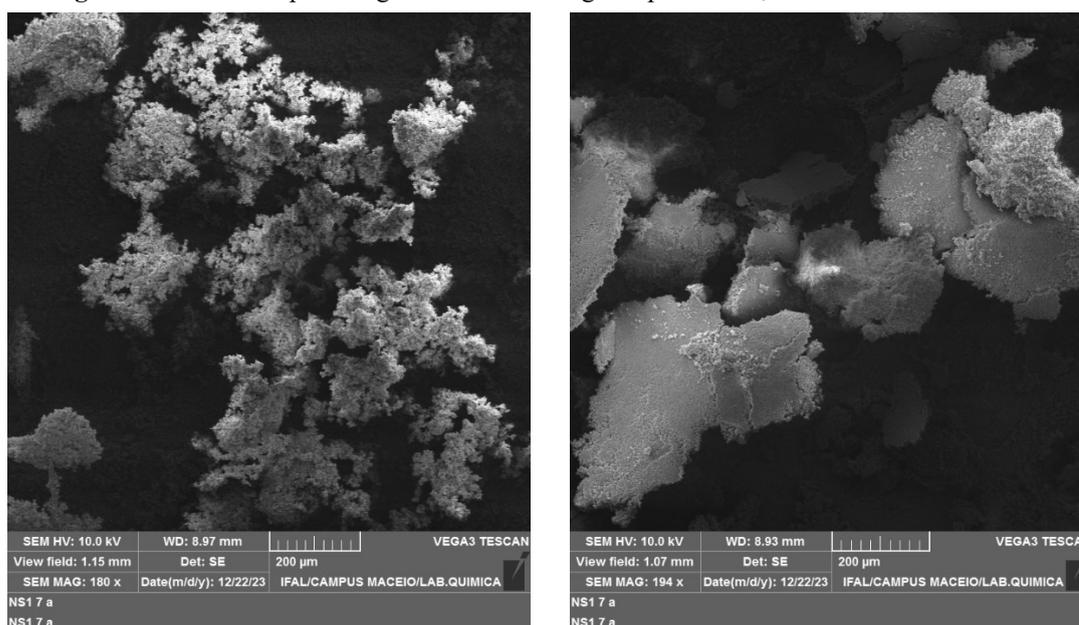
Em resumo, a análise dos picos de FTIR da lignina obtida pelo processo acetossolv demonstra a presença de características típicas, como grupos cetona, estrutura aromática, metilação, unidades guaiacílicas e siringílicas, além de éteres e álcoois. Esses resultados são consistentes com a composição esperada para ligninas e oferecem perspectivas valiosas para compreender a estrutura e a funcionalidade da lignina produzida.

### 5.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da Lignina

As análises utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram conduzidas com o objetivo de examinar as características morfológicas e a aparência superficial da LCIN e LCSE após submetidas ao processo de polpação acetossolv em diferentes temperaturas, bem como para avaliar o impacto desse procedimento em suas superfícies.

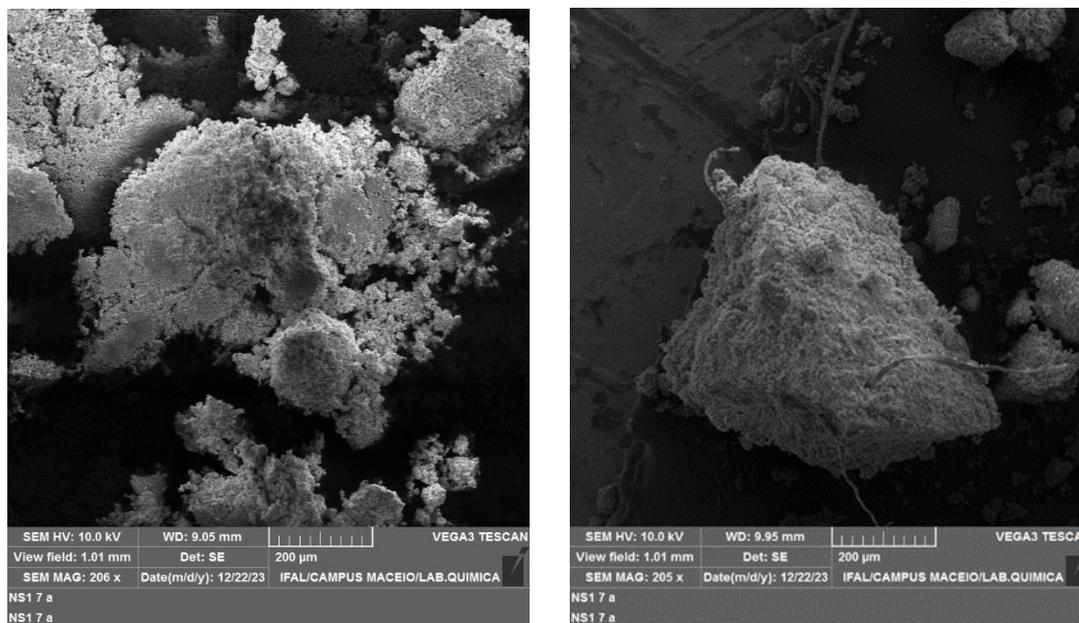
As primeiras micrografias apresentadas da LCIN e LCSE estão dispostas na Figura 12. Ambas as amostras foram obtidas sob uma temperatura de 100 °C. Embora sejam muito semelhantes, é possível perceber a LCSE (b) que foi submetida ao Soxhlet, apresenta uma superfície mais uniforme e lisa devido à remoção de extrativos, enquanto a amostra de LCIN (a) exibe uma morfologia superficial mais rugosa.

