



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA  
GRADUAÇÃO EM QUÍMICA BACHARELADO**

**GABRIEL ÉRIK PATRÍCIO DE ALMEIDA**

**EXTRAÇÃO DA PECTINA DA FIBRA BRUTA DO CAJU: CARACTERIZAÇÃO  
QUÍMICA DA FRAÇÃO INSOLÚVEL**

**FORTALEZA  
2025**

GABRIEL ÉRIK PATRÍCIO DE ALMEIDA

EXTRAÇÃO DA PECTINA DA FIBRA BRUTA DO CAJU: CARACTERIZAÇÃO  
QUÍMICA DA FRAÇÃO INSOLÚVEL.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Química do Centro de  
Ciências da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
Bacharelado em Química com Habilitação  
Industrial.

Orientadora Pedagógica: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nágila  
Maria Pontes Silva Ricardo.  
Orientadora Profissional: Dr<sup>a</sup>. Roselayne Ferro  
Furtado

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A447e Almeida, Gabriel Érik Patrício de.

Extração da pectina da fibra bruta do caju : caracterização química da fração insolúvel / Gabriel Érik Patrício de Almeida. – 2023.

63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Nágila Maria Pontes Silva Ricardo.

Coorientação: Profa. Dra. Roselayne Ferro Furtado.

1. Caju. 2. Pedúnculo. 3. Bagaço. 4. Fibra insolúvel. I. Título.

CDD 540

---

GABRIEL ÉRIK PATRÍCIO DE ALMEIDA

EXTRAÇÃO DA PECTINA DA FIBRA BRUTA DO CAJU: CARACTERIZAÇÃO  
QUÍMICA DA FRAÇÃO INSOLÚVEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Química do Centro de  
Ciências da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
Bacharelado em Química com Habilitação  
Industrial.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Drª. Nágila Maria Pontes Silva Ricardo (Orientadora Pedagógica)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Drª. Roselayne Ferro Furtado (Orientadora Profissional)  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Dr. Adriano Lincoln Albuquerque Mattos  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

A Deus.  
A minha família.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pelas providências que me fizeram chegar até aqui.

A minha mãe, Rosimar Patrício, por todo o amor, preocupação e suporte incondicional em todas as etapas de minha vida, essa conquista é tão sua quanto minha.

Ao meu pai, João Camelo e a minha tia, Rosângela Patrício por todo o incentivo e cuidado dedicado a mim.

Aos meus primos Djair Almeida, Ikaro Viana, Ítalo Viana e Samila Mabelle, pela irmandade e por todo o apoio.

A minha família, por me proporcionarem a base essencial para o meu crescimento e desenvolvimento.

Aos amigos de dentro e de fora da universidade, pelo companheirismo e apoio.

A Universidade Federal do Ceará, por todas as oportunidades e pelo fornecimento das condições necessárias à minha formação acadêmica.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nágila Ricardo, pela orientação nesse trabalho, pelo acolhimento em seu grupo de pesquisa e pela confiança.

Ao Laboratório de Polímeros e Inovação de Materiais (LabPIM) e todos os seus membros, que desempenharam um papel fundamental na minha formação profissional.

A Dr<sup>a</sup> Débora Almeida e a Dr<sup>a</sup> Kamilla Barreto, pelo incentivo e parceria durante todos esses anos.

A Embrapa Agroindústria Tropical, onde o estágio e o trabalho foram desenvolvidos.

A Dr<sup>a</sup>. Roselayne Furtado, pela acolhida na Embrapa e pela excelente supervisão do trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Tecnologia de Embalagens (LTE), pelo auxílio e cuidado, em especial a M<sup>a</sup>. Gabrielle Freire.

Ao Dr. Adriano Mattos pela disposição em contribuir com as análises. Ao Laboratório de Tecnologia em Biomassa (LTB), onde parte do trabalho foi desenvolvido.

Aos membros participantes da banca examinadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nágila Ricardo, Dr<sup>a</sup>. Roselayne Furtado e Dr. Adriano Mattos pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

“A natureza usa apenas os fios mais longos para tecer seus padrões, de modo que cada pequeno pedaço de seu tecido revela a organização de toda a tapeçaria.” (Richard Feynman)

## RESUMO

O aumento na produção de castanha de caju resulta na maior geração de um subproduto do beneficiamento da castanha: o pedúnculo de caju (*Anacardium occidentale L.*), uma matéria-prima para diversos produtos, porém seu processamento industrial para a extração do suco gera um grande volume de resíduo agroindustrial, conhecido como bagaço do pedúnculo de caju (BPC), que muitas vezes é subaproveitado ou completamente desperdiçado. Devido à sua composição rica em fibras dietéticas, o BPC se estabeleceu como uma fonte promissora de um polissacarídeo de valor comercial para as indústrias alimentícia, de bebidas e farmacêutica, a pectina. Além disso, o processo de extração da pectina gera um novo resíduo: a fração insolúvel do pedúnculo de caju (FIPC). Até o momento, há poucos estudos detalhados sobre essa fração insolúvel isolada a partir da extração da pectina, que auxiliem na avaliação da viabilidade da obtenção conjunta de ambos os produtos. É a partir dessa lacuna que se desenvolveu o presente trabalho, cujo objetivo foi obter a fração insolúvel do pedúnculo de caju a partir do processo de extração da pectina, realizar sua caracterização química e comparar suas características com as do bagaço *in natura*. Para isso, foram realizadas análises de proteínas e lipídios, que mostraram que a fração insolúvel preservou valores similares aos do BPC bruto. As análises de umidade e atividade de água (AA) revelaram que ambos os processos de secagem utilizados foram eficientes, resultando em um produto final com umidade inferior a 5% e AA<0,4, fator essencial para sua conservação a longo prazo. O teor de cinzas também não apresentou variação significativa. A composição química das fibras foi analisada por meio de análises lignocelulósicas, incluindo teores de extractivos, lignina, holocelulose, alfacelulose e hemicelulose. Os resultados indicaram que, embora o tratamento para extração da pectina tenha causado uma leve perda desses componentes (<5%), o resíduo final apresentou praticamente o dobro das concentrações observadas no bagaço *in natura*, evidenciando um maior enriquecimento em fibras insolúveis. A análise por FTIR confirmou a presença dos compostos lignocelulósicos e corroborou a extração eficiente da pectina. Além disso, foi realizada a análise de cor, que demonstrou uma variação considerável nesse parâmetro, indicando que os processos aplicados resultaram em um produto final mais escuro. Espera-se que os resultados deste trabalho possam contribuir para a busca de novas aplicações viáveis para esse resíduo, promovendo a valorização de mais um subproduto na cadeia produtiva do caju.

**Palavras-chave:** caju; pedúnculo; bagaço; fibra insolúvel.

## ABSTRACT

The increase in cashew nut production results in a greater generation of a byproduct of nut processing: cashew apple (*Anacardium occidentale* L.), a raw material used in several products. However, its industrial processing for juice extraction generates a large volume of agro-industrial waste, known as cashew apple bagasse (CAB), which is often underutilized or completely discarded. Due to its composition rich in dietary fiber, CAB has been recognized as a promising source of pectin, a polysaccharide of commercial value for the food, beverage, and pharmaceutical industries. Moreover, the pectin extraction process generates an additional waste product: the insoluble fraction of cashew apple (IFCA). To date, few detailed studies have been conducted on this insoluble fraction isolated from pectin extraction, which could aid in evaluating the feasibility of obtaining both products simultaneously. The present study aimed to isolate the insoluble fraction of the cashew apple through pectin extraction, perform its chemical characterization, and compare its properties with those of raw bagasse. To achieve this, protein and lipid analyses were conducted, revealing that the insoluble fraction retained values similar to those of untreated CAB. Moisture and water activity ( $W_a$ ) analysis showed that both drying processes applied were efficient, resulting in a final product with moisture content below 5% and  $W_a < 0,4$ , which is essential for long-term preservation. Ash content also exhibited no significant variation. The fiber composition was obtained through lignocellulosic analyses, including extractives, lignin, holocellulose, alpha-cellulose, and hemicellulose content. The results indicated that although the pectin extraction treatment caused a slight reduction in these components (<5%), the final residue contained nearly twice the fiber concentrations observed in raw bagasse, demonstrating a greater enrichment in insoluble fibers. FTIR analysis confirmed the presence of lignocellulosic compounds and supported the efficient extraction of pectin. Additionally, color analysis showed a considerable variation in this parameter, indicating that the applied processes resulted in a darker final product. It is expected that the findings of this study will contribute to the search for new viable applications for this residue, promoting the valorization of an additional byproduct within the cashew production chain.

**Keywords:** cashew; cashew apple; bagasse; insolble fiber.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Caju, pedúnculo do caju e cajueiro ( <i>Anacardium occidentale L.</i> )	16
Figura 2	– Projeção de produção de castanha-de-caju no Brasil	17
Figura 3	– Esquema representativo dos principais componentes do caju	20
Figura 4	– Estrutura química da pectina	21
Figura 5	– Estrutura química geral da lignina	22
Figura 6	– Representação da ligação glicosídica entre unidades de $\beta$ -D-anidroglicopiranose	23
Figura 7	– Monossacarídeos presentes na composição da hemicelulose	24
Figura 8	– Espaço de cor CIELab	29
Figura 9	– Esquema representativo das análises realizadas	31
Figura 10	– Bagaço do caju congelado	32
Figura 11	– Analisador de atividade de água Aqua-lab 4TE	33
Figura 12	– Extrator de Gordura ANKON XT15	34
Figura 13	– Analisador de nitrogênio VELP NDA 701	35
Figura 14	– Cinzas do BPC (A), da FIPC (B) e FIPC-L (C)	36
Figura 15	– Lignina	38
Figura 16	– Holocelulose	39
Figura 17	– Alfacelulose	41
Figura 18	– Espectrômetro Perkin-Elmer Spectrum-Two	42
Figura 19	– Espectrofotômetro CM-5	42
Figura 20	– Pectina do pedúnculo de caju seca (A) e fração insolúvel do pedúnculo de caju úmida (B)	44
Figura 21	– Espectros de FTIR do bagaço do pedúnculo de caju (BPC) e de sua fração insolúvel (FIPC)	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Escala óptica de variação de cor ( $\Delta E$ ) e faixa de percepção visual .....	30
Tabela 2	– Escala óptica de variação de cor ( $\Delta E$ ) e faixa de percepção visual.....	43
Tabela 3	– Teor de umidade e atividade de água das fibras de caju analisadas.....	45
Tabela 4	– Lipídios totais médio das fibras analisadas.....	46
Tabela 5	– Proteínas totais das fibras analisadas.....	47
Tabela 6	– Teor percentual de cinzas médio das fibras analisadas.....	48
Tabela 7	– Teor extrativo médio das fibras analisadas.....	49
Tabela 8	– Teor de lignina médio das fibras analisadas.....	50
Tabela 9	– Teor de holocelulose médio das fibras analisadas.....	51
Tabela 10	– Teor de alfacelulose médio das fibras analisadas.....	51
Tabela 11	– Teor de hemicelulose médio das fibras analisadas.....	51
Tabela 12	– Dados gerados pelo espectrofotômetro para as cores das fibras analisadas...	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BPC	Bagaço do Pedúnculo de Caju
PPC	Pectina do Pedúnculo de Caju
FIPC	Fração Insolúvel do Pedúnculo de Caju
FIPC-L	Fração Insolúvel do Pedúnculo de Caju Lavada
AA	Atividade de Água

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Caju .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Bagaço do pedúnculo de caju.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Fibra dietética.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Pectina .....</i></b>	<b>20</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Fibras insolúveis .....</i></b>	<b>21</b>
<b>3.3.2.1</b>	<b><i>Lignina.....</i></b>	<b>21</b>
<b>3.3.2.2</b>	<b><i>Holocelulose, hemicelulose e alfacelulose .....</i></b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Caracterização química.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5</b>	<b>Umidade e Atividade de Água .....</b>	<b>25</b>
<b>3.6</b>	<b>Cinzas .....</b>	<b>26</b>
<b>3.7</b>	<b>Extrativos .....</b>	<b>26</b>
<b>3.8</b>	<b>Lipídios totais .....</b>	<b>27</b>
<b>3.9</b>	<b>Proteínas totais .....</b>	<b>27</b>
<b>3.10</b>	<b>Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier .....</b>	<b>28</b>
<b>3.11</b>	<b>Colorimetria.....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Obtenção do bagaço de caju.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>Obtenção da fração insolúvel do pedúnculo de caju.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Determinação do teor de umidade e atividade de água .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Caracterização química das fibras .....</b>	<b>34</b>
<b>4.4.1</b>	<b><i>Análise de Lipídios .....</i></b>	<b>34</b>
<b>4.4.2</b>	<b><i>Análise de Protéinas.....</i></b>	<b>35</b>
<b>4.4.3</b>	<b><i>Determinação do teor percentual de cinzas.....</i></b>	<b>35</b>
<b>4.5</b>	<b>Análise de componentes lignocelulósicos.....</b>	<b>36</b>
<b>4.5.1</b>	<b><i>Redução da acidez das amostras .....</i></b>	<b>36</b>

<b>4.5.2</b>	<i>Determinação do teor percentual de extrativos.....</i>	37
<b>4.5.3</b>	<i>Determinação do teor de lignina.....</i>	37
<b>4.5.4</b>	<i>Determinação do teor de holocelulose.....</i>	39
<b>4.5.5</b>	<i>Determinação do teor de alfacelulose.....</i>	40
<b>4.5.6</b>	<i>Determinação do teor de hemicelulose.....</i>	41
<b>4.6</b>	<b>Análise de Absorção na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) .....</b>	41
<b>4.7</b>	<b>Análise de cor.....</b>	42
<b>5.0</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	44
<b>5.1</b>	<b>Rendimentos .....</b>	44
<b>5.2</b>	<b>Teor de umidade.....</b>	45
<b>5.3</b>	<b>Caracterização química das fibras .....</b>	46
<b>5.3.1</b>	<i>Análise de Lipídios .....</i>	46
<b>5.3.2</b>	<i>Análise de Proteínas.....</i>	47
<b>5.3.3</b>	<i>Teor percentual de cinzas .....</i>	48
<b>5.4</b>	<b>Análises de componentes lignocelulósicos.....</b>	49
<b>5.4.1</b>	<i>Teor de extrativos .....</i>	49
<b>5.4.2</b>	<i>Teor de Lignina .....</i>	49
<b>5.4.3</b>	<i>Teor de Holocelulose, Alfacelulose e Hemicelulose.....</i>	51
<b>5.5</b>	<b>Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....</b>	52
<b>5.6</b>	<b>Análise de cor.....</b>	54
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	56
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	57

## 1 INTRODUÇÃO

O bagaço do pedúnculo de caju (BPC), um resíduo agroindustrial gerado a partir do processamento do suco integral, representa cerca de 1/5 do peso de pedúnculo. É considerado um resíduo com um elevado teor de fibras alimentares com potencial aplicação para diversas áreas da indústria alimentícia e farmacêutica.

A partir do bagaço do pedúnculo de caju, é possível extrair fibras dietéticas solúveis e insolúveis. A pectina é um polissacarídeo solúvel em água (fibra solúvel) com interessantes propriedades tecnológicas e de valor comercial, corriqueiramente utilizado como agente gelificante, espessante e estabilizante na composição de sucos, alimentos, cosméticos e está presente também na formulação de medicamentos. Na indústria, pectina é extraída principalmente de cascas de citrus após o processamento do suco. Similarmente ao que acontece para a extração de pectinas de citrus, pode ser feito com o bagaço de caju o que seria promissor para a valorização deste resíduo gerado em grande volume, contribuindo para o fortalecimento da cadeia produtiva de caju.

Com o método de extração por ácido cítrico seguido de precipitação por etanol, é possível extrair, de maneira eficaz e com relativo baixo custo, a pectina a partir do bagaço do pedúnculo de caju. No entanto, esse processo gera consigo, um novo resíduo, composto pelos demais constituintes do bagaço que não foram solubilizados na solução de ácido cítrico juntamente com a pectina. Dessa forma, esse material, um concentrado de fibras insolúveis, será denominado neste trabalho como a fração insolúvel do pedúnculo de caju.

Apesar das características químicas e nutricionais do bagaço do pedúnculo de caju já terem sido objeto de diversos estudos, não foram encontrados trabalhos que realizem a caracterização química da fração insolúvel do pedúnculo de caju obtida especificamente a partir da extração da pectina, de modo a avaliar se esse processo causa alguma alteração considerável na composição das demais fibras presentes no bagaço. Esses dados são de fundamental importância para a avaliação de novas aplicações para esse resíduo, uma vez que torna possível conhecer com precisão os constituintes químicos da fração insolúvel do bagaço.

Assim, o presente trabalho teve como principal objetivo, a caracterização química da fração insolúvel do pedúnculo de caju obtida a partir da extração da pectina do bagaço do pedúnculo de caju. Em adicional, foram avaliados também as características químicas do bagaço utilizado para a obtenção da pectina do pedúnculo de caju, que possibilitou estabelecer uma comparação direta entre os dois materiais, permitindo estimar as alterações causadas pela extração da pectina.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Caracterizar quimicamente a fração insolúvel do pedúnculo de caju proveniente do processo de extração da pectina e avaliar as alterações causadas pelo processo de extração da pectina.

### 2.2 Objetivos específicos

- Isolar a fração insolúvel do bagaço de caju.
- Avaliar o rendimento dos processos envolvidos na obtenção de pectinas e fibras insolúveis.
- Estudar a composição química do bagaço de caju e de sua fração insolúvel.
- Realizar a caracterização química do bagaço de caju e de sua fração insolúvel.
- Identificar grupos funcionais da fibra do caju.
- Definir e comparar a cor do bagaço de caju e de sua fração insolúvel.
- Avaliar as diferenças na composição do bagaço de caju e na fibra insolúvel que foi submetida a extração por ácido cítrico.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Caju

O caju (*Anacardium occidentale L.*) é um fruto produzido pelo cajueiro (Figura 1), uma espécie pertencente à família *Anacardiaceae*, amplamente cultivada na região Nordeste do Brasil. Diferentemente do senso comum, o fruto verdadeiro do cajueiro é a castanha, que se desenvolve externamente a um pseudofruto fibroso, conhecido como pedúnculo de caju. Este último, de coloração amarela, alaranjada ou vermelha, corresponde ao eixo floral hipertrofiado, sendo rico em compostos bioativos e amplamente utilizado na indústria de sucos (Guerrero *et al.*, 2008).

Figura – 1: Caju, pedúnculo do caju e cajueiro (*Anacardium occidentale L.*).



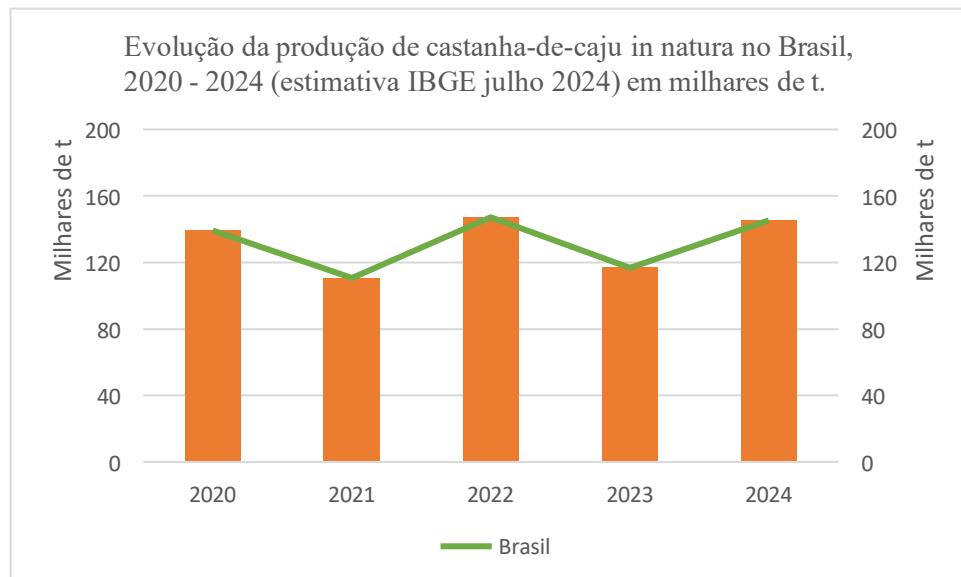
Fonte:< <https://gardenoficinadaterra.com.br/produto/caju/> > Acesso em 20 de fevereiro de 2025.

O fruto verdadeiro é constituído de três partes principais, a casca que faz o revestimento externo, conferindo resistência química e mecânica ao núcleo interno, separados por uma película, também chamada de pele. Na indústria de beneficiamento da castanha, a casca, após separação da amêndoa, é utilizada para geração de energia através da queima. A partir da casca também se obtém o líquido da castanha do caju (LCC), outro subproduto do caju que nas últimas décadas tem sido objetivo de estudos para as mais diversas áreas da indústria química (Dakuyo *et al.*, 2022). Da película que envolve a amêndoa, podem ser extraídos substâncias como taninos e alcaloides, utilizados para produção de couro, adesivos, produtos farmacêuticos e até para tratamento de água (Oliveira, 2014; Pizzi, 2019).

A castanha de caju, como é popularmente conhecida, é uma amêndoia obtida a partir do beneficiamento do fruto verdadeiro do caju, que se estabelece como o produto de maior valor agregado relacionado ao cultivo dessa espécie, alcançando cerca 90% da receita total (Paiva et al., 2006).

A crescente demanda pela castanha de caju, é refletida no aumento da produção desse insumo. Estima-se que em 2024, a produção da castanha com casca deve aumentar em cerca de 24,4% em relação a 2023, ultrapassando a marca de 145 mil toneladas (Conab, 2024). O Ceará se destaca como o maior produtor nacional de castanha *in natura*, seguido por outros estados nordestinos, como o Piauí e o Rio Grande do Norte (Figura 2).

Figura 2 – Projeção de produção de castanha-de-caju no Brasil.



Fonte:< Adaptado de: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/38568-ibge-preve-safra-de-306-2-milhoes-de-toneladas-para-2024-com-queda-de-3-2-frente-a-2023#:~:text=A%20%C3%A1rea%20colhida%2C%20por%20sua,para%2020607%20kg/ha.>> Acesso em 20 de fevereiro de 2025.

O aumento da produção da castanha, traz consigo um enorme volume do coproduto pedúnculo de caju, que devido a perecibilidade e menor valor de mercado, não é facilmente aproveitado pelas indústrias, levando ao sub aproveitamento e em alguns casos, o desperdício completo por parte dos produtores de castanha (Kouassi *et al.*, 2018).

O pedúnculo de caju é rico em vitamina C, minerais, açucares, compostos fenólicos e fibras dietéticas, possuindo mais de 80% do seu peso em umidade, sendo este um dos fatores que elevam a sua perecibilidade (Singh *et al.*, 2019).

O Brasil se destaca na produção mundial de pedúnculo, ocupando o primeiro lugar do ranking, com quase 87% da produção desse insumo (Brainer *et al.*, 2024). Os principais usos industriais do pedúnculo do caju, ocorrem na produção de sucos e polpas, seguido da fabricação de doces. Dentro do mercado de bebidas, vale destacar a utilização do caju para produção de bebidas gaseificadas, como a cajuína, produto de valor cultural que recebe destaque regional e nacional através de empresas como a Cajuína São Geraldo. Em 2024 o refrigerante de caju alcançou um novo patamar de visibilidade ao ser incluído como um dos novos sabores da popular Fanta®. Com polo de produção localizado em Maracanaú (CE), os insumos para a fabricação do novo refrigerante de caju, são adquiridos de produtores nordestinos de diferentes estados e serão distribuídos para outros estados do país, onde o produto também será fabricado (Mello, 2024).

### **3.2 Bagaço do pedúnculo do caju**

Após o despolpamento, etapa do processo de fabricação de sucos e polpas, gera-se um novo resíduo agroindustrial que representa cerca de 20% da massa do pseudofruto, o bagaço do pedúnculo de caju (BPC), um material rico em fibras dietéticas que mantém interessantes componentes do pseudofruto (Tamiello-Rosa, *et al.*, 2019). O aproveitamento do BPC é dificultado por uma série de questões, dentre as quais vale destacar a perecibilidade, uma vez que mesmo após a extração do suco de caju reduzir consideravelmente o teor de líquidos presente no pedúnculo, o mesmo ainda conserva parte dessa umidade, estando assim, susceptível a ação de microrganismos que conduzem ao apodrecimento do bagaço. A fim de evitar esse fenômeno empregam-se equipamentos de refrigeração como freezers (-18 °C) e ultrafreezers (-40 °C), de alto consumo energético, o que desfavorece sua utilização não-imediata. Outra alternativa empregada é a redução da umidade residual por secagem em estufa, que ocasiona o escurecimento do material e degradação térmica de alguns compostos, ou por liofilização, método consideravelmente mais caro, que requer uma estrutura específica que geralmente não é encontrada em locais que realizam o beneficiamento do caju.

Atualmente já há produtos no mercado que utilizam o bagaço de caju para compor produtos veganos como hambúrgueres e croquetes, mas a quantidade de resíduo gerada ainda é bem superior a adoção por estas indústrias (Saldanha, 2025; Lima, 2008).

A constituição química do bagaço é amplamente relatada pela literatura. No entanto, não são reportados estudos detalhados que realizem a caracterização química da fração insolúvel do pedúnculo de caju isolada pela extração das fibras solúveis (pectina) do bagaço.

### 3.3 Fibra dietética

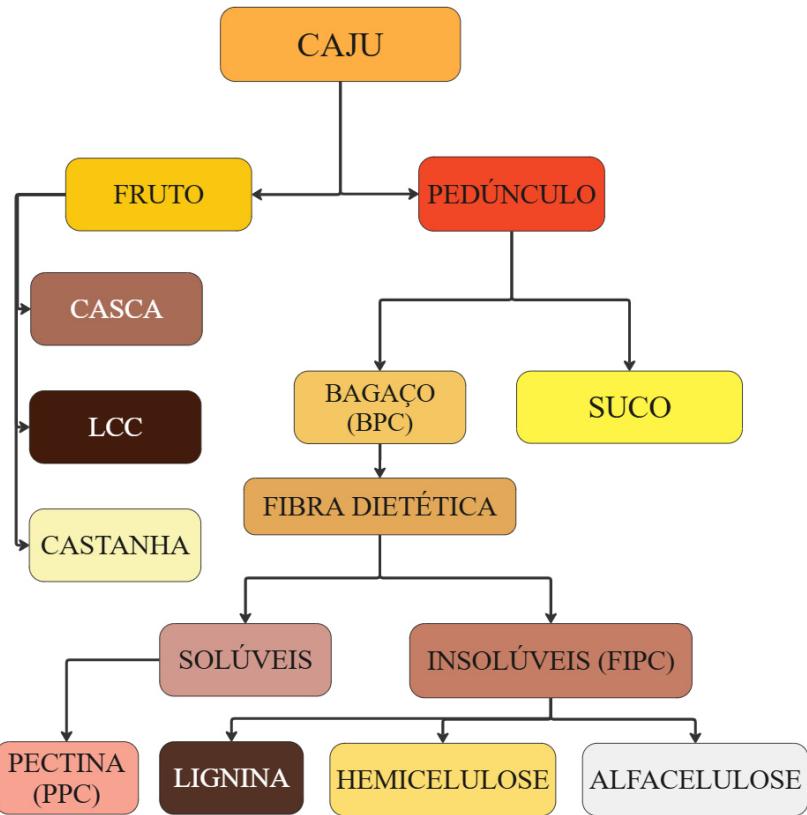
As fibras dietéticas, também chamadas de fibras alimentares, constituem um grupo de compostos presentes na maioria dos alimentos de origem vegetal, embora em diferentes concentrações. Esses compostos fazem parte da estrutura celular das plantas e incluem celulose, hemicelulose, lignina, pectinas, amidos e oligossacarídeos. Embora os seres humanos não possuam enzimas capazes de digerir a maioria dessas fibras, sua ingestão regular é essencial para o bom funcionamento do sistema digestivo (Anderson *et al.* 2009).

Diversos benefícios são atribuídos à ação das fibras no intestino, incluindo o aumento do volume fecal devido à absorção de água, a regulação da flora bacteriana intestinal por meio de processos fermentativos e a redução da absorção de colesterol e algumas gorduras (Kay, 1982).

As fibras dietéticas são classificadas em dois grupos, de acordo com sua solubilidade em água: fibras solúveis e insolúveis. Ambos os tipos são essenciais para a alimentação humana, desempenhando funções distintas no organismo (van Soest, 1978).

As fibras solúveis, como a pectina e as gomas, têm a capacidade de formar géis, contribuindo para a estruturação da massa fecal e auxiliando na regulação do trânsito intestinal. Já as fibras insolúveis, como a lignina, a hemicelulose e a celulose (Figura 3), apesar de não se dissolverem em água, possuem a capacidade de absorvê-la no intestino, tornando as fezes mais macias e facilitando sua evacuação (Norris, 2024). Dessa forma, a ingestão equilibrada de ambos os tipos de fibras é essencial para a manutenção da saúde digestiva e o bom funcionamento do organismo (Wang *et al.*, 2024).

Figura 3 – Esquema representativo dos principais componentes do caju.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3.1 Pectina

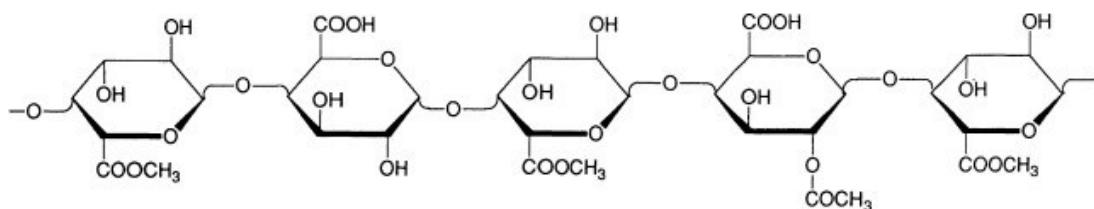
A pectina é um polissacarídeo de estrutura polimolecular complexa, semelhante aos demais constituintes das paredes celulares dos tecidos vegetais, sendo encontrada principalmente em estruturas não amadeiradas. Sua estrutura básica é composta por unidades de ácido galacturônico interligadas por ligações glicosídicas (C-O-C) (Figura 4).