**Figura 12** – Microscopia da lignina *in natura* e lignina pré tratada, ambas obtidas a 100 °C



Na Figura 13, temos uma resolução de 200  $\mu\text{m}$  e uma ampliação média de 205,5 x das amostras LCIN e LCSE, obtidas a uma temperatura de 120  $^{\circ}\text{C}$  e que demonstram a estrutura amorfa da lignina.

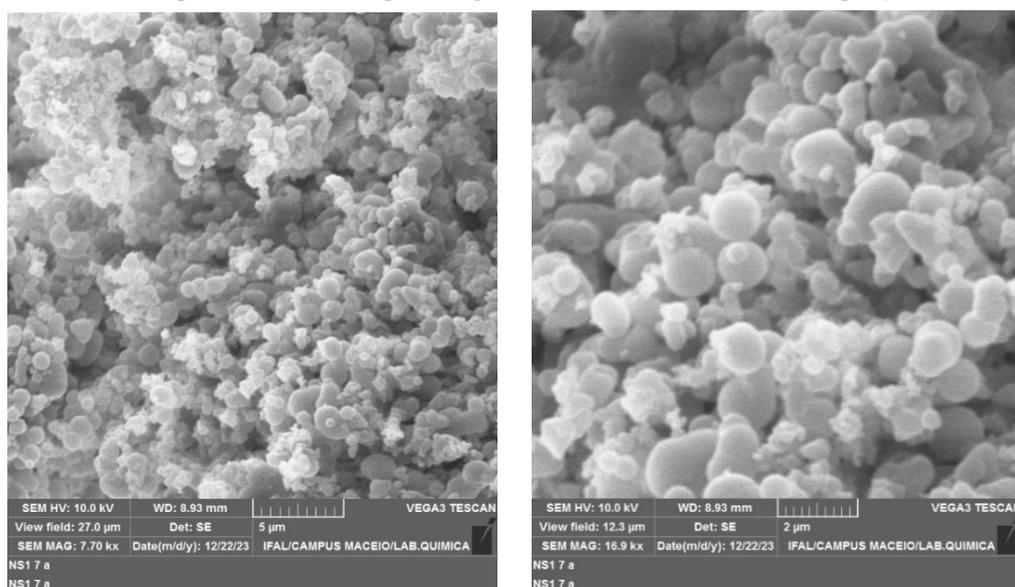
**Figura 13** – Microscopia da lignina in natura e lignina pré tratada, ambas obtidas a 120  $^{\circ}\text{C}$



Fonte: Autora, 2024.

Tal como demonstrado na Figura 14, a análise microscópica da lignina obtida pelo processo acetossolv revelou a presença de aglomerados ou partículas esféricas, que se agrupavam umas às outras. Essa observação sugere que o processo acetossolv induziu a formação de estruturas complexas de lignina. Durante o processo acetossolv, que envolve a solubilização da lignina em ácido acético, a lignina pode passar por mudanças conformacionais e interações moleculares que levam à formação desses aglomerados (Pinheiro et al., 2017). A formação desses aglomerados é observada em estudos anteriores, destacando a complexidade da lignina e seu comportamento durante o processo acetossolv (Meng et al., 2023).

**Figura 14** - Microscopia da lignina *in natura* com diferentes ampliações



Fonte: Autora, 2024.

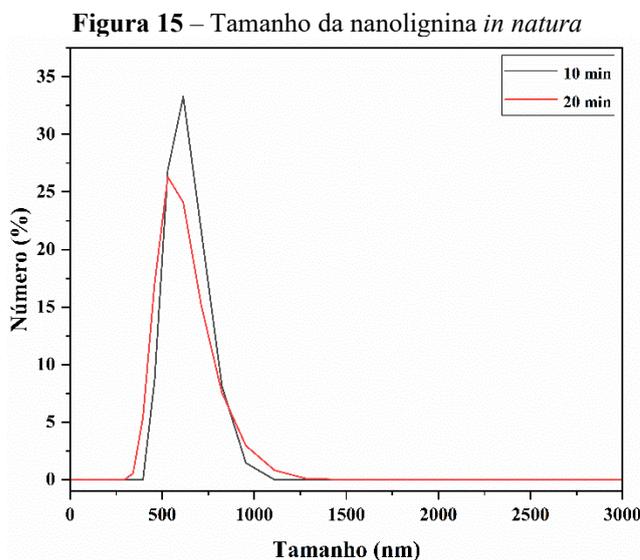
A presença de porosidades dentro dos aglomerados de lignina também observadas na micrografia pode ser atribuída a fenômenos relacionados à dinâmica da formação dessas estruturas. Durante a polpação acetossolv, a lignina pode passar por um processo de precipitação, onde moléculas de lignina se aglomeram para formar essas estruturas, podendo ocorrer fenômenos de nucleação e crescimento dos aglomerados, levando à formação de poros ou espaços vazios dentro dos aglomerados (Soh et al., 2016). Além disso, a liberação de gases ou vapores durante a formação dos aglomerados pode criar pequenos poros ou cavidades dentro da estrutura de lignina à medida que escapam para a superfície, sendo que essas variações na estrutura e composição da lignina também podem influenciar a formação de porosidades (Aguiar et al., 2023).