A depender de sua composição, a estrutura da pectina pode apresentar grupos acetil e ésteres metílicos. Essas características influenciam diretamente suas propriedades funcionais, como a solubilidade e a capacidade de formar géis, sendo assim estabelecidos os graus de acetilação, de esterificação e de metilação. Para pectinas com alto grau de metilação/esterificação, a gelificação ocorre mais rapidamente e em temperaturas mais altas, condições que são preferíveis para diversos processos. O conjunto dessas propriedades tornam a pectina um composto amplamente utilizado nas indústrias alimentícia e farmacêutica. (Rolin, 1963).

As principais fontes de pectina são as frutas cítricas, que podem conter de 25-30% (m/m) desse polissacarídeo em suas cascas e 10-15% nas demais partes. No entanto, esses valores podem variar consideravelmente entre diferentes espécies e até mesmo dentro da mesma espécie, sendo influenciados por fatores como condições climáticas e características do solo na região de cultivo do fruto/pseudofruto (Rolin, 1963).

O bagaço do pedúnculo de caju (BPC) possui em uma constituição cerca de 10-15% de pectina, como reportado por Besson *et al.* (2014) e Saldanha *et al.* (2024), o que o torna uma fonte viável para a extração comercial da pectina, já que além de prover uma quantidade satisfatória de pectina (>10%), é um resíduo de baixo custo, gerado em grande quantidade e que carece de aplicações que explorem o seu verdadeiro potencial.

Figura – 4: Estrutura química da pectina.



Fonte: Rolin, 1963.

### 3.3.2 Fibras insolúveis

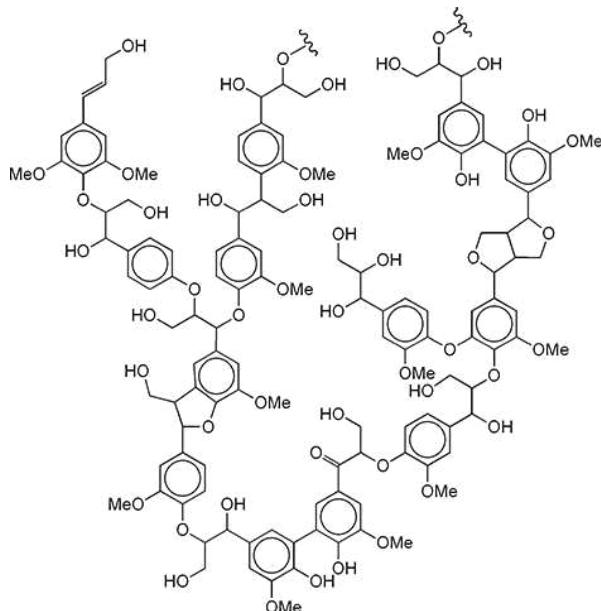
#### 3.3.2.1 Lignina

A lignina é um dos principais constituintes dos tecidos vegetais, compondo cerca de 18-35% de matéria seca da parede celular das plantas. Localizada majoritariamente nessas estruturas, em associação com celulose e hemicelulose, a composição da lignina muda bastante de uma fonte para outra, podendo apresentar variações significativas até mesmo em diferentes partes de uma mesma amostra vegetal. Em decorrência disso, não se classifica a lignina como uma substância fixa, mas sim como uma variedade de compostos formados por unidades de fenilpropanóides do tipo C<sub>6</sub>C<sub>3</sub> ou C<sub>9</sub>, ligadas em uma complexa estrutura polimérica (Saliba, *et al.*, 2001).

Na Figura 5 é possível identificar algumas das estruturas comumente encontradas na composição da lignina, que se repetem por toda a extensão do polímero. Os fenilpropanóides

de maior recorrência são os álcoois p-cumarílico, coniferílico e sinapílico, dotados de grupos hidroxilas (—OH) e metóxi (—OCH<sub>3</sub>) (del Rio, *et al.* 2005).

Figura 5 – Estrutura química geral da lignina.



Fonte:<<https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/l/lignin.html>>

Acesso em 19 de fevereiro de 2025.

As primeiras tentativas de isolamento da lignina foram realizadas há mais de 180 anos pelo químico francês Anselme Payen, por meio do tratamento de amostras de madeira com ácido nítrico e solução alcalina. Esse procedimento resultou na separação de um resíduo insolúvel, identificado posteriormente como celulose, e de uma fração solubilizada, que viria a ser denominada lignina (Glasser *et al.*, 1999).

Na indústria de papel, a lignina representa um desafio significativo, pois dificulta o isolamento da celulose e, mesmo em processos já bem estabelecidos como o método Kraft, sua remoção na forma de licor negro gera resíduos que não são facilmente tratados. Devido à ausência de alternativas economicamente viáveis para seu aproveitamento em larga escala, esse licor, rico em lignina, é frequentemente incinerado para a geração de energia, resultando na subutilização de um material com potencial para diversas aplicações industriais (Gouvea *et al.*, 2017).

Para determinação do teor de lignina dos resíduos do bagaço de caju, foi empregado o método de Klason, que realiza o isolamento da lignina através de uma hidrólise ácida, capaz de degradar e tornar possível a remoção dos demais constituintes da fibra vegetal, liberando a lignina na forma de resíduo insolúvel (Saliba *et al.*, 2001).

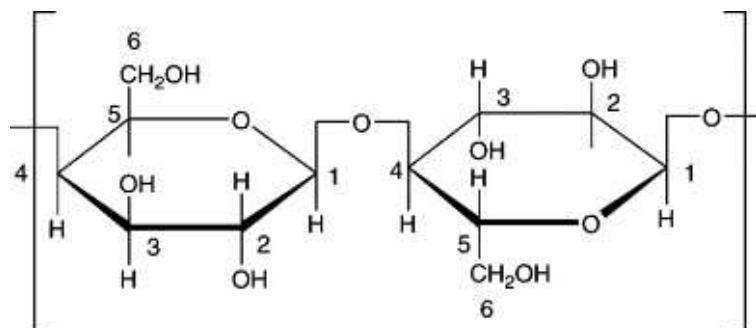
### 3.2.2.2 Holocelulose, hemicelulose e alfacelulose

Dentro da classificação das fibras dietéticas insolúveis, identificam-se a lignina e um conjunto de polissacarídeos não lignificadas denominado holocelulose. Dessa forma, após a remoção da lignina de uma amostra vegetal, obtém-se um material composto por polissacarídeos lineares de glicose (alfacelulose) e diversos polissacarídeos heterogêneos formados por pentoses e hexoses (hemicelulose). Assim, o termo holocelulose é utilizado para se referir, conjuntamente, à alfacelulose e à hemicelulose, na ausência de lignina (Yang *et al.*, 2021).

A determinação do teor de holocelulose de uma amostra vegetal pode ser procedida através de uma determinação direta por gravimetria, em que é necessário isolar a holocelulose a partir de um processo de deslignificação, que como o termo sugere, causa a remoção completa ou majoritária da lignina, através de reações redox com o  $\text{ClO}_2^-$ , restando apenas as fibras holocelulósicas. Após o isolamento, a massa da holocelulose é medida e comparada ao quantitativo exato utilizado no início processo. A determinação indireta pode ser realizada quando se tem conhecimento dos teores dos demais constituintes do material, como a umidade, teor de cinzas, teor de extractivos, e o teor de lignina (Neto *et al.*, 2013).

A celulose, também chamada de alfacelulose (ou  $\alpha$ -celulose) é um polissacarídeo linear de alto peso molecular, constituído por unidades de  $\beta$ -D-anidroglicopiranose (Figura 6) formadas a partir da condensação de moléculas de glicose. Sua estrutura apresenta uma organização majoritária cristalina (60%), com moléculas dispostas conforme a organização ideal, e uma outra região de construção irregular ou amorfa (40%), na qual monossacarídeos se ligam através de ligações de hidrogênios, ao invés das ligações glicosídicas predominantes no restante da estrutura (Pedrazzi *et al.*, 2019).

Figura 6 – Representação da ligação glicosídica entre unidades de  $\beta$ -D-anidroglicopiranose.

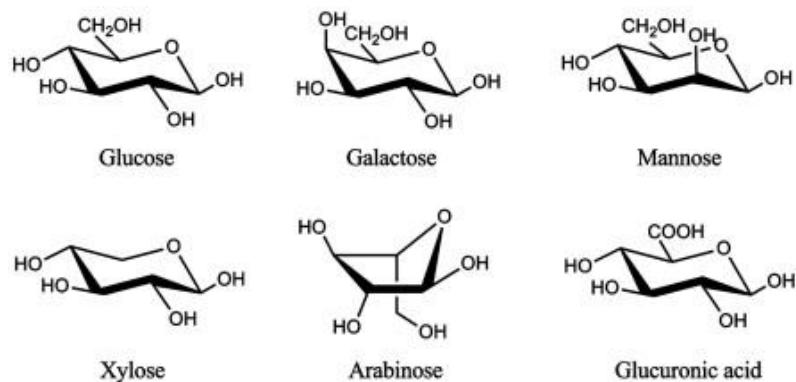


Fonte: Koh, 2011.

Por sua vez, a hemicelulose não possui uma constituição tão uniforme quanto a celulose, possuindo um caráter amorfó mais semelhante a lignina. É observada a ocorrência de outros monômeros além da glicose (Figura 7), como pentoses, hexoses e ácidos urônicos, tornando sua estrutura mais irregular e de menor peso molecular (Pedrazzi *et al.*, 2019).

Na ausência de lignina, a hemicelulose pode ser facilmente dissolvida em uma solução de hidróxido de sódio 17,5%, enquanto que a alfacelulose permanece insolúvel. Torna-se possível, então, a partir da holocelulose determinar o teor de alfacelulose (de maneira direta) e de hemicelulose (de maneira indireta) de uma amostra vegetal (Sarkar *et al.*, 1948).

Figura 7 – Monossacarídeos presentes na composição da hemicelulose.



Fonte: Li *et al.*, 2013.

### 3.4 Caracterização química

A caracterização química é um procedimento fundamental para a indústria, uma vez que a partir de métodos oficiais de análise, torna-se possível a identificação e quantificação das substâncias que fazem parte da composição química de um material. Esses dados fornecem informações essenciais sobre suas propriedades físico-químicas, conhecimento necessário para entender o comportamento de determinado material em diferentes condições de processamento. Torna-se possível o estabelecimento de padrões e métricas específicas, imprescindíveis para a consistência e segurança de processos industriais, bem como para garantia da qualidade e reproduzibilidade de processos e produtos. A caracterização química ainda possibilita a exploração de novas aplicações para um material, ao revelar componentes que possam vir a ser de interesse para determinado produto, ou o contrário, componentes que desencorajem o uso para determinada finalidade (Lima *et al.*, 2012).

Dessa forma, é de suma importância realizar a caracterização química da fração insolúvel do pedúnculo de caju, não apenas para entender a sua composição, mas também para que a sua aplicabilidade ocorra de maneira mais precisa e eficiente.

### 3.5 Umidade e Atividade de Água

A umidade de uma amostra pode ser representada pela quantidade de água presente na mesma, podendo ser expressa na forma de teor de umidade, ao considerar a porcentagem de água para determinada quantidade do material. Por sua vez, a atividade de água se refere a quanto da água presente no material está disponível para atividade de microrganismos. São parâmetros amplamente utilizados para garantir o controle de qualidade e segurança em diversos segmentos da indústria, desde a construção civil, influenciando na resistência e durabilidade do concreto, até na agricultura, em que a umidade do solo desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de uma plantação. No setor alimentício, há um controle rigoroso sobre a quantidade de água presente nos alimentos e, principalmente, sobre a fração disponível para a atividade de microrganismos, medida pela atividade de água (AA). O teor de umidade, por si só, não é suficiente para monitorar essa atividade. Embora amostras com alto teor de umidade geralmente apresentem uma atividade elevada, existem produtos com alta umidade e baixa atividade de água, assim como o oposto. Isso ocorre porque a composição do alimento também influencia esse parâmetro, uma vez que alguns ingredientes reduzem a disponibilidade da água sem alterar seu teor total. A determinação da atividade de água é essencial para a segurança e o controle de qualidade, pois produtos com  $AA > 0,6$  estão suscetíveis à proliferação de microrganismos indesejados, comprometendo sua integridade e reduzindo sua vida útil. (Soares, 2024; Karuppuchamy, 2024).

São reportados uma série de metodologias para determinação do teor de umidade, as mais comuns fazem uso de estufa e do método termogravimétrico, onde se compara a massa do material úmido e após a secagem. Para a atividade de água, são comparadas a pressão parcial de vapor do alimento e a da água pura, para uma mesma temperatura (Reid *et al.*, 2008).

Existem instrumentos laboratoriais específicos a essas finalidades, os chamados analisadores de umidade e analisador de atividade de água, que determinam com precisão o teor de umidade, consequentemente o teor de massa seca e a atividade de água de uma amostra (Araújo *et al.*, 2006). O medidor de umidade Marte ID-50, utiliza uma fonte de calor infravermelho para aquecer e retirar a umidade de uma pequena quantidade de amostra até que não seja verificada variação de massa, exibindo em seu visor, o teor de massa seca. O analisador

de atividade de água Aqua-lab 4TE possui uma câmara isolada equipada com um sistema que detecta e mede a umidade relativa do ar após o equilíbrio entre a pressão de vapor de uma amostra com o ambiente da câmara (Prada-Ramírez *et al.*, 2024).

### 3.6 Cinzas

Quando uma amostra vegetal é submetida a altas temperaturas na presença de oxigênio, ocorre a combustão da matéria orgânica. Se essa combustão for mantida por tempo suficiente, forma-se um resíduo sólido composto por um pó que não é consumido pelas chamas: as cinzas. Essas cinzas correspondem à fração inorgânica da matéria vegetal calcinada, que não sofre degradação completa e permanece mesmo após a queima total da matéria orgânica (Reina *et al.*, 2022).

O teor de cinzas é um parâmetro fundamental para avaliar a pureza de uma amostra, seja ela vegetal, alimentícia ou mineral. Essa análise permite identificar adulterações ou a presença de componentes tóxicos no material. A determinação do teor de cinzas é relevante, também, para avaliação dos demais constituintes do bagaço do caju e para as análises lignocelulósicas, já que deverá ser utilizado para correção dos demais teores. O método mais utilizado para a determinação do teor percentual de cinzas consiste na calcinação da amostra em forno mufla, em uma faixa de temperatura de 550 a 600 °C, seguida pela pesagem das cinzas remanescentes (Sluiter *et al.*, 2005).

### 3.7 Extrativos

São caracterizados como extrativos, todo o conteúdo capaz de ser removido de uma amostra vegetal pela ação de solventes polares ou apolares. Nessa classificação, estão inclusas inúmeras substâncias, como sais, óxidos, álcoois, gorduras, ésteres, compostos fenólicos, açucares, entre outros (Morais *et al.*, 2010). Devido a enorme variedade de substâncias que podem ser subtraídas na forma de extrativos, não é possível restringir sua atividade a apenas uma, elas desempenham inúmeras funções na matriz de origem.

O pedúnculo de caju é rico em compostos bioativos, incluindo vitamina C, flavonoides e carotenoides, como as xantofilas, responsáveis pela coloração amarelada da polpa. Entre os carotenoides identificados, destaca-se o  $\beta$ -caroteno, conhecido por sua atividade antioxidante *in vivo*, atributo de grande interesse na prevenção de doenças, como o câncer (Abreu *et al.*, 2013).

No contexto das análises lignocelulósicas, entretanto, não se busca a caracterização detalhada dos compostos presentes nos extratos, tampouco sua atividade biológica ou aplicações potenciais. Durante a extração por solvente, espera-se a remoção total ou majoritária desses compostos, permitindo a estimativa de seu teor no material analisado por gravimetria. Esse procedimento não apenas fornece uma medida quantitativa dos extrativos, mas também minimiza possíveis interferências desses compostos em etapas subsequentes da análise (Sluiter *et al.*, 2008).

### **3.8 Lipídios totais**

A determinação de lipídios totais baseia-se em um processo de extração por solvente, no qual as gorduras devem apresentar interação suficientemente forte com o solvente para que sua extração ocorra de maneira eficiente. Para que a análise seja realizada da melhor forma possível, é essencial garantir o contato adequado do solvente com o analito por tempo suficiente, permitindo que os lipídios presentes nas células oleíferas migrem para o solvente e sejam removidos do material analisado. O uso de aquecimento é um fator que facilita esse processo, pois reduz a viscosidade dos lipídios e enfraquece as estruturas celulares, favorecendo a extração (Shin *et al.*, 2015).

Para a determinação desse macronutriente, podem ser empregadas técnicas mais simples, como a extração por soxhlet, ou métodos mais sofisticados, que fazem uso de equipamentos específicos para essa finalidade. Um exemplo amplamente utilizado na indústria de alimentos é o extrator de gordura (ANKOM XT15), essencial para a quantificação do teor de gorduras em amostras alimentícias. Esse equipamento é fundamental para a composição dos dados nutricionais dos alimentos, permitindo um conhecimento mais detalhado do material analisado e possibilitando uma manipulação mais precisa e adequada (ZeinEddine *et al.*, 2021).

### **3.9 Proteínas totais**

Existem, no mercado, uma série de equipamentos capazes conduzir a determinação de proteínas totais de maneira automatizada, gerando resultados precisos e comprovadamente confiáveis. É o caso do Analisador de nitrogênio (Dumas VELP NDA 701), que como sugerido pelo nome, faz uso do método Dumas para chegar aos resultados de percentual proteico das amostras analisadas.

O equipamento conta com um amostrador automático, que faz a inserção da amostra na forma de uma cápsula de estanho, em uma câmara de combustão que opera a temperaturas superiores a 900 °C. Como resultado da combustão do analito na presença de oxigênio, ocorre a formação de alguns gases, como água (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Essa mistura de gases é então guiada através de um sistema de armadilha, onde ocorre a retenção da maior parte da água. Em seguida, os gases passam por um reator de redução que contém cobre, responsável por pela redução dos óxidos de nitrogênio a nitrogênio elemental (N<sub>2</sub>) e por outra armadilha de água, absorvendo algum resquício de água remanescente. Finalmente, ocorre a adsorção de todo o conteúdo de CO<sub>2</sub>, e o nitrogênio elementar pode ser quantificado por um detector de condutividade térmica (TCD). Os dados são então registrados na forma de uma curva pelo software DUMASoft™, que realiza a medição da área da curva e as conversões necessárias para a obtenção do resultado final, o teor de proteína bruta (VELPScientificaTV, 2013).

### **3.10 Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier**

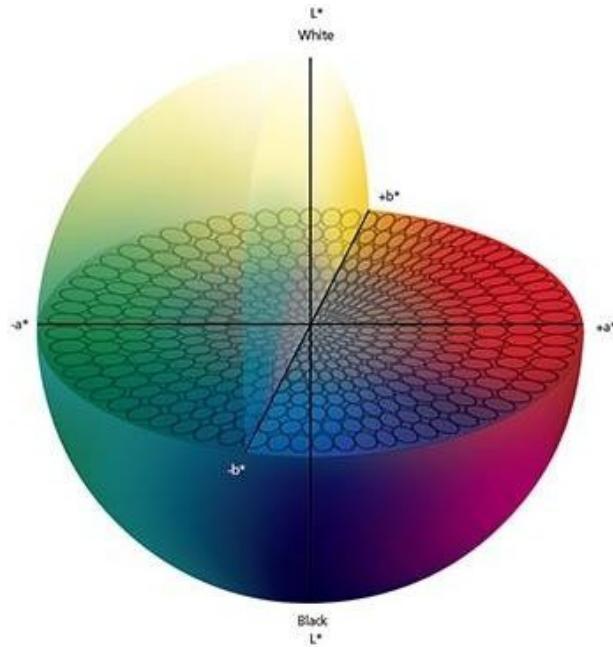
A espectroscopia de absorção na região do infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) é uma das técnicas analíticas mais utilizadas para a identificação e caracterização de compostos orgânicos. Esse método baseia-se na capacidade das moléculas de absorverem energia eletromagnética em determinados comprimentos de onda, resultando em vibrações moleculares específicas. O equipamento registra essas absorções e gera um espectro que relaciona a intensidade da absorção com o número de onda. Como os perfis de absorção dos diferentes compostos já são amplamente conhecidos e organizados em bibliotecas de referência, é possível analisar e identificar um determinado composto comparando seu espectro com os dados previamente registrados (Vieira, 2023).

Para as fibras de caju, a espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) é uma ferramenta fundamental para a identificação de estruturas específicas presentes em sua composição química. Quando associada a outras técnicas analíticas, essa análise não apenas permite a caracterização dos componentes, mas também fornece dados valiosos para a avaliação de possíveis modificações na estrutura química do material, resultantes de diferentes processos de tratamento ou extração (Resende *et al.*, 2020).

### **3.11 Colorimetria**

O princípio da identificação de cores em escalas específicas surgiu da necessidade de uniformizar a forma como as tonalidades são descritas. Para evitar discrepâncias na percepção das cores por diferentes observadores, a Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) desenvolveu um método para padronizar e aumentar a precisão na expressão das cores. Esse sistema, conhecido como espaço de cor L\*a\*b\* (Figura 8), utiliza três coordenadas: L\*, que indica a luminosidade, e a\* e b\*, que representam as tonalidades. Quanto maior o valor de L\*, mais clara é a cor, e quanto menor, mais escura. Por sua vez, as coordenadas a\* e b\* utilizam da teoria das cores opostas em que a\* varia do verde ao vermelho e b\* varia do azul ao amarelo. A partir dessas três coordenadas, é possível descrever uma ampla variedade de cores, tornando a comunicação mais eficaz nos processos industriais.

Figura 8 – Espaço de cor CIElab.



Fonte:<<https://www.xrite.com/blog/tolerancing-part-3>> Acesso em 18 de fevereiro de 2025.

A cor é um atributo essencial no controle de qualidade dos processos produtivos, pois representa uma das características mais importantes de um produto. Ela pode torná-lo mais atrativo, facilitar sua identificação e até mesmo influenciar as emoções do consumidor (Adebawale *et al.*, 2011). A colorimetria torna esse controle mais preciso, permitindo a comparação direta da cor de um produto com um padrão previamente estabelecido, além de possibilitar a quantificação da diferença entre duas cores. Essa diferença, conhecida como delta ( $\Delta E$ ) utiliza as coordenadas L\*a\*b\* de dois objetos. Quanto maior o valor de  $\Delta E$ , mais distintas

são as cores analisadas. O produtor deve estabelecer limites aceitáveis para  $\Delta E$ , considerando que o olho humano é capaz de perceber variações de cor quando  $\Delta E$  é superior a 1 (Tabela 1).

Tabela 1 – Escala óptica de variação de cor ( $\Delta E$ ) e faixa de percepção visual.

<b><math>\Delta E</math></b>	<b>Percepção visual</b>
<b><math>\leq 1,0</math></b>	Imperceptível pelo olho humano
<b>1-2</b>	Perceptível sob observação atenta
<b>2-10</b>	Perceptível à primeira vista
<b>11-49</b>	Cores mais similares do que opostas
<b>100</b>	Cores são exatamente opostas

Fonte: Adaptada de <https://zschuessler.github.io/DeltaE/learn/> Acesso em 18 de fevereiro de 2025.

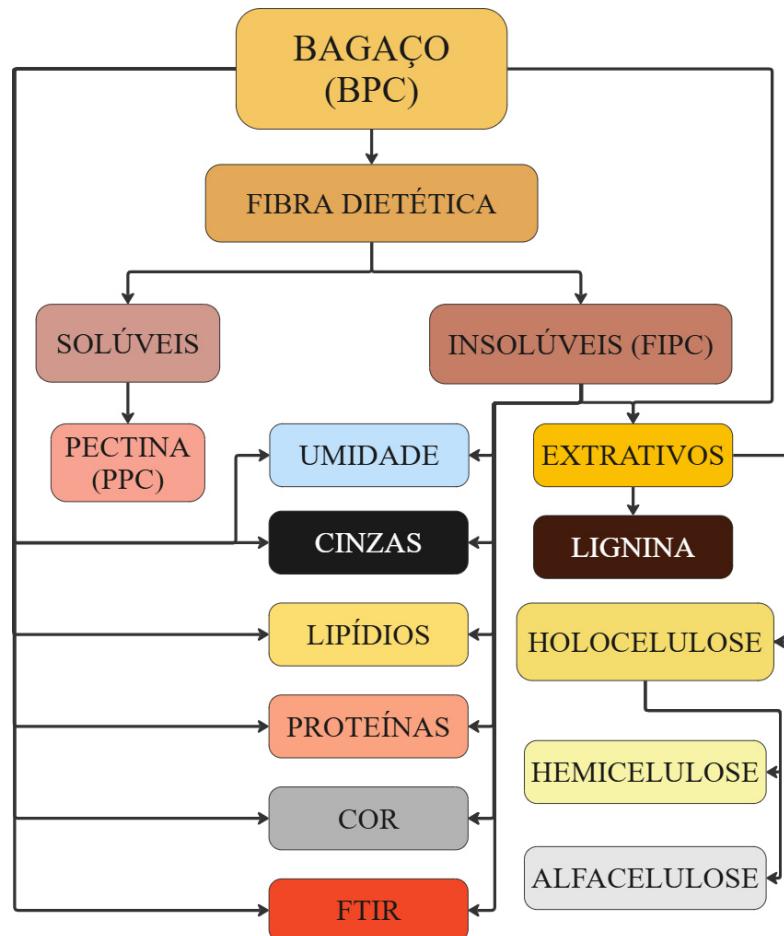
Para quantificar esses atributos, utilizam-se instrumentos como colorímetros e espectrofotômetros, que medem a luz refletida por um objeto em um determinado comprimento de onda ou em faixas espectrais específicas, convertendo-a em dados numéricos dentro do espaço de cor  $L^*a^*b^*$  (Mouw, 2018). A principal diferença entre esses dois instrumentos está na forma como analisam a luz. O colorímetro é um dispositivo mais simples e prático, que determina a cor de um objeto com base na luz percebida, comparando-a com padrões conhecidos. Já o espectrofotômetro é um equipamento mais avançado, capaz de gerar espectros completos com maior precisão e detalhamento (Basha, 2020).

No contexto das fibras alimentares, a cor também é utilizada para identificar fenômenos que ocorrem durante o seu processamento. O escurecimento é um fenômeno muito comum quando se trabalha com fibras vegetais, possuindo inúmeras causas conhecidas, dentre elas estão: ação enzimática de catálise de oxidação de compostos fenólicos, em que as mais comuns são as enzimas polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD) e fenilalanina amônia-liase (PAL), degradação térmica, exposição a condições de pH extremo, reações de Maillard, caramelização de açucares, entre outros (Celestino, 2010).

## 4 METODOLOGIA

Os procedimentos experimentais realizados neste trabalho foram divididos em dois grupos principais de análises (Figura 9). Primeiramente, a composição química da fibra foi avaliada a partir da determinação dos teores de umidade, cinzas, proteínas e lipídios totais do bagaço do pedúnculo de caju liofilizado (BPC) e da fração insolúvel do bagaço do pedúnculo de caju (FIPC). Ambas as fibras foram caracterizadas quanto aos componentes lignocelulósicos, por espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e as análises de cor foram realizadas por espectrofotometria no visível.

Figura 9 – Esquema representativo das análises realizadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1 Obtenção do bagaço de caju

O bagaço do pedúnculo de caju congelado (Figura 10) foi cedido pela empresa Itaueira, localizada na cidade de Palhano – CE. O material foi seco em liofilizador (Liopat LP 510), triturado em um moinho analítico de impacto (IKA A11) e armazenado em um frasco hermético.

Figura 10 – Bagaço do caju congelado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2 Obtenção da fração insolúvel do pedúnculo de caju

Primeiramente, o bagaço do pedúnculo do caju (BPC) foi submetido a extração de pectinas que são fibras solúveis com valor comercial. A fração insolúvel foi separada após a etapa de extração de pectinas com ácido cítrico e aquecimento conforme metodologia descrita a seguir. A proporção sólido-líquido foi estabelecida em 1:30 (massa de bagaço, em g, por volume de solução de ácido cítrico 0,01 M, em mL) em pH 2,5. A dispersão foi submetida à agitação e aquecimento a 90 °C, por 1 hora e 45 minutos. Em seguida, o conteúdo foi centrifugado a 4000 rpm, 25 °C por 10 minutos e a pectina solubilizada foi separada do precipitado por filtração usando uma malha de aço 63 µm. A fração insolúvel do pedúnculo de caju (FIPC) foi coletada e a pectina foi suspensa durante a noite em álcool etílico 96° GL em 1:2 (v/v) a 4 °C e posteriormente, centrifugada a 10000 rpm, 4 °C, por 10 minutos. A pectina e a fração insolúvel do pedúnculo de caju foram então secas em estufa com circulação de ar a 60 °C até atingir massa constante, e reduzidas a pó em moinho analítico de impacto (IKA A11) (Pinho *et al.*, 2011).

Para o cálculo do rendimento percentual ( $\eta\%$ ) do processo de extração da pectina e da fração insolúvel do pedúnculo de caju, fez-se uso da equação (1), em que  $m_{Amostra}$ , é a massa do produto final, seja PPC ou FIPC e  $m_{BPC}$  é a massa de bagaço de caju da qual se realizou a extração.

$$\eta\% = \frac{m_{Amostra}}{m_{BPC}} \times 100 \quad (1)$$

#### 4.3 Determinação do teor de umidade e atividade de água

Para determinar o teor de umidade das amostras secas, foi utilizado um medidor de umidade Marte ID50. Para cada análise, pesou-se 2,0g de amostra e o equipamento foi programado para 105 °C. Ao final de cada medida, o visor apresentou o teor de massa seca (TS%), do qual foi subtraído de 100 para a obtenção do teor de umidade (TU%), conforme exibido na equação 2 (Sousa *et al.*, 2016). Os testes foram realizados em triplicata.

A avaliação da atividade de água das amostras ocorreu por meio de um analisador de atividade de água (Aqua-lab 4TE) a 25°C (Figura 11), com leitura diretamente no equipamento. Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

$$Teor\ de\ umidade\ (TU\%) = 100 - Teor\ de\ matéria\ seca\ (TS\%) \quad (2)$$

Figura 11 – Analisador de atividade de água (Aqua-lab 4TE).