Não foram identificadas variações morfológicas significativas na lignina ao modificar a temperatura durante o processo de polpação. Isso sugere uma estabilidade relativa da estrutura morfológica da lignina frente às mudanças de temperatura utilizadas no processo de polpação. Essa observação pode indicar uma resistência da lignina a alterações morfológicas sob essas condições específicas de temperatura.

### 5.7 Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS) da Nanolignina

A distribuição do tamanho da nanolignina em função da porcentagem de nanopartículas é demonstrada na Figura 15. O tamanho das nanopartículas obtidas da lignina do coco *in natura* foi estimado entre 500 nm e 750 nm, sendo o diâmetro médio das nanopartículas determinado

como 656,25 nm para o intervalo de tempo de 10 minutos. Para o intervalo de 20 minutos, os valores estimados foram 400 nm e 600 nm, com um diâmetro médio de 533,75 nm. Juikar e Vigneshwaran (2017) estimaram o diâmetro médio das nanopartículas de lignina obtido da fibra de coco em 845,9 nm.



Fonte: Autora, 2024.

## 6. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada teve como objetivo principal a obtenção de nanolignina a partir da casca e fibra do coco verde utilizando o método acetossolv. Os resultados da caracterização da farinha de coco foram bastante esclarecedores, revelando não apenas níveis significativos de lignina, mas também de celulose e hemicelulose. Os resultados obtidos destacam a importância de extrair todos os componentes lignocelulósicos presentes na biomassa para maximizar os compostos extraídos, o que tem implicações importantes na viabilidade econômica do processo.

Os resultados das análises realizadas não revelaram variações significativas entre a farinha de coco verde pré-tratada e a farinha *in natura*. Ambas apresentaram resultados similares, indicando que a etapa de pré-tratamento pode ser dispensada. Essa constatação é relevante pois sugere que a eliminação do pré-tratamento reduziria significativamente o consumo de recursos químicos e energéticos no processo de extração, resultando em uma redução de custos operacionais. Essa abordagem não apenas simplificaria o processo, mas também tornaria a produção de lignina a partir de farinha de coco verde mais econômica e sustentável.

É importante mencionar que a presença significativa de lignina na farinha de coco ressalta o interesse e a relevância da extração desse polissacarídeo, especialmente considerando suas propriedades únicas e seu potencial para diversas aplicações industriais e tecnológicas. Além disso, a detecção de teores consideráveis de celulose e hemicelulose reforça a necessidade de um processo de extração completo que seja capaz de remover todos os compostos lignocelulósicos sem causar degradação ou perda de qualidade. Nesse contexto, a escolha do método acetossolv se mostra ainda mais justificada.

Embora não seja o mais eficiente na remoção exclusiva da lignina, o acetossolv preserva a estrutura química desse componente e, ao mesmo tempo, remove a celulose e hemicelulose com alta qualidade. Isso é fundamental para garantir a pureza e a integridade dos produtos obtidos, além de maximizar a eficiência do processo de extração.

É importante ressaltar que a pureza da lignina foi confirmada por meio de métodos como o cálculo corrigido da lignina Klason, teores de umidade e cinzas, apresentando valores elevados e indicativos da qualidade do produto obtido.

Os resultados obtidos através de gráficos de FTIR e termogramas também são notáveis, pois identificaram picos característicos de lignina e demonstraram sua estabilidade térmica, o que é essencial para suas potenciais aplicações em diversas indústrias.

o método acetossolv mostra-se extremamente interessante para uma produção em cadeia, principalmente devido à preservação da estrutura dos materiais lignocelulósicos e à possibilidade de recuperação parcial do solvente, o que contribui para a sustentabilidade e eficiência energética do processo como um todo. Esses aspectos reforçam a relevância e o potencial desse método de extração para futuras pesquisas e aplicações industriais.

## **7. TRABALHOS FUTUROS**

O processo de obtenção de lignina pelo método acetossolv tem potencial para melhorias futuras e expansão. Isso inclui a variação de condições operacionais para otimizar o rendimento e qualidade da lignina. Essas melhorias não apenas contribuem para a economia de recursos, mas também impulsionam a sustentabilidade e a viabilidade econômica dos processos relacionados à obtenção de lignina pelo método acetossolv. Ao explorar a casca e fibra de coco verde como fontes de celulose e hemicelulose, o processo se torna mais completo e integrado, maximizando a utilização dos recursos lignocelulósicos.

## 8. REFERÊNCIAS

ABD LATIF, N., BROSSE, N., ZIEGLER-DEVIN, I., CHRUSIEL, L., HASHIM, R., AND HUSSIN, M.. "A comparison of alkaline and organosolv lignin extraction methods from coconut husks as an alternative material for green applications," *BioResources* 17(1), 469-491, 2022.

AGUIAR, D. S., SILVA, B. A. M.; GONÇALVES R. D.; PEREIRA A. C. C.; MOTA, I. O.; BANDEIRA, C. F.; ROSA, J. L.; MONTORO, S. R.. Verificação do potencial da biomassa proveniente da fibra de coco como possível reforço em compósitos poliméricos via caracterização morfológica por MEV após tratamento alcalino na presença de NaBH<sub>4</sub>. Congresso Brasileiro De Ciências E Saberes Multidisciplinares, n. 2, 2023.