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.4 Caracterização química das fibras

### 4.4.1 Análise de Lipídios

Para a determinação de lipídios, utilizou-se um extrator automático de gordura bruta XT15 ANKOM (Figura 12), seguindo o método AOCS Am 5-04 (2005). O equipamento usa filtro XT4, específicos para essa análise, que devem ser previamente secos em estufa por 30 minutos, resfriados em dessecador e pesados. Para a identificação das amostras, os filtros foram acondicionados em cápsulas metálicas numeradas, com massa previamente determinada. Em seguida, cada filtro foi preenchido com 1 g de amostra, selado e novamente seco em estufa por 3 horas. Após esse período, pesaram-se os filtros contendo as amostras para quantificar a umidade removida. O extrator (XT15 ANKOM) foi preenchido com hexano até a marcação indicada, e as amostras foram inseridas em seu interior. A extração ocorreu por 60 minutos a 60 °C. Concluído esse tempo, os filtros foram removidos do equipamento e levados à estufa para garantir a completa eliminação do solvente residual. Finalmente, após resfriamento em dessecador, os filtros foram novamente pesados. A análise foi realizada em quintuplicata e os dados obtidos foram registrados e utilizados para o cálculo do teor de lipídios das fibras de caju em questão, pela equação 3. Em que  $m_s$  é a massa de amostra seca,  $m_f$  é a massa de amostra após extração dos lipídios (Gomes *et al.*, 2012).

$$\text{Lipídios totais (L\%)} = \left( \frac{m_s - m_f}{m_s} \right) \times 100 \quad (3)$$

Figura 12 – Extrator de Gordura ANKOM XT15.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4.2 Análise de Proteínas

A determinação de proteínas totais foi obtida utilizando um analisador de nitrogênio pelo método Dumas (VELP NDA 701), certificado por AOAC (2016) método 960.52. Para dar início a análise, cerca de 50 mg das amostras foram adicionadas em cápsulas de estanho e inseridas no amostrador automático do equipamento (Dong *et al.*, 2017).

O analisador de nitrogênio Dumas (VELP NDA 701) (Figura 13) é operado e registra os resultados das análises através do software DUMASoft™, automatizando o tratamento dos dados com base nas respostas geradas pelo equipamento e com os dados de massa fornecidos pelo operador. Após a combustão da amostra, e isolamento do N<sub>2</sub>, o nitrogênio elementar é quantificado pelo detector e convertido para teor de proteínas bruto pelo fator 6,25 (fator específico para determinação microquímica de nitrogênio para alimentos em geral) (Hernández-Corroto *et al.*, 2024).

Figura 13 – Analisador de nitrogênio VELP NDA 701.



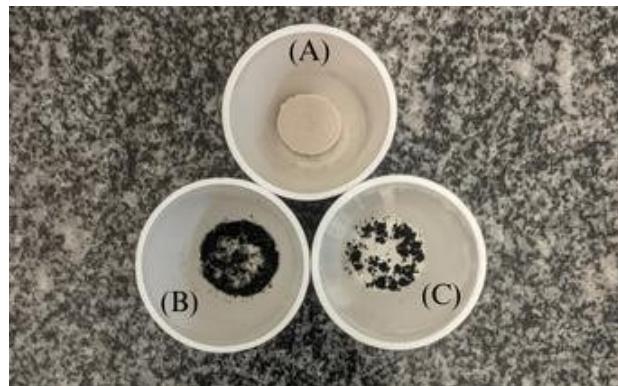
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4.3 Determinação do teor percentual de cinzas

A fim de determinar o teor percentual total de cinzas das amostras, foi empregado o método de calcinação em forno mufla (AOAC 923.03) adaptado. Para isso, cadinhos de porcelana de 50 mL, previamente calcinados e com massa exatamente conhecida, foram utilizados para acondicionar 5,0000g de amostra. O sistema foi submetido a uma rampa de

aquecimento de aproximadamente 9,6 °C/min até atingir 600 °C, permanecendo nessa temperatura por 3 horas. Após resfriamento em dessecador, os cadinhos contendo as cinzas (Figura 14) foram pesados em balança analítica com precisão de quatro casas decimais.

Figura 14 – Cinzas do BPC (A), da FIPC (B) e FIPC-L (C).



Fonte: Elaborado pelo autor

Em posse das massas dos cadinhos ( $m_c$ ), das amostras ( $m_a$ ) e do conjunto cadinho-cinzas ( $m_t$ ) foi possível calcular o teor percentual de cinzas pela equação 4. Foram consideradas três replicatas de cada uma das fibras de caju.

$$\text{Teor percentual de cinzas (TC\%)} = \frac{m_c - m_a}{m_t} \times 100 \quad (4)$$

## 4.5 Análise de componentes lignocelulósicos

### 4.5.1 Redução da acidez das amostras

Para as análises lignocelulósicas, o bagaço de pedúnculo de caju foi submetido a lavagens com água de osmose reserva até se obter redução significativa da condutividade objetivando reduzir a concentração de ácido cítrico e açucares remanescentes do processo de extração da pectina e assim evitar desvios nos resultados. Dessa forma, o material acidificado úmido foi disperso em água destilada, na proporção de 1:60 (g de BPC utilizado na extração / 60mL de água destilada), recolhido em peneira de 20 µm de abertura de malha e redisperso em água destilada sob a mesma proporção. Este processo foi repetido três vezes até que a dispersão alcançasse condutividade 0 e pH constante. O acompanhamento da condutividade e do pH das dispersões foi realizado com o auxílio de um condutivímetro de bolso (AKSO AK52) e um

pHmetro de bancada (MPA-210) conectado a um eletrodo para semissólidos (AKSO 2015PC), respectivamente. A FIPC-L coletada na peneira foi seca seguindo o mesmo método da FIPC.

#### 4.5.2 Determinação do teor percentual de extrativos

Para a determinação do teor de extrativos, foi realizada uma extração em soxhlet com hexano. Filtros de papel, previamente secos em estufa a 105 °C e pesados, foram utilizados para acondicionar 5,00g de amostra. O cartucho contendo a amostra foi então inserido no interior de um extrator soxhlet acoplado a um balão de fundo chato de 500 mL contendo 400 mL de hexano e conectado a um sistema de condensação. A extração foi conduzida por aproximadamente 6 horas, garantindo a ocorrência de, pelo menos, 24 ciclos de refluxo do solvente. Após o último ciclo, a extração foi interrompida e o cartucho contendo a amostra isenta de extrativos foi submetido à secagem em estufa a 105 °C por 1 hora, assegurando a completa remoção do hexano. Após resfriamento em dessecador, o cartucho foi pesado e a amostra livre de extrativos foi coletada para a realização das demais análises (Sluiter *et al.*, 2008).

As extrações foram realizadas em triplicata e as massas da amostra ( $m_a$ ), do filtro de papel ( $m_f$ ) e do conjunto filtro de papel-amostra isenta de extrativos ( $m_t$ ), foram utilizadas para calcular o teor de extrativos do bagaço do pedúnculo de caju (BPC) e de sua fração insolúvel (FIPC-L), pela equação 5. Utilizou-se, também os dados referentes a determinação do teor de umidade (TU%) calculado anteriormente, para corrigir o teor de extrativos (TE%), procedimento necessário para encontrar o resultado de acordo com a matéria seca (livre de umidade), como apresentado na equação 6:

$$Teor\ de\ extrativos\ (TE\%) = \frac{(m_f + m_a) - m_t}{m_a} \times 100 \quad (5)$$

$$Teor\ de\ extrativos\ corrigido\ (TEc\%) = \frac{TE\% \times (100 - TU\%)}{100} \quad (6)$$

#### 4.5.3 Determinação do teor percentual de lignina

Para determinação do teor de lignina, foi utilizado o método Klason com algumas alterações. Cerca de 1,00g de amostra proveniente da análise de extrativos (livre de umidade e extrativos) foi macerada em 17,0 mL de ácido sulfúrico 72%, durante 15 minutos, garantindo o

contato de toda a amostra com o ácido. O almofariz foi mantido em repouso por 24 horas e então foi adicionado 306 mL de água destilada. Transferiu-se quantitativamente o conteúdo do almofariz para um balão de fundo redondo de 1 L e o sistema foi mantido em refluxo por 4 horas. Em seguida, o conteúdo do balão foi transferido para um funil de vidro sinterizado ASTM 4 de 250 mL, de massa exatamente conhecida, para separação da lignina insolúvel. O precipitado (Figura 15) foi enxaguado várias vezes até verificação de um pH próximo ao da água destilada utilizada. Finalmente, o conjunto funil-lignina foi seco em estufa a 105 °C por 24 horas e pesado para cálculo do teor de lignina (Cequier *et al.*, 2019). A análise foi feita em triplicata e os resultados foram obtidos pela média aritmética dos três valores.

Figura 15 – Lignina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos pela pesagem dos funis contendo a lignina isolada bem como os teores de cinzas pré-estabelecidos (TC%), foram utilizados para calcular o teor de lignina (TL%) através da equação 7, onde  $m_t$  é a massa do conjunto funil-lignina,  $m_f$  é a massa do funil e  $m_a$  é a massa de amostra. De maneira análoga ao cálculo do teor de extractivos, se faz necessária a utilização da equação 8 para correção do teor de ligninas encontrado.

$$Teor\ de\ lignina\ (TL\%) = \left( \frac{m_t - m_f}{m_a} \times 100 \right) - TC\% \quad (7)$$

$$Teor\ de\ lignina\ corrigido\ (TLc\%) = \frac{TL\% \times [(100 - (TE\% + TU\%))] }{100} \quad (8)$$

#### 4.5.4 Determinação do teor de holocelulose

A determinação de holocelulose das amostras foi realizada por meio da oxidação da lignina em meio ácido (Nelson, 1961). Para isso, aproximadamente 3 g do material previamente submetido à extração em soxhlet foi adicionado a um erlenmeyer de 500 mL contendo 120 mL de água destilada. Em seguida, acrescentaram-se 1 mL de ácido acético glacial ( $>99,85\%$ ) e 2,5 g de clorito de sódio (80%). O sistema foi aquecido a 70 °C e um erlenmeyer de 25 mL foi posicionado sobre a boca do frasco maior para conter o gás cloro liberado. Após 1 hora de reação, adicionaram-se novamente ácido acético glacial e clorito de sódio, nas mesmas proporções, e o sistema foi fechado. Ao final da segunda hora de reação, realizou-se mais uma adição de 1 mL de ácido acético glacial e 2,5g de clorito de sódio, mantendo-se o aquecimento por mais 3 horas. Concluído esse período, o erlenmeyer foi resfriado em banho de gelo por 30 minutos e, em seguida, seu conteúdo foi transferido para um funil de vidro sinterizado de 250 mL, do tipo ASTM G2. A lavagem do filtrado foi realizada com sucessivas adições de água destilada, até que o pH se aproximasse ao da água e então fez-se uma lavagem final com 10 mL de acetona. Por fim, o funil contendo a holocelulose foi seco em estufa a 105 °C por 18 horas e pesado. A holocelulose (Figura 16) obtida foi coletada e posteriormente utilizada para a determinação de alfacelulose.

Figura 16 – Holocelulose.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A quantificação do teor de holocelulose (TH%) nas fibras de caju seguiu o mesmo princípio adotado nas demais análises lignocelulósicas. A partir de um quantitativo conhecido de bagaço de caju ( $m_a$ ), da massa do funil seco e arrefecido ( $m_f$ ) e da massa do mesmo funil contendo a holocelulose seca ( $m_t$ ) e resfriada em dessecador com sílica gel, calculou-se o teor

TH% pela equação 9.

$$Teor\ de\ holocelulose\ (TH\%) = \frac{m_t - m_f}{m_a} \times 100 \quad (9)$$

Considerando que a amostra utilizada na determinação do teor de holocelulose foi obtida a partir do material recuperado ao final da extração por solvente, tornou-se necessário corrigir os valores com base nos teores de umidade (TU%) e extrativos (TE%), assegurando que os resultados sejam expressos em termos de massa seca. Para essa correção, utilizou-se a equação 10, em conformidade com o ajuste realizado no cálculo do teor de lignina.

$$Teor\ de\ holocelulose\ corrigido\ (THc\%) = \frac{TH\% \times [(100 - (TE\% + TU\%))] }{100} \quad (10)$$

#### 4.5.5 Determinação do teor de alfacelulose

Sabendo que a alfacelulose (Figura 17) possui a característica de não se dissolver em um meio básico, torna-se possível a utilização de uma solução de hidróxido de sódio para remoção da hemicelulose, já que esta pode sim ser degradada em meio alcalino. Ciente disso, aproximadamente 1,00g de holocelulose foi adicionada a um almofariz de porcelana, que continha 15 mL de uma solução 17,5% de hidróxido de sódio. Após 2 minutos de contato, a amostra foi macerada durante 8 minutos para aumentar a área de contato com a base e assegurar a uniformidade da análise. Após a adição de 40 mL de água destilada, a solução foi transferida para um funil de vidro sinterizado de 250 mL do tipo ASTM G2 e o filtrado teve seu teor básico reduzido por enxagues com água destilada, até pH próximo ao da água utilizada. O filtrado juntamente com o funil foi levado para secagem em estufa a 105 °C por 18 horas, resfriado por 30 minutos em dessecador e pesado (Lima *et al.*, 2015). O procedimento foi realizado em triplicata.

Figura 17 – Alfacelulose.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo em vista que a análise foi realizada a partir do conteúdo de holocelulose isolado, o teor de alfacelulose (TA%) calculado pela equação 11, diz respeito a porcentagem de alfacelulose que compõe a holocelulose. Para encontrar o real valor do teor de alfacelulose nos resíduos analisados, deve-se considerar primeiro o teor de holocelulose corrigido (THc%), e então estimar o teor de alfacelulose corrigido (TAc%) pela equação 12.

$$Teor\ de\ alfacelulose\ (TA\%) = \frac{m_t - m_f}{m_H} \times 100 \quad (11)$$

$$Teor\ de\ alfacelulose\ corrigido\ (TAc\%) = \frac{(THc\% \times TA\%)}{100} \quad (12)$$

#### 4.5.6 Determinação do teor de hemicelulose

Em posse dos teores de holocelulose e de alfacelulose corrigidos, torna-se possível a determinação indireta do teor de hemicelulose corrigido (THec%) pela diferença entre o teor de holocelulose corrigido (THc%) e o teor de alfacelulose corrigido (TAc%), como pode ser visto pela equação 13 (Santos *et al.*, 2016).

$$Teor\ de\ hemicelulose\ corrigido\ (THec\%) = THc\% - TAc\% \quad (13)$$

#### 4.6 Análise de Absorção na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho foram obtidos por meio de um espectrômetro UV-vis (Perkin-Elmer Spectrum-Two) (Figura 18), na faixa 400-4000 cm<sup>-1</sup>, com resolução de 4 cm<sup>-1</sup> com 64 scans. As amostras foram analisadas na forma de pastilha de KBr 5% (m/m) (Guo *et al.*, 2021).