ALBINANTE, S.R.; PACHECO, E.A.V.; VISCONTE, L.L.Y.; TAVARES, M.I.B. Caracterização de fibras de bananeira e de coco por ressonância magnética nuclear de alta resolução no estado sólido. *Polímeros*, v. 22, n. 5, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000057>

ALLEGRETTI, C.; FONTANAY, S.; RISCHKA, K.; STRINI, A.; TROQUET, J.; TURRI, S.; GRIFFINI, G.; D'ARRIGO, P. Two-Step Fractionation of a Model Technical Lignin by Combined Organic Solvent Extraction and Membrane Ultrafiltration. *ACS Omega*, v. 4, p. 4615-4626, 2019. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02851>

ARAGÃO, W.M. Colheita e pós-colheita do coco. In: Sistema de produção para a cultura do coqueiro. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 63p.

ARAÚJO, A. A. S.; MERCURI, L. P.; SEIXAS, S. R. S.; STORPIRTIS, S.; MATOS, J. R. Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 42, n. 2, p. 269-277, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1516-93322006000200013>

BASU, G.; MISHRAA, L.; JOSEA, S.; SAMANTA, A.K. Accelerated retting cum softening of coconut fibre. *Industrial Crops and Products*, v. 77, p. 66–73, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.012>

BEISL, S.; MILTNER, A.; FRIEDL, A. Lignin from Micro- to Nanosize: Production Methods. *Int. J. Mol. Sci.* v. 18, 1244, 2017. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms18061244>

BELLO, F.; CHIMPHANGO, A. Optimization of lignin extraction from alkaline treated mango seed husk by high shear homogenization-assisted organosolv process using response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 167, p. 1379-1392, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.092>

BENAR, PRISCILA. Polpação acetosolv de bagaço de cana e madeira de eucalipto. 1992. 79 f. Dissertação (Mestrado em Química), Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1992.

BONAMONE, M.B.; GONÇALVES, M.F.S. Logística reversa do resíduo de coco verde – uma abordagem sobre possibilidades de reaproveitamento. *Logística e Operações Globais Sustentáveis*, v. 1, p. 198-200, 2019.

BONFATTI JÚNIOR, E. A., Qualidade da lignina kraft em função do agente protonador. 2020. Tese (doutorado) - Pós Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

BRAINER, M.S.C.P. Coco: Produção e mercado. *Caderno setorial ETENE*, ano 6, n. 206, 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago.*

BRITO, L. P. S.; BEZERRA, T. T.; NUNES, E. M. B.; CAVALCANTE, M. Z. B.; SIQUEIRA FILHO, J. A.. Produção de mudas de *Schinopsis brasiliensis* Engler sob prévia lavagem do pó de coco e submetidas a doses crescentes de fertilizante de liberação controlada. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 3, p. 1022-1034, 2018.

BRONZATO, G.R.F. Avaliação do aproveitamento da casca do coco verde para a produção de etanol 2g. 2021. 110 f. Tese (doutorado) - Curso de Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botocatu, 2021.

BUDNYAK, T.M.; SLABON, A.; SIPPONEN, M.H. Lignin–Inorganic Interfaces: Chemistry and Applications from Adsorbents to Catalysts and Energy Storage Materials. *ChemSusChem* 2020, 13, 4344–4355.

CABRAL, M.M.S; ABUD, A.K.S.; ROCHA, M.S.R.S.; ALMEIDA, R.M.R.G.; GOMES, M.A. Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. *Engevista*, v. 19, n. 1, p. 99-108, 2017. <https://doi.org/10.22409/engevista.v19i1.802>

CAPELIN, L. J.; MORAES, K. K.; ZAMPIERI, J. P.; VANDERLEI, R. D.. Avaliação dos efeitos da fibra de coco e da microcelulose cristalina nas propriedades de argamassas cimentícias. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 25, n. 1, p. e-12551, 2020.

CARVALHO, J.M., MAIA, G.A., SOUSA, P.H.M. & MAIA JR, G.A. Água-de-coco: propriedades nutricionais, funcionais e processamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 27, n. 3, p. 437-52, 2006.

CARVALHO, R. S. C.; MOTA, F. D.; FILHO, L. R. A. G.; KLAR, A. E.; FILHO, H. G.. Lisímetro para medida da evapotranspiração na cultura do pimentão em sistema hidropônico com substrato. *Irriga Botocatu*, v. 25, n. 2, p. 361-376, 2020.

CETIN, M.S.; AYDOGDU, R.B.; TOPRAKCI, O.; TOPRAKCI, H.A.K. Sustainable, Tree-Free, PLA Coated, Biodegradable, Barrier Papers from Kendir (Turkish Hemp). *Journal of Natural Fibers*, v. 19, ed. 16, p. 13802-13814, 2022. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2107140>

CHEN, Y.W.; LEE, H.V.; JUAN, J.C.; PHANG, S.M. Production of new cellulose nanomaterial from red algae marine biomass *Gelidium elegans*. *Carbohydrate Polymers*, v. 151, p. 1210-1219, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.083>

CHIN, D. W. K.; LIM, S.; PANG, Y. L.; LAM, M. K. Fundamental Review of Organosolv Pretreatment and Its Challenges in Emerging Consolidated Bioprocessing. *Biofuels, Bioprod. Biorefin.* 2020, 14, 808–829.

CINTRA, F.L.D.; FONTES, H.R.; PASSOS, E.E.M. et al. (Ed.). Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 37-60, 2009.