Figura 18 – Espectrômetro Perkin-Elmer Spectrum-Two.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.7 Análise de cor

As tonalidades e saturações dos materiais foram avaliadas em quintuplicata por meio de um espectrofotômetro UV-vis (CM-5) (Figura 19) e expressos de acordo com o espaço de cor CIElab. A coordenada L\*, indica a luminosidade da amostra, variando de L<sup>-</sup> (mais escuro) a L<sup>+</sup> (mais claro). Já as variáveis a\* e b\* representam as tonalidades, variando do verde ao vermelho (a<sup>-</sup>, a<sup>+</sup>) e do azul ao verde (b<sup>-</sup>, b<sup>+</sup>). Os dados experimentais foram registrados no software SpectraMagic™ NX (CM-S100w).

Figura 19 – Espectrofômetro CM-5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para estimar numericamente a modificação nas cores das amostras pelo processo de extração da pectina, faz-se uso da diferença de cor ( $\Delta E$ ), calculado a partir da equação 14. A avaliação da percepção visual da mudança de cor foi baseada na Tabela 2.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (14)$$

Tabela 2 – Escala óptica de variação de cor ( $\Delta E$ ) e faixa de percepção visual.

$\Delta E$	Percepção visual
$\leq 1,0$	Imperceptível pelo olho humano
1-2	Perceptível sob observação atenta
2-10	Perceptível à primeira vista
11-49	Cores mais similares do que opostas
100	Cores são exatamente opostas

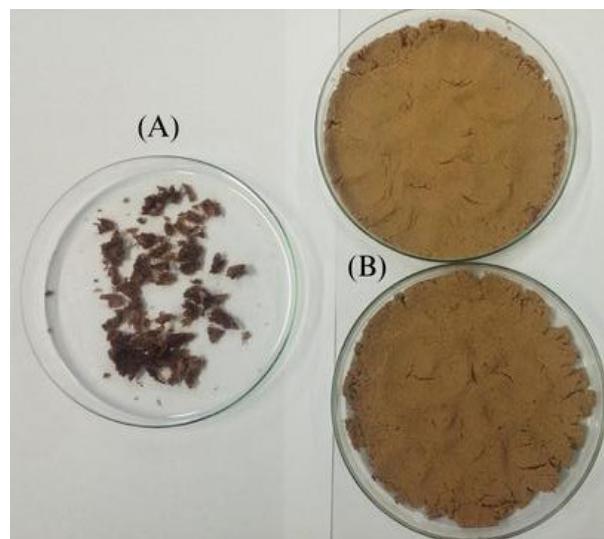
Fonte: Adaptada de <https://zschuessler.github.io/DeltaE/learn/> Acesso em 18 de fevereiro de 2025.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Rendimentos

A partir do bagaço de caju (Figura 20), foi extraída uma fração de fibras solúveis, pectina e outra fração de fibras insolúveis. O rendimento percentual do processo de extração da pectina foi de 12,13% (m/m), o que estabelece o bagaço do pedúnculo de caju como uma promissora fonte para obtenção comercial de pectina (Tamiello-Rosa, *et al.*, 2019).

Figura 20 – Pectina do pedúnculo de caju seca (A) e fração insolúvel do pedúnculo de caju úmida (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sabino *et al.*, 2020, avaliaram o rendimento da extração dos polissacarídeos solúveis do pedúnculo de caju utilizando apenas água ultrapura como solvente, 5% (m/v), a 90 °C, por um período mais longo, de 10 horas, obtendo 7% de rendimento percentual. Besson *et al.*, 2014, obteve rendimentos superiores (10,7% – 25,3%) ao performar uma extração dupla sucessiva, em que se utilizou a fração insolúvel remanescente da primeira extração para realizar uma segunda pelo método ácido convencional empregando soluções de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) para diferentes valores de pH (1,0, 1,5, 2,0), na proporção sólido-líquido 1:25 (m/v), a 75 °C por 90 minutos. Rendimentos ainda maiores (>38%) podem ser alcançados por métodos que utilizam  $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$  (hexametafosfato de sódio), e acetona acidificada para extração e precipitação da pectina, respectivamente. Apesar de maiores rendimentos, as pectinas extraídas

dessa forma apresentaram um maior teor de impurezas, comprometendo sua qualidade (Mohamed, 1995; Besson, 2014).

Além das variações de rendimento causadas pelo método de extração, existem diversos fatores que podem causar mudanças no teor de pectina presente no bagaço do pedúnculo do caju, dentre eles vale destacar: variedade do fruto/pseudofruto, tempo de maturação, local de colheita (do qual deve-se considerar o clima e a qualidade do solo) e tempo de armazenamento do bagaço (Andrade *et al.*, 2008).

Por sua vez, a fibra insolúvel gerada da extração da pectina representou cerca de 41,51% (m/m) da massa inicial do bagaço de caju. Não foram encontrados trabalhos que avaliassem o conteúdo de fibra insolúvel do pedúnculo de caju especificamente após a extração da pectina. Há, porém, alguns resultados reportados quanto ao teor de fibra insolúvel do bagaço de caju, obtidos a partir de métodos oficiais de determinação. Saldanha *et al.* (2025), analisaram o conteúdo de fibra dietética do bagaço do caju pelo método de digestão enzimática AOAC 991.43, determinando os teores (%m/m) de fibra solúvel (13,6%) e insolúvel (55,9%). Contudo, não se deve realizar uma comparação direta entre os resultados encontrados no presente trabalho e aqueles que provém de métodos de determinação oficiais de fibras insolúveis, uma vez que o estudo realizado ocorreu por meio do processo de extração da pectina e não por um procedimento configurado especificamente para quantificação dessas fibras.

## 5.2 Teor de umidade

Os resultados das análises de teor de umidade e atividade de água para o bagaço do pedúnculo de caju liofilizado (BPC) e para sua fração insolúvel proveniente do processo de extração da pectina (FIPC) podem ser verificados na Tabela 3. Foi necessário, também a avaliação da umidade da FIPC-L, que posteriormente será utilizada para correção dos demais teores determinados nas análises lignocelulósicas, que tem como base o teor de matéria seca.

Tabela 3 – Teor de umidade e atividade de água das fibras de caju analisadas.

Amostra	Teor de umidade (TU%)	Atividade de água (AA)
<b>BPC</b>	4,93 ± 0,29	0,3425 ± 0,0046
<b>FIPC</b>	4,91 ± 0,39	0,357 ± 0,0069

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teor de umidade e a atividade de água são parâmetros fundamentais para amostras alimentares, haja vista que matérias com elevado teor de água que apresentarem também atividades de água elevados, requerem métodos de conservação mais específicos para reduzir a atividade microbiana, o que limita seu manuseio e aproveitamento por parte da indústria (Karuppuchamy *et al.*, 2024).

A desidratação das fibras de caju foi necessária para manutenção da sua integridade, evitando processos de degradação corriqueiramente observados em amostras de caju *in natura*, que apresentam um alta grau de perecibilidade (Lima *et al.*, 2014). Os resultados exibidos na Tabela 3 indicam que ambos os processos de secagem das amostras foram efetivos na redução dos teores de umidade das fibras, resultando em materiais com atividade de água (AA) inferior a 0,40, dentro do limite (AA<0,60), estabelecido por Syamaladevi *et al.* (2016). A baixa atividade de água, limita o desenvolvimento microbiano e possibilita o armazenamento das fibras em temperatura ambiente, facilitando a sua manipulação em potenciais aplicações.

Lima *et al.* (2014) avaliaram a desidratação da fibra de caju por diferentes métodos de secagem, obtendo valores semelhantes para fibras de caju secas por liofilização ( $5,04\% \pm 0,01$ ), percentual de umidade mais alto para as amostras secas em estufa ( $6,09\% \pm 0,12$ ) e atividades de água inferiores a 0,40. Diversos fatores podem ser considerados para avaliar a variação da umidade das fibras, desde fatores ambientais, como umidade do ar e clima, até as condições de armazenamento das amostras (Chowdhury, *et al.*, 2011).

### 5.3 Caracterização química das fibras

#### 5.3.1 Análise de Lipídios

Os valores calculados a partir das pesagens das amostras utilizadas na determinação do teor de lipídios totais para BPC e FIPC foram registrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Lipídios totais médio das fibras analisadas.

Amostra	Lipídios totais (L%)
BPC	$2,25 \pm 0,34$
FIPC	$2,31 \pm 0,22$

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teor de lipídios é um resultado a ser considerada para a proposição de uma possível forma de aproveitamento da fibra residual do caju. Em produtos que promovem a valorização desse resíduo, seja como aditivo em ração animal ou na composição de alimentos *plant-based*, são requeridos os teores de lipídios, não apenas para o controle da gordura presente nos alimentos, mas também para adequação as normas nutricionais (Louzada *et al.*, 2015).

O bagaço do pedúnculo de caju liofilizado, apresentou um teor de lipídios calculado em 2,25% (m/m), semelhante aos dados reportados por Pinho *et al.* (2012). Já a fração insolúvel do pedúnculo de caju apresentou um teor lipídico um pouco maior, 2,31%. Com base nos resultados obtidos, foi observada uma variação de apenas 0,06% no teor de lipídios das amostras BPC e FIPC, indicando que o tratamento empregado para a separação da fibra solúvel do caju (pectina) não promoveu alterações expressivas na composição lipídica das fibras, o que já era esperado.

### 5.3.2 Análise de Proteínas

Os seguintes resultados de teor de proteínas foram encontrados: 7,27% (m/m) para o bagaço do pedúnculo de caju e 9,63% para a sua fração insolúvel (FIPC). Tais valores estão registrados em conjunto com o desvio padrão na Tabela 5.

Tabela 5 – Proteínas totais das fibras analisadas.

Amostra	Proteínas totais (P%)
<b>BPC</b>	$7,27 \pm 0,55$
<b>FIPC</b>	$9,63 \pm 0,16$

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Castillo *et al.* (2005) verificaram um teor proteína bruta de 7,76% para o bagaço do pedúnculo de caju, valor bem próximo ao encontrado no presente trabalho. Ojediran *et al.* (2024) compararam diversos estudos que avaliaram a composição proteica do bagaço do caju, e calcularam um valor médio de 10,52% (m/m), em que o menor teor observado foi de 5,45% e o maior de 18,7%. Tais resultados demonstram que o teor de proteína no bagaço do caju sofre bastante variação dependendo do tipo específico de caju analisado.

Os resultados da análise de proteínas indicam que a fração insolúvel do pedúnculo de caju obtida pelo processo de extração da pectina é constituído por um maior percentual de

proteínas quando comparado ao bagaço. Dessa forma, FIPC se estabelece como uma matéria prima capaz de agregar maior valor proteico ao produto final. A utilização de matérias-primas que apresentam uma maior concentração desses compostos nutricionais é mais valorizada, uma vez que poderá se utilizar um menor quantitativo desse material, reduzindo os efeitos secundários indesejados, como variação de cor, textura e sabor do alimento (Saldanha *et al.*, 2025).

### 5.3.3 Teor percentual de cinzas

Os teores percentuais de cinzas calculados a partir das pesagens dos cadinhos com as fibras calcinadas podem ser verificados na Tabela 6. A fração insolúvel foi submetida a lavagens com água de osmose reversa para eliminação de ácido cítrico residual proveniente do processo de extração de pectinas. Assim, para as análises lignocelulósicas foi realizada também análise de cinzas para correção dos valores encontrados (FIPC-L), sendo verificado um valor de 0,72%, o que era esperado, uma vez que o material foi submetido a sucessivas redispersões em água, reduzindo intencionalmente seu teor de sais.

Tabela 6 – Teor percentual de cinzas médio das fibras analisadas.

Amostra	Teor percentual de cinzas (TC%)
<b>BPC</b>	$1,83 \pm 0,01$
<b>FIPC</b>	$1,72 \pm 0,44$
<b>FIPC-L</b>	$0,72 \pm 0,01$

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju; FIPC – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju Lavada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os teores percentuais de cinzas determinados para os bagaços de caju indicam um elevado conteúdo de minerais na composição das fibras, com valores superiores a 1,7% para BPC e FIPC, em concordância com os dados reportados por Correia *et al.* (2013) ( $1,62 \pm 0,07\%$ ) e por Amaral *et al.* (2020) (1,76%). Esses resultados sugerem que o processo de extração da fibra solúvel do pedúnculo de caju não promoveu alterações significativas no teor de componentes inorgânicos do material.

## 5.4 Análises de componentes lignocelulósicos

### 5.4.1 Teor de extrativos

O teor de extrativos encontrado para o bagaço do pedúnculo de caju e sua fibra insolúvel foi de 10,75% e 8,63%, respectivamente (tabela 7).

Tabela 7 – Teor extrativo médio das fibras analisadas.

Amostra	Teor de extrativos	Teor de extrativos corrigido
	(TE%)	(TEc%)
<b>BPC</b>	$11,31 \pm 1,38$	$10,75 \pm 1,31$
<b>FIPC-L</b>	$9,07 \pm 0,22$	$8,63 \pm 0,21$

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC-L – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju Lavada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Serpa *et al.* (2020) reportaram um valor inferior ( $7,39\% \pm 0,6\%$ ) e demonstraram que um pré-tratamento ácido do bagaço, análogo ao processo de extração da pectina, pode reduzir significativamente o teor de extrativos. Esse efeito foi igualmente observado no presente estudo, no qual a fibra submetida à extração por ácido cítrico apresentou uma redução de aproximadamente 2,12% nesse percentual (Tabela 7). Contudo, essa diminuição pode ser ainda menor, ao considerarmos os desvios padrão dos resultados.

Kouassi *et al.* (2018) realizaram a extração de compostos apolares de diferentes variedades de caju, classificados de acordo com a coloração da casca, sob condições similares (extração via soxhlet com hexano por 7 horas. Os resultados obtidos variaram de 7,59% a 12,06% dependendo da coloração da casca do caju analisado. As maiores porcentagens foram obtidas em pedúnculos de casca amarela e as menores correspondem a mistura dos pseudofrutos de cores amarela e vermelha. Esses dados revelam que o teor de extrativos não apenas é afetado pelo tratamento a qual a fibra é submetida, mas também pela variedade do caju utilizado.

Além do pré-tratamento ácido, outros fatores podem ter contribuído para a diminuição do teor de extrativos, incluindo a exposição a altas temperaturas durante a extração da fração solúvel do bagaço ou na etapa de remoção de água em estufa. Essas condições favorecem a volatilização ou degradação térmica de compostos termossensíveis, impactando diretamente sua concentração no material residual (Renard *et al.*, 2012).

### 5.4.2 Teor de Lignina

Os teores de lignina corrigidos encontrados para BPC e FIPC-L foram de 16,18% e 26,32%, respectivamente (Tabela 8). Reina *et al.* (2022), utilizaram um método semelhante

para determinação do teor de lignina e obtiveram resultados de 15,2% e 18,2% para duas variedades específicas de caju, cultivadas na Colômbia, valores semelhantes aos obtidos para os bagaços do caju liofilizado (BPC). Já Lima *et al.*, (2012), observaram um maior percentual de lignina (23,91%) para bagaços de caju obtido em Capina Grande – PB. Tais resultados sugerem que a composição de lignina pode ser afetada, entre outros fatores, pela variedade do caju analisado. Ademais, as condições de clima e solo do local de colheita do caju também são capazes de interferir em diversas características do pseudofruto, o que poderia explicar a variação nos teores de lignina encontrados (Andrade *et al.*, 2008).

Tabela 8 – Teor de lignina médio das fibras analisadas.

Amostra	Teor de lignina (TL%)	Teor de lignina corrigido (TLc%)
<b>BPC</b>	$18,24 \pm 0,43$	$16,18 \pm 0,66$
<b>FIPC-L</b>	$30,00 \pm 0,82$	$26,32 \pm 0,46$

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC-L – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju Lavada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados evidenciaram que o tratamento realizado para extração da pectina resultou em um material com um maior conteúdo de lignina (FIPC-L). O maior percentual de lignina nesse material em base seca já era esperado, uma vez que, por se tratar da fração insolúvel isolada, a lignina —sendo uma fibra insolúvel— permanece em maior concentração quando comparada ao bagaço do caju in natura que contém em sua composição diversos compostos solúveis, dentre os quais vale citar a pectina, que nesse trabalho representou cerca de 12% do bagaço do caju. Assim, houve uma concentração no teor final de lignina na fração insolúvel o que pode ser interessante para fins de suplementação e aditivo alimentar em complemento a obtenção conjunta da pectina do pedúnculo de caju (PPC), um produto de valor comercial, amplamente utilizado pela indústria de alimentos como estabilizante, espessante e gelificante (Freitas, 2019; John, 2017).

Vale pontuar, porém, que o processo de obtenção da fração insolúvel promove perdas de ligninas considerando que a fração insolúvel representou cerca de 41,51% (m/m) da composição total do bagaço do pedúnculo de caju. Tal constatação conduz ao raciocínio de que o tratamento ácido utilizado para extrair a pectina acarretou uma redução em cerca de 5,28% do conteúdo de lignina da matriz (BPC). Dessa forma, deve-se avaliar a viabilidade da perda

de parte das fibras insolúveis para aproveitamento conjunto da PPC, de acordo com a aplicação final do produto. Em contextos que objetivam os maiores rendimentos de extração de lignina recomenda-se, então, trabalhar diretamente com o bagaço do pedúnculo de caju, ou a realização de estudos para avaliação de outros métodos de extração que venham a ocasionar menores perdas no conteúdo de lignina sem que haja comprometimento do rendimento/qualidade da pectina.

#### 5.4.3 Teor de Holocelulose, Alfacelulose e Hemicelulose

Comportamento semelhante ao teor de lignina foi observado para os teores de holocelulose, alfacelulose e hemicelulose. Em que o produto da extração da pectina (FIPC-L) apresentou uma porcentagem maior dessas fibras, quando comparado ao bagaço do caju (BPC), como pode ser observado nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9 – Teor de holocelulose médio das fibras analisadas.

<b>Amostra</b>	<b>Teor de holocelulose</b>	<b>Teor de holocelulose corrigido</b>
	<b>(TH%)</b>	<b>(THc%)</b>
<b>BPC</b>	$22,82 \pm 3,76$	$20,53 \pm 2,57$
<b>FIPC-L</b>	$42,77 \pm 0,43$	$38,83 \pm 0,27$

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC-L – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju Lavada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10 – Teor de alfacelulose médio das fibras analisadas.

<b>Amostra</b>	<b>Teor de alfacelulose</b>	<b>Teor de alfacelulose corrigido</b>
	<b>(TA%)</b>	<b>(TAc%)</b>
<b>BPC</b>	$55,42 \pm 1,60$	$10,46 \pm 0,17$
<b>FIPC-L</b>	$50,67 \pm 1,21$	$19,67 \pm 0,61$

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC-L – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju Lavada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 – Teor de hemicelulose médio das fibras analisadas.

<b>Amostra</b>	<b>Teor de hemicelulose corrigido (THec%)</b>
<b>BPC</b>	$9,17 \pm 1,47$
<b>FIPC-L</b>	$19,15 \pm 0,33$

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC-L – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju Lavada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O bagaço do pedúnculo de caju utilizado neste estudo apresentou os seguintes teores de componentes não lignificados: holocelulose (20,53%), sendo alfacelulose (10,46%) e hemicelulose (9,17%), valores inferiores aos relatados na literatura. Essas variações podem estar relacionadas a diferenças genéticas do fruto, condições de colheita e variações nas metodologias utilizadas para a determinação desses teores. Esse comportamento foi observado por Reina *et al.* (2022), que compilaram uma série de estudos sobre a composição lignocelulósica do bagaço de diferentes variedades de caju. Os autores demonstraram que os teores de lignina, holocelulose, hemicelulose e alfacelulose podem variar significativamente em função da variedade do fruto, além de fatores ambientais e do processamento aplicado.

A partir dos resultados foi observado, também, que os teores de holocelulose, alfacelulose e hemicelulose praticamente dobraram após a extração da pectina. Um comportamento previsível, já que como pontuado para a lignina, a remoção do conteúdo fibroso solúvel de BPC acarreta a maior concentração das fibras insolúveis na fração insolúvel do pedúnculo (FIPC).

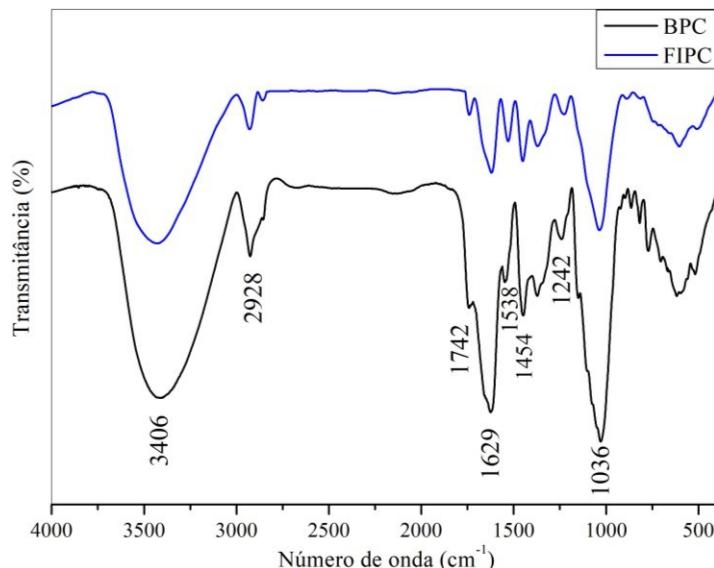
No entanto, foi verificado um efeito semelhante ao teor de lignina, em que a quantidade final de cada uma das fibras celulósicas, sofreu uma redução, quando considerado o rendimento da fração insolúvel obtida da extração da pectina. Para a holocelulose, essa redução foi calculada em 4,43%, acompanhadas pelas reduções em 2,31% e 1,23% para alfa e hemicelulose, respectivamente. Tendo em vista que as concentrações de alfa e hemicelulose interferem diretamente na concentração de holocelulose, a variação desses dois componentes acarreta uma variação semelhante na holocelulose, como constatado a partir dos resultados (Wang *et al.*, 2022).

Serpa *et al.* (2020) compararam diferentes tratamentos do bagaço do caju para a extração da lignina e observaram que a fibra submetida a um tratamento ácido com ácido sulfúrico diluído (0,6 mol L<sup>-1</sup>) a 121 °C teve seu teor de hemicelulose (e consequentemente o de holocelulose) reduzido de 16,3% para 3% (m/m). Tal constatação pode contribuir para a explicação da redução observada para FIPC, que pode não ter sido tão expressiva por conta das condições mais brandas utilizadas no processo de extração da pectina, em que foi empregado o ácido cítrico e uma temperatura menor (90 °C).

## 5.5 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR são ferramentas úteis para identificação de grupos funcionais presentes nas estruturas das fibras do caju, bem como avaliar alterações no perfil das bandas de acordo com os procedimentos a qual os resíduos foram submetidos (Zhao *et al.*, 2013).

Figura 21 – Espectros de FTIR do bagaço do pedúnculo de caju (BPC) e de sua fração insolúvel (FIPC).



BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju Lavada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao comparar os espectros do BPC e da FIPC-L (Figura 21) não foram verificadas alterações significativas, tendo sido observado que a maioria das bandas presentes em (A) foram preservadas em (B) com pequenas alterações dos números de onda e em suas intensidades. Os sinais 3406-3412  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídos a vibração de estiramento da ligação -O—H de componentes da parede celular das fibras, como a lignina e/ou celulose. A banda de estiramento -CH<sub>2</sub> em 2928  $\text{cm}^{-1}$ , pode ser identificada em ambos os espectros, indicando a presença de celulose. Em 1534-1538  $\text{cm}^{-1}$  e 1242  $\text{cm}^{-1}$  são visualizadas as bandas de dobramento e estiramento características da lignina. Os dobramentos da ligação -CH e -CH<sub>2</sub> de compostos fenólicos foram verificados em 1454  $\text{cm}^{-1}$ . Já em 1036-1037  $\text{cm}^{-1}$  estão localizadas bandas intensas correspondentes a ligação -CH de compostos aromáticos (Guo, 2019; Serpa, 2020).

A alteração mais expressiva entre os espectros ocorre na banda em 1629/1621  $\text{cm}^{-1}$  atribuída a vibrações de estiramento C=O de grupos presentes na estrutura da pectina (Xie *et al.*, 2018). A redução na intensidade da banda em 1621  $\text{cm}^{-1}$ , sugere que a extração da pectina ocorreu de maneira efetiva, reduzindo seu teor em FIPC-L. Comportamento semelhante foi descrito por Pereira *et al.* (2016) que compararam os espectros de FTIR de fibras de romã

submetidas a extração de pectina e observou a diminuição da intensidade da banda em 1614 cm<sup>-1</sup>.

A partir da análise dos espectros de FTIR das fibras analisadas é possível afirmar também, que o tratamento realizado após a extração ácida foi efetivo para redução da concentração de ácido cítrico. Corroborada aos dados de condutividade e pH, o perfil da banda em 1742 cm<sup>-1</sup>, correspondente ao estiramento C=O dos grupos carboxílicos do ácido cítrico, sugere com a eliminação majoritária do ácido remanescente na fibra, já que sua permanência causaria o aumento na intensidade dessa banda, o que não foi observado. A banda em 1742 cm<sup>-1</sup> também está relacionada às vibrações de estiramento C=O de grupos carboxílicos/ésteres presentes na estrutura da hemicelulose, o que a explica a permanência da banda, mesmo que em baixa intensidade (Guo *et al.*, 2019).

## 5.6 Análise de cor

Os dados obtidos na análise colorimétrica são uma média aritmética de cinco leituras e estão expressos em três coordenadas (L\*, a\*, b\*) de acordo com o espaço de cor CIElab. (Tabela 12).

Tabela 12 – Dados gerados pelo espectrofotômetro para as cores das fibras analisadas.

Amostra	L*	a*	b*	Cor
<b>BPC</b>	$77,212 \pm 1,093$	$4,726 \pm 0,463$	$23,288 \pm 0,800$	
<b>FIPC</b>	$51,796 \pm 1,512$	$12,008 \pm 0,311$	$21,12 \pm 0,402$	

BPC – Bagaço do Pedúnculo do Caju; FIPC – Fração Insolúvel do Pedúnculo do Caju.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coloração do BPC determinada, está de acordo com resultados encontrados por Nguyen *et al.* (2023) (L\*=72,6; a\*=3,8; b\*=26,8). A fração insolúvel do pedúnculo de caju (FIPC) apresentou menor valor de L\* em relação ao bagaço liofilizado, o que pode ser explicado pela degradação térmica de componentes estruturais da fibra, sofrida durante os processos de extração da pectina e pela secagem em estufa (90°C e 60°C, respectivamente), resultando no escurecimento das amostras (Tabela 12). Fenômeno semelhante foi relatado por Lima *et al.* (2014) que compararam a coloração da fibra do caju por diferentes métodos de secagem. As fibras secas em estufa apresentaram menores valores de L\* em relação as fibras secas por

liofilização, evidenciado pela coloração mais escuro observada. Também foi verificado variação positiva em  $a^*$ , caracterizado pela tonalidade mais avermelhado da fração insolúvel em relação ao bagaço liofilizado. A coordenada  $b^*$  (amarelo/azul) não sofreu modificação significativa.

Tendo em vista que a fibra foi submetida a aquecimento em altas temperaturas em meio ácido, é improvável que o escurecimento tenha sido causado por ação enzimática, já que nessas condições, as enzimas costumam estar inativas (Bisswanger, 2014). Podem ser considerados outros fatores para explicar o escurecimento não-enzimático do material, como reações entre açúcares redutores e proteínas, a reação de Maillard ou oxidação de compostos fenólicos (Celestino, 2010).

Quando comparados as cores do bagaço do pedúnculo de caju (BPC) com a fração insolúvel do mesmo, através da equação 14, foi calculada uma variação de cor ( $\Delta E$ ) de 26,53, o que caracteriza uma mudança de cor de fácil detecção visual, mas que ainda se assemelha ao original, de acordo com a escala óptica do  $\Delta E$  (Tabela 1). Tal resultado demonstra que os tratamentos praticados tiveram muita influência na cor final do material, devendo ser considerado de acordo com a finalidade final da fibra.

Adegunwa (2020), Nguyen (2023) e Lima (2014), propuseram a utilização da fibra do bagaço do pedúnculo de caju como matéria prima para fabricação alimentos como bolo, macarrão e hambúrguer, cujos métodos de preparo envolvem aquecimento em fogão ou forno a temperaturas superiores às trabalhadas no presente estudo. Nguyen *et al.* (2023) avaliaram a variação da cor do alimento adicionado de fibra de caju após o preparo, observando também o escurecimento. Esse fenômeno não é necessariamente indesejável, uma vez que alimentos tradicionais que contém proteína animal em sua composição, como hamburguers ou croquetes, sofrem escurecimento durante o preparo, ocasionado dentre outros fatores pela reação de Maillard. Contudo, para alimentos que tradicionalmente não sofrem variação de cor, a coloração mais escura proveniente da adição da fibra de caju tende a afetar negativamente a aceitação pelo consumidor (Sykut-Domańska *et al.*, 2020).

O bagaço do pedúnculo de caju também encontra uso como complemento nutricional em ração animal. Não foram encontrados dados referentes à cor final dos produtos que incorporam a fibra do caju em sua composição, o que pode indicar que, para essa aplicação específica, a cor não se estabelece como um fator determinante para a qualidade final do produto (Ojediran, 2024; Adebawale, 2011).

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que os objetivos do estudo foram alcançados, uma vez que a fração insolúvel do pedúnculo de caju teve suas características químicas definidas e registradas, além de terem sido avaliadas as alterações decorrentes dos processos aos quais a fibra foi submetida. O tratamento ácido aplicado ao bagaço do caju possibilitou não apenas a obtenção de um produto de valor comercial (pectina), mas também o isolamento eficaz da fração insolúvel do pedúnculo de caju, com rendimento superior a 40%.

As análises de lipídios e proteínas indicaram que os processos empregados não causaram alterações significativas nesses parâmetros. Já as análises lignocelulósicas demonstraram que o bagaço insolúvel da extração da pectina contém aproximadamente o dobro de fibras insolúveis em comparação ao bagaço de pedúnculo de caju in natura (BPC), sugerindo a eficácia do isolamento dessa fração. Entretanto, os resultados também apontaram que os procedimentos realizados resultaram na perda de uma pequena parcela (<5%) dos componentes lignocelulósicos, aspecto que deverá ser avaliado conforme a aplicação final do produto.