CORRADINI, E.; ROSA, M.F.; MACEDO, B.P. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31(3), 837–846, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000300030>

CRUZ FILHO, I.J.; DUARTE, D.M.F.A.; LIMA, D.C.A.; MARQUES, D.S.C.; SANTOS, F.A.B.; ALVES, L.C.; AIRES, A.L.; NOGUEIRA, F.; LIMA, M.C.A. *In vitro* evaluation of alkaline lignins as antiparasitic agents and their use as an excipient in the release of benzimidazole. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 231, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123339>

DEBMANDAL, M.; MANDAL, S. Coconut (*Cocos nucifera* L.: Arecaceae): in health promotion and disease prevention. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, v. 4, n. 3, p. 241–247, 2011. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60078-3](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60078-3)

DESSIE, W.; LUO, X.; HE, F.; LIAO, Y.; DUNS, G.J.; QIN, Z. Lignin valorization: A crucial step towards full utilization of biomass, zero waste and circular bioeconomy. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 51, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102777>

DONG, J.; ZENG, J.; LI, P.; LI, J.; WANG, B.; XU, J.; GAO, W.; CHEN, K. Mechanically strong nanopapers based on lignin containing cellulose micro- and nano-hybrid fibrils: Lignin content-fibrils morphology-strengthening mechanism. *Carbohydrate Polymers*, v. 311, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120753>

DUVAL, A.; LAWOKO, M. A review on lignin-based polymeric, micro- and nano-structured materials. *Reactive and Functional Polymers*, v. 85, p. 78-96, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2014.09.017>

FAOSTAT - Food and Agriculture organization of the United Nations. Crops and livestock products. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

FONTES, H.R., FERREIRA, J.M.S. (2006). A cultura do coqueiro. (101 p.). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.

FRANGVILLE, C.; RUTKEVIČIUS, M.; RICHTER, A.P.; VELEV, O.D.; STOYANOV, S.D.; PAUNOV, V.N. Fabricação de nanopartículas de lignina ambientalmente biodegradáveis. *ChemPhysChem*, v. 13, n. 18, 2012. <https://doi.org/10.1002/cphc.201200537>

FREITAS, B. R.; BRAGA, J. O.; ORLANDI, M. P.; SILVA, B. P.; AOKI, I. V.; LINS, V. F. C.; COTTING, F.. Characterization of coir fiber powder (*cocos nucifera* L.) as an environmentally friendly inhibitor pigment for organic coatings. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 1332-1342, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.098>

GILCA, I.A.; POPA, V.I.; CRESTINI, C. Obtaining lignin nanoparticles by sonication. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 23, p. 369-375, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.021>

GOMES, M. A.; ROCHA, M. S. R. S.; BARBOSA, K. L.; ABREU, Í. B. S.; PIMENTEL, W. R. O.; SILVA, C. E. F.; ALMEIDA, R. M. R. G.; ALBUQUERQUE, E. C. M. C.; VIEIRA, R. C.. Agricultural Coconut Cultivation Wastes as Feedstock for Lignocellulosic Ethanol Production by *Kluyveromyces marxianus*. *Waste and Biomass Valorization*, v. 12, p. 4943-4951, 2021.

GONÇALVES, F.A.; RUIZ, H.A.; NOGUEIRA, C.C.; SANTOS, E.S.; TEIXEIRA, J.A.; MACEDO, G.R. Comparison of delignified coconuts waste and cactus for fuel-ethanol production by the simultaneous and semi-simultaneous saccharification and fermentation strategies. *Fuel*, v. 131, p. 66–76, 2014. <https://doi:10.1016/j.fuel.2014.04.021>

GONZALEZ, M.N.G.; LEVI, M.; TURRI, S.; GRIFFINI, G. Lignin nanoparticles by ultrasonication and their incorporation in waterborne polymer nanocomposites. *Journal of*

Applied Polymer Science, v. 134, n. 38, 2017. <https://doi.org/10.1002/app.45318>

GOUVEIA, E. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR A. M.; ROCHA, G. J. DE M. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. *Quím Nova*. v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600026>

GRACIA-VITORIA, J.; GÁNDARA, S.C.; FEGHALI, E.; ORTIZ, P.; EEVERS, W.; TRIANTAFYLLIDIS, K.S.; VANBROEKHOVEN, K. The chemical and physical properties of lignin bio-oils, facts and needs. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 40, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100781>

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, H. M., CHANONA-PÉREZ, J. J., VEGA, A.; LIGERO, P.; MENDOZA-PÉREZ, J. A.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; TERRÉS, E.; FARRERA, R. R. Acetosolv treatment of fibers from waste agave leaves: Influence of process variables and microstructural study. *Industrial Crops and Products* 2016, 86, 163.

HOJO, O.; ERNESTO, V. A. R. T.; RIBEIRO, C. A.; FISCARELLI, P.; FERTONANI, F. L. Comparação metodológica entre mufla convencional e automática para análise de umidade e cinzas em bagaço de cana. In: Congresso da Qualidade em Metrologia, 2008, São Paulo. Anais, São Paulo: REMESP, p. 1-6, 2008.

HU, H.; TAN, W.; XI, B. Lignin-phenol monomers govern the pyrolytic conversion of natural biomass from lignocellulose to products. *Environmental Science and Ecotechnology*, v. 8, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2021.100131>

HUSSIN, M.H.; APPATURI, J.N.; POH, N.E.; LATIF, N.H.A.; BROSSE, N.; ZIEGLER-DEVIN, I.; VAHABI, H.; SYAMANI, F.A.; FATRIASARI, W.; SOLIHAT, N.N.; KARIMAH, A.; ISWANTO, A.H.; SEKERI, S.H.; IBRAHIM, M.N.M. A recent advancement on preparation, characterization and application of nanolignin. *Jornal Internacional de Macromoléculas Biológicas*, v. 200, p. 303-326, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.007>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Coco-da-baía, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/al>>. Acesso em: 13 de setembro de 2023.

IGNACIO, I.F.; MIGUEL, T.S. Research opportunities on the coconut (*Cocos nucifera* L.) using new technologies. South African Journal of Botany, v. 141, p. 414-420, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.030>

JANG, S.K.; LEE, J.H.; JUNG, C.D.; YU, J.H.; CHOI, J.W.; CHOI, I.G.; KIM, H. High yield solvent extraction of hydrothermal and ball-milling treated lignin prior to enzymatic hydrolysis for co-valorization of lignin and cellulose in *Miscanthus sacchariflorus*. Fuel, v. 269, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117428>

JOSE S.; LEENA M.; GAUTAM B.; ASHIS K. S.. Study on Reuse of Coconut Fiber Chemical Retting Bath. Part II---Recovery and Characterization of Lignin, Journal of Natural Fibers, 14:4, 510-518, 2017, <https://doi.org/10.1080/15440478.2016.1212772>

JUIKAR, S.J.; VIGNESHWARAN, N. Extraction of nanolignin from coconut fibers by controlled microbial hydrolysis. Industrial Crops and Products, v. 109, p. 420-425, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.067>

KIM, I.T.; SINHA, T.K.; LEE, J.; LEE, Y.; OH, J.S. Ultrasonic treatment: an acid-free green approach toward preparing high-performance activated carbon from lignin. Ind. Eng. Chem. Res., v. 60, p. 2439-2446, 2021. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c03627>

KHALI, H.P.S.A.; ALWANI, M.S.; OMAR, A.K.M. Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of malaysian plant waste fibers. BioResources, v. 1(2), p. 220-232, 2006.

KANNAIAN, U.P.N., EDWIN, J.B., RAJAGOPAL, V., SHANKAR, S.N. & SRINIVASAN, B. Phytochemical composition and antioxidant activity of coconut cotyledon. Heliyon, v. 6(2), 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03411>

MANKAR, A.R.; PANDEY, A.; PANT, K.K. Microwave-assisted extraction of lignin from coconut coir using deep eutectic solvents and its valorization to aromatics. *Bioresource Technology*, v. 345, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126528>

MANIVANNAN, A., BHARDWAJ, R., PADMANABHAN, S., SUNEJA, P., HEBBAR, K.B. & KANADE, S.R. (2016). Biochemical and nutritional characterization of coconut (*Cocos nucifera* L.) haustorium. *Food Chemistry*, 238, 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.127>

MARIANA, M.; ALFATAH, T.; KHALIL H.P.S., ABDUL.; YAHYA, E.B.; N.G. OLAIYA, NURYAWAN, A.; MISTAR, E.M.; ABDULLAH, C.K.; ABDULMADJID, S.N.; ISMAIL, H. A current advancement on the role of lignin as sustainable reinforcement material in biopolymeric blends. *Journal of materials research and technology*, v. 15, p. 2287–2316, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.139>

MARQUES, F.P.; COLARES, A.S.; CAVALCANTE, M.N.; ALMEIDA, J.S.; LOMONACO, D.; SILVA, L.M.A.; ROSA, M.F.; LEITAO, R.C. Optimization by Response Surface Methodology of Ethanosolv Lignin Recovery from Coconut Fiber, Oil Palm Mesocarp Fiber, and Sugarcane Bagasse. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 61, p. 4058-4067, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c04362>

MARQUES, F. P.; SOARES, A. K. L.; LOMONACO, D.; ALEXANDRE E SILVA, L. M.; SANTAELLA, S. T.; DE FREITAS ROSA, M.; LEITÃO, R. C.. Steam Explosion Pretreatment Improves Acetic Acid Organosolv Delignification of Oil Palm Mesocarp Fibers and Sugarcane Bagasse. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021, 175, 304–312.

MATSAKAS, L.; GERBER, M.; YU, L.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P. Preparation of low carbon impact lignin nanoparticles with controllable size by using different strategies for particles recovery. *Industrial Crops and Products*, v. 147, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112243>

MARTINS, C.R., JÚNIOR, L.A. (2014). Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros.

MELO, L.F.L. extração, caracterização e utilização da lignina da casca do coco verde em poliuretano. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Química), Centro de Ciência, Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2013.

Meng, X; Yunxuan W.; Austin J. C.; Shuyang Z.; Jiae R., J. J. W.; Yunqiao P.; Brian H. D.; Chang G. Y.; Arthur J. R.. Applications of Biomass-Derived Solvents in Biomass Pretreatment – Strategies, Challenges, and Prospects. *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd. 2023. doi:10.1016/j.biortech.2022.128280.

MISHRA, P.K.; EKIELSKI, A. The Self-Assembly of Lignin and Its Application in Nanoparticle Synthesis: A Short Review. *Nanomaterials*, v. 9, n. 2, 243, 2019. <https://doi.org/10.3390/nano9020243>

MISHRA, P.K.; WIMMER, R. Aerosol assisted self-assembly as a route to synthesize solid and hollow spherical lignin colloids and its utilization in layer by layer deposition. *Ultrason Sonochem*, v. 35, p. 45–50, 2017. <https://10.1016/j.ultsoch.2016.09.001>

MONTEIRO, M.S. Mesocarpo de coco verde (*Cocos nucifera*) e pó de serraem da tatajuba (*Bagassa Guianensis* Aubl) como adsorvente em meio aquoso. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Maranhão, Maranhão, 2010.

NAIR, S.S.; SHARMA, S.; PU, Y.; SUN, Q.; PAN, S.; ZHU, J.Y.; DENG, Y.; RAGAUSKAS, A.J. High shear homogenization of lignin to nanolignin and thermal stability of nanolignin-polyvinyl alcohol blends. *ChemSusChem*, v. 7, p. 3513–3520, 2014. <https://doi.org/10.1002/cssc.201402314>

NASCIMENTO, D.M.D.; ALMEIDA, J.S.; DO VALE, M.S.; LEITÃO, R.C.; MUNIZ, C.R.; FIGUEIRÊDO, M.C.B.D.; MORAIS, J.P.S.; ROSA, M.F. A comprehensive approach for obtaining cellulose nanocrystal from coconut fiber. Part I: Proposition of technological pathways. *Industrial Crops and Products*, v. 93, p. 66-67, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.078>

NASCIMENTO, D.M.; NUNES, Y.L.; DE ALMEIDA, J.S.; LEITÃO, R.C.; FEITOSA, J.P.A.; DUFRESNE, A.; ROSA, M.F. Development of an integrated process to produce CNFs and

lignin and its potential applications for agrochemical delivery. *Cellulose*, v. 28, p. 10891–10904, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04200-2>

NOGUEIRA, C.C. Avaliação do uso de tensoativos nos pré-tratamentos ácido e alcalino diluídos da casca do coco verde e quantificação de água na pós-lavagem. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, 2017.

NOGUEIRA, I.M. Obtenção de nanolinina de resíduos fibrosos do dendê. 88 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

PATEL, R.; DHAR, P.; BABAEI-GHAZVINI, A.; DAFCHAHI, M.N.; ACHARYA, B. Transforming lignin into renewable fuels, chemicals, and materials: A review. *Bioresource Technology Reports*, v. 22, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101463>

PEREIRA JUNIOR, A. O. Aproveitamento energético de resíduos: um mercado que não se pode descartar. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.38116/brua24art14>.

PINHEIRO, F. G. C.; SOARES, A. K. L.; SANTAELLA, S. T.; SILVA, L. M. A.; CANUTO, K. M.; CÁ CERES, C. A.; ROSA, M. F.; FEITOSA, J. P. A.; LEITÃO, R. C.. Optimization of the acetosolv extraction of lignin from sugarcane bagasse for phenolic resin production, *Industrial Crops and Products*, Volume 96, 2017, Pages 80-90, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.029>.

QUEIROZ, L. P. O.; ALBUQUERQUE, F. B. DE; DE SOUZA, J. C. R. Análise bibliométrica sobre a utilização de resíduos do coco (*cocos nucifera* L.) em aplicações para biocombustíveis. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. v. 12, n. 9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0043>.

RAMEZANI, N.; SAIN, M. Thermal and Physicochemical Characterization of Lignin Extracted from Wheat Straw by Organosolv Process. *J. Polym. Environ.* 2018, 26, 3109–3116.

RANGAN, A.; MANJULA, M.V.; SATYANARAYANA, K.G.; MENON, R.

Lignin/Nanolignin and Their Biodegradable Composites, in: Biodegradable Green Composites, John Wiley & Sons, Inc, p. 167-198, 2016. <https://doi.org/10.1002/9781118911068.ch7>

RANI, B.S.J.; VENKATACHALAM, S. Cleaner approach for the cascade production of nanocellulose, nanohemicellulose and nanolignin from *Prosopis juliflora*. Carbohydrate Polymers, v. 294, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119807>

RIDHO, M.R.; AGUSTIANY, E.A.; DN, M.R.; MADYARATRI, E.W.; GHOZALI, M.; RESTU, W.K.; FALAH, F.; LUBIS, M.A.R.; SYAMANI, F.A.; NURHAMIYAH, Y.; HIDAYATI, S.; SOHAIL, A.; et al. Lignin as green filler in polymer composites: Development methods, characteristics, and potential applications. Advances in materials science and engineering, v. 2022, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1363481>

ROCHA, K. D. C.; FERREIRA, M. S.; GARCIA, C. E. R. Produção e produtos à base de coco (*Cocos nucifera* L.): uma revisão. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, p. 41476- 41491, 2022.

RODRIGUES, J.S.; CARMO, K.P.; FREITAS, R.R.M.; SILVA, J.O.; LIMA, V.; BOTARO, V.R. Isolamento e Caracterização de Lignina Acetossolve Extraída do Bagaço de Cana-de-Açúcar. Revista Virtual de Química, v. 12, n. 4, 2020. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200069>

RODRIGUES, G. S.; MARTINS, C. R.; BARROS, I. Sustainability assessment of ecological intensification practices in coconut production. Agricultural Systems, Essex, v. 165, n. [s. n.], p. 71-84, 2018.

RODRIGUES, J. S.; CARMO, K. P.; FREITAS, R. R. M.; SILVA, J. O.; LIMA, V.; BOTARO, V. R.. Isolamento e Caracterização de Lignina Acetossolv Extraída do Bagaço de Cana-de-Açúcar. Rev. Virtual Quim., 2020, 12(4), 00-00.

SAN ANDRÉS G, AGUILAR-SIERRA S, BERNARDO GRAZIELLA. Morphological, physical, and chemical characterization of coconut residues in Ecuador. Heliyon. 2023 Aug 18;9(9):e19267. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19267.

SILVA, A.. Reaproveitamento da casca de coco verde, Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria, REVISTA MONOGRAFIAS AMBIENTAIS - REMOA v.13, p.4077-4086, 2014. DOI:10.5902/2236130815186

SINGH, Y.. Nanoemulsion: Concepts, development and applications in drug delivery. Journal of Controlled Release, ELSEVIER, v. 252, p. 0168-3659, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.03.008>

SINGH, S.K.; OSTENDORF, K.; EURING, M.; ZHANG, K. Environmentally sustainable, high-performance lignin-derived universal adhesive. Green Chemistry, v. 24, p. 2624-2635, 2022. <https://doi.org/10.1039/D2GC00014H>

SOH, L.; ECKELMAN, M. J.. Green solvents in biomass processing. ACS Sustainable Chemistry and Engineering. American Chemical Society, 2016 <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01635>

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B.; SNYDER, S. A. Organic Chemistry. 12. ed. Hoboken: Wiley, 2016.

SOUZA, J.L. Mesocarpo do coco verde (*Cocos nucifera*) como adsorvente para os corantes: Turquesa Remazol e Azul Remazol. Dissertação (Mestrado em Química Analítica), Universidade Federal do Maranhão, Maranhão. 2009.

ŚWIĄTEK, K.; GAAG, S.; KLIER, A.; KRUSE, A.; SAUER, J.; STEINBACH, D. Acid Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass: Sugars and Furfurals Formation. Catalysts, v. 10, 2020. <https://doi.org/10.3390/catal10040437>

TAPPI. T 203 cm-99. Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp. 2009, 7p.

TEH, K.C.; TAN, C.Y.; CHEW, I.M.L. Life cycle assessment on delignification and nanolignin synthesis pathways. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 9, n. 4, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105381>

THORESEN, P. P.; MATSAKAS, L.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P. Recent Advances in Organosolv Fractionation: Towards Biomass Fractionation Technology of the

Future. *Bioresour. Technol.* 2020, 306, 123189.

TIAN, X.; FANG, Z.; SMITH JUNIOR, R. L.; WU, Z.; LIU, M. Properties, Chemical Characteristics and Application of Lignin and Its Derivatives. In: FANG, Z.; SMITH JUNIOR, R. L. (Ed.). *Production of Biofuels and Chemicals from Lignin*. Singapore: Springer, 2016. p. 3-34.

TORTORA, M.; CAVALIERI, F.; MOSESSO, P.; CIAFFARDINI, F.; MELONE, F.; CRESTINI, C. Ultrasound driven assembly of lignin into microcapsules for storage and delivery of hydrophobic molecules. *Biomacromolecules*, v. 15, p. 1634–1643, 2014. <https://doi.org/10.1021/bm500015j>

VERÇOSA, F. G.; FILHO, M. S. M. S.; PEREIRA, V. A.; AZEREDO, H. M. C.; Extração de Lignina do Tegumento de Mangas. *EMBRAPA - Comunicado Técnico*, 259, 2019.

VIEIRA, L.F.C.; PINHÃO NETO, M.V. Fibra de coco na composição de substrato para produção de mudas de mamoeiro. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 11, n. 1, p. 246–251, 2021.

VYSAKH, A., RATHEESH, M., RAJMOHANAN, T.P., PRAMOD, C., PREMLAL, S., GIRISH KUMAR, B. & SIBI, P.I. (2014). Polyphenolics isolated from virgin coconut oil inhibits adjuvant induced arthritis in rats through antioxidant and anti-inflammatory action. *International Immunopharmacology*, v. 20, n. 1, p. 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2014.02.026>

WANG, Z.; DEUSS, P.J. The isolation of lignin with native-like structure. *Biotechnology Advances*, v. 68, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2023.108230>

WANG, C.; XIA, S.; CUI, C.; KANG, S.; ZHENG, A.; YU, Z.; ZHAO, Z. Investigation into the correlation between the chemical structure of lignin and its temperature-dependent pyrolytic product evolution. *Fuel*, v. 329, 2022a. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125215>

WANG, Q.; SARKAR, J. Pyrolysis behaviors of waste coconut shell and husk biomasses. *International Journal of Energy Production and Management*, 3(1), 34-43, 2018. <https://doi.org/10.2495/EQ-V3-N1-34-43>

WANG, S.; XIAO, Y.; ZOU, Z.W.; WANG, X.; CHEN, L.L.; LUO, J. *Cocos nucifera* (coconut). *Trends in Genetics*, v. 38, n. 10, 2022b. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2022.06.008>

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R.. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, 2020.

YAQOOB, A.A.; SEKERI, S.H.; OTHMAN, M.B.H.; IBRAHIM, M.N.M.; FEIZI, Z.H. Thermal degradation and kinetics stability studies of oil palm (*Elaeis Guineensis*) biomass-derived lignin nanoparticle and its application as an emulsifying agent. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 14, n. 6, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103182>

YIN, H.; LIU, L.; WANG, X.; WANG, T.; ZHOU, Y.; LIU, B.; SHAN, Y.; WANG, L.; LÜ, X. A novel flocculant prepared by lignin nanoparticles-gelatin complex from switchgrass for the capture of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 545, p. 51-59, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.02.033>

YÁÑEZ-S, M.; MATSUHIRO, B.; NUÑEZ, C.; PAN, S.; HUBBELL, C.A.; SANNIGRAHI, P.; RAGAUSKAS, A.J. Physicochemical characterization of ethanol organosolv lignin (EOL) from *Eucalyptus globulus*: Effect of extraction conditions on the molecular structure. *Polymer Degradation and Stability*, v. 110, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.08.026>

YONG, K. J.; WU, T. Y.. Recent advances in the application of alcohols in extracting lignin with preserved  $\beta$ -O-4 content from lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, V. 384, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129238>