Os espectros de FTIR apresentaram bandas características dos componentes da fibra insolúvel do bagaço, corroborando os resultados das análises lignocelulósicas. Além disso, as cores do BPC e de sua fração insolúvel (FIPC) foram definidas com base no espaço de cor CIElab, evidenciando-se que os processos aos quais o bagaço foi submetido ocasionaram uma variação considerável nesse parâmetro.

Dessa forma, o estudo contribui para a valorização de um resíduo agroindustrial, fornecendo informações detalhadas sobre sua composição química, que poderão servir como referência para a avaliação de novas aplicações potenciais.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, F. P. et al. **Cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) extract from by-product of juice processing: A focus on carotenoids.** Food Chemistry, v. 138, n. 1, p. 25–31, 2013.
- ADEBOWALE, B. A.; OLUBAMIWA, O.; & OGUNJOBI, M. A. K.; **Substitution value of sundried cashew apple bagasse in the diets of *Clarias gariepinus*.** 268-272. 2011.
- ADEGUNWA, M.O., KAYODE, B.I., KAYODE, R., AKEEM, S.A., ADEBOWALE, A.A., BAKARE, H.A., **Characterization of wheat flour enriched with cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) fiber for cake production.** J. Food Meas. Charact. 14, 1998–2009. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00446-9>. 2020.
- AMARAL, R. G.; DE ANDRADE, L. R. M.; ANDRADE, L. N.; LOUREIRO, K. C.; SOUTO, E. B.; & SEVERINO, P.; **Cashew gum: A review of Brazilian patents and pharmaceutical applications with a special focus on nanoparticles.** Micromachines, 13(7), 1137. 2022.
- ANDERSON, J. W.; BAIRD, P.; DAVIS JR; R. H.; FERRERI, S.; KNudtson, M.; KORAYM, A.; & WILLIAMS, C. L.; **Health benefits of dietary fiber.** Nutrition reviews, 67(4), 188-205. 2009.
- ANDRADE, A. P. S. D.; OLIVEIRA, V. H. D.; INNECCO, R.; & SILVA, E. D. O.; **Qualidade de cajus-de-mesa obtidos nos sistemas de produção integrada e convencional.** Revista Brasileira de Fruticultura, 30, 176-179. 2008.
- AOCS. AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official Method Am 5-04, **Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction.** Urbana: Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, 2005.
- ARAÚJO, A. A. de S., MERCURI, L. P., SEIXAS, S. R. S., STORPIRTIS, S., & MATOS, J. do R.; **Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica.** Revista Brasileira De Ciências Farmacêuticas, 42(2), 2006, 269–277. doi:10.1590/S1516-93322006000200013.
- BASHA, M. **Colorimetry and Spectrophotometer (Spectrophotometry).** Analytical Techniques in Biochemistry, p. 23-38, 2020.
- BESSION V., YAPO B.M., AVIT G., BEUGRE M., KOFFI K., GNAKRI D. **Macromolecular and viscoelastic properties of low methoxy pectin from cashew apple pomace.** Universal Journal of Food and Nutrition Science. V. 2, no. 1, pp. 1–6. DOI: 10.13189/ujfns.2014.020101. 2014.
- BISSWANGER, Hans. **Enzyme assays.** Perspectives in Science, v. 1, n. 1-6, p. 41-55, 2014.
- BONDOL, M. & BRATUCU G. **Theoretical research on forest fruit conservation by lyophilization.** Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II, 10(2), pp. 71-78. 2017.

BRAINER, M. S. C. P.; CAJUCULTURA; **O proveito do pedúnculo:** v. 6 n. 190 (2021). Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, v. 6, 2024. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2861>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CELESTINO, S. M. C.. **Princípios de secagem de alimentos.** 2010.

CEQUIER, E., AGUILERA, J., BALCELLS, M. et al. **Extraction and characterization of lignin from olive pomace: a comparison study among ionic liquid, sulfuric acid, and alkaline treatments.** Biomass Conv. Bioref. 9, 241–252. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00400-w>. 2019.

CHOWDHURY, K.; KHAN, S.; KARIM, R.; OBAID, M.; & HASAN, G. M. M. A.; **Effect of moisture, water activity and packaging materials on quality and shelf life of some locally packed chanachur.** Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 46(1), 33-40. 2011.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Análise mensal: castanha de caju.** Julho de 2024.

CORREIA, J. A. da C., JÚNIOR, J. E. M., GONÇALVES, L. R. B., & ROCHA, M. V. P.. **Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of cashew apple bagasse for ethanol production: Study of parameters.** Bioresource Technology, 139, 249–256. doi:10.1016/j.biortech.2013.03.1. 2013.

CUMMINGS, J.H.; **The effect of dietary fiber on fecal weight and composition.** In: **CRC handbook of dietary fiber in human nutrition.** Ed. G.A. Spiller. CRC Press, Boca Raton, FL, 183-252. 2001.

DAKUYO, R.; KONATE, K.; BAZIE, D.; SANOU, A.; KABORE, K.; SAMA, H.; ... & DICKO, M. H.; **Correlating the morphology of *Anacardium occidentale* L. fruits from 30 orchards with their physicochemical and nutritional properties.** Frontiers in Plant Science, 13, 1033577. 2022.

DEL RÍO, J. C. et al. **Determining the influence of eucalypt lignin composition in paper pulp yield using Py-GC/MS.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 74, n. 1, p. 110–115, 1 ago. 2005.

DONG, W. et al. **Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans.** Food Chemistry, v. 234, p. 121–130, 1 nov. 2017.

DU, H.D.; DAPHNE VAN DER, A.; BOSHUIZEN, H.C.; FOROUHI, N.G.; WAREHAM, N.J.; HALKJAER, J.; TJONNELAND, A.; OVERVAD, K.; JAKOBSEN, M.U.; BOEING, H.; **Dietary fiber and subsequent changes in body weight and waist circumference in European men and women.** Am. J. Clin. Nutr. 91, 329-336. 2010.

FREITAS, C. M. P.; COIMBRA, J. S. R.; SOUZA, V. G. L.; & SOUSA, R. C. S.; **Structure and Applications of Pectin in Food, Biomedical, and Pharmaceutical Industry: A Review.** Coatings, 11(8), 922. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>. 2021.

GUERRERO, R. et al. **Caracterización fisicoquímica del fruto y pseudofruto de *Anacardium occidentale* L. (merey) en condiciones de secano.** Revista de la Facultad de Agronomía, v. 25, n. 1, p. 81–94, 2025.

GLASSER, W. G.; NORTHEY, R. A.; SCHULTZ, T. P. **Lignin: Historical, Biological, and Materials Perspectives.** [s.l.] American Chemical Society, 1999.

GOMES, P. C.; SIMEONE, M. L. F. **Determinação rápida de extrato etéreo utilizando extrator a alta temperatura.** Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo. 6p (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 202). 2012.

GOUVEA, A. DE F. G. et al. **Estudo da adição da lignina kraft nas propriedades mecânicas dos briquetes de resíduos da indústria moveleira.** Ciência Florestal, v. 27, n. 3, p. 1029, 31 ago. 2017.

GUO, Y.; BYAMBASUREN, K.; LIU, X; WANG, X.; QIU, S.; GAO, Y.; & WANG, Z.; **Extraction, Purification, and Characterization of Insoluble Dietary Fiber from Oat Bran.** Trans. Tianjin Univ. 27, 385–393. <https://doi.org/10.1007/s12209-019-00224-9>. 2019.

HERNÁNDEZ-CORROTO, E.; MARINA, M. L.; GARCÍA, M. C. **Simultaneous and sequential combination of techniques for the sustainable and extensive extraction of proteins and polyphenols from malt rootlets.** Advances in Sample Preparation, v. 12, p. 100131, 21 set. 2024.

JOHN, I., MUTHUKUMAR, K., & ARUNAGIRI, A.; **A review on the potential of citrus waste for D-Limonene, pectin, and bioethanol production.** International Journal of Green Energy, 14(7), 599-612. 2017.

KARUPPUCHAMY, V.; HELDMAN, D. R.; SNYDER, A. B.; **A review of food safety in low-moisture foods with current and potential dry-cleaning methods.** Journal of food science, v. 89, n. 2, p. 793-810, 2024.

KAY, R. M. **Dietary fiber.** Journal of lipid research, v. 23, n. 2, p. 221-242, 1982.

KOH, J. **Dyeing of cellulosic fibres.** In: Handbook of textile and industrial dyeing. Woodhead Publishing, p. 129-146. 2011.

KOUASSI, E. K. A.; SORO, Y.; VACA-GARCIA, C.; & YAO, K. B.; **Chemical composition and specific lipids profile of the cashew apple bagasse.** Rasayan Journal of Chemistry, 11(1), 386-391. 2018.

LIMA, C. S. S., CONRADO, L. S., LEÃO, D. A. S., CONCEIÇÃO, M. M., & SILVA, F. L. H.; **Hydrolysis to produce etanol macambira (bromélia laciniosa) in defect and diffusion forum.** Trans Tech Publications, Ltd. Vol. 365, pp. 207–211. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ddf.365.207>. 2015.

LIMA, F. C. S.; SILVA, F. L. H., GOMES, J. P., & NETO, J. M. S.; **Chemical composition of the cashew apple bagasse and potential use for ethanol production.** Advances in Chemical Engineering and Science, 2(4), 519-523. 2012.

LIMA, J. R. et al. **Desidratação da fibra de caju para utilização em produtos alimentícios.** 2014.

LIMA, M. D. M.; MUJICA, P. I. C.; & LIMA, A. M.; **Caracterização química e avaliação do rendimento em filés de caranha (*Piaractus mesopotamicus*)**. Brazilian Journal of Food Technology, 15, 41-46. 2012.

LOPEZ-POLO, J. et al. **Effect of lyophilization on the physicochemical and rheological properties of food grade liposomes that encapsulate rutin.** Food Research International, v. 130, p. 108967, abr. 2020.

LOUZADA, M. L. D. C.; MARTINS, A. P. B.; CANELLA, D. S.; BARALDI, L. G.; LEVY, R. B.; CLARO, R. M.; & MONTEIRO, C. A.; **Alimentos ultraprocessados e perfil nutricional da dieta no Brasil.** Revista de Saúde Pública, 49, 38. 2015.

MOHAMED, S. & HASAN, Z.; **Extraction and characterisation of pectin from various tropical agrowastes.** 1995.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M.; **Procedimentos para análise lignocelulósicas.** 2010.

MOUW, Tim. **Espaço de cor vs. Tolerância de cores.** Xrite, 2018. Disponível em: <<https://www.xrite.com/blog/tolerancing-part-3>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2025.

NELSON, R. **The use of holocellulose to study cellulose supermolecular structure.** Journal of Polymer Science, v. 51, n. 155, p. 27–58, maio 1961.

NETO, W. P. F.; SILVÉRIO, H. A.; DANTAS, N. O.; & PASQUINI, D.; **Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from agro-industrial residue—Soy hulls.** Industrial Crops and Products, 42, 480-488. 2013.

NGUYEN, T.P.T., TRAN, T.T.T., TON, N.M.N., LE, V.V.M.; **Use of cashew apple pomace powder in pasta making: effects of powder ratio on the product quality.** Polish J. Food Nutr. Sci. 73, 50–58. <https://doi.org/10.31883/pjfn.s/159360>. 2023.

NORRIS, T. **What's the Difference Between Soluble and Insoluble Fiber?** Disponível em: <<https://www.healthline.com/health/soluble-vs-insoluble-fiber>>. Acesso em 26 de fevereiro de 2025.

OJEDIRAN, T. K., OLORUNLOWU, S. A., OYEKOLA, O., OLAGOKE, O. C., & EMIOLA, I. A.; **Cashew Apple: Nutritional Composition, Nutritive Value and Potentials as Commercial Feedstuff for Livestock.** Aceh Journal of Animal Science, 9(3), 128-137. 2024.

OLIVEIRA, F. R. A. M.; OLIVEIRA, G. L. S.; ALENCAR, M. V. O. B.; & FREITAS, R. M.; **Prospecção tecnológica: utilização de alcalóides no tratamento da doença de Alzheimer.** 2014.

ÖTLES, S.; OZGOZ, S.; **Health effects of dietary fiber.** Acta scientiarum polonorum Technologia alimentaria, v. 13, n. 2, p. 191-202, 2014.

- PAIVA, F. D. A.; GARRUTTI, D. D. S.; NETO, R. M. S.; **Aproveitamento industrial do caju.** 2000.
- PAIVA, F. D. A.; NETO, R. M. S.; PESSOA, P. D. P.; & LEITE, L. D. S.; **Processamento de castanha de caju.** 2006.
- PANIDA, D.; NADTOCHII, L. A. & GEBREMESKA, Y. H.; **Comparison of different technologies using organic acid and mineral acid solvents on pectin extraction from apple pomace.** Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», n. 2 (56), p. 13-19, 2023.
- PEDRAZZI, C.; DICK, G.; COLDEBELLA, R.; GENTIL, M.; GIESBRECHT, B.; & CORTELINI DA ROSA, R.; **Química da madeira 10 edição.** Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Ciências Rurais Departamento de Ciências Florestais. 2019.
- PEREIRA, P. H. F.; OLIVEIRA, T. I. S.; ROSA, M. F.; CAVALCANTE, F. L.; MOATES, G. K.; WELLNER, N.; AZEREDO, H. M. C.; **Pectin extraction from pomegranate peels with citric acid.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 88, p. 373–379, jul. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.03.074. 2016.
- PINHO, L. et al. **Uso do resíduo do pedúnculo de caju como fonte de fibras em hambúrguer com baixo teor de gordura.** Ciênc. Tecnol. Aliment, v. 31, n. 4, p. 941–945, [s.d.]. 2011.
- PIZZI, A. **Tannins: Prospectives and actual industrial applications.** *Biomolecules*, v. 9, n. 8, p. 344, 2019.
- PRADA-RAMÍREZ, H. A.; MONTES-TAMARA, J. P.; RICO-JIMENEZ, E. A.; & FONSECA, J. C.; **Stability study through water activity measurements for dispensed powdered raw materials.** *Journal of AOAC International*, 107(3), 487-492. 2024.
- REID, D. S.; & FENNEMA, O. R.; Water and ice. In S. Damodaran, K. L. Parkin, & O. R. Fennema's **Food chemistry** (4th ed., pp.17–82). CRC Press. 2008.
- REINA, L.J.C.; DURAN-ARANGUREN, D.D.; FORERO-ROJAS, L.F.; TARAPUEZ-VIVEROS, L.F.; DURAN- SEQUEDA D.; CARAZZONE, C.; SIERRA, R.; **Chemical composition and bioactive compounds of cashew (*Anacardium occidentale*) apple juice and bagasse from Colombian varieties.** *Helion* 8, e09528. doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09528. 2022.
- RENARD, C. M.; & MAINGONNAT, J. F.; **16. Thermal processing of. Thermal food processing: new technologies and quality.** issues, 413. 2012.
- RESENDE, L. M.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. **Characterization of jabuticaba (*Plinia cauliflora*) peel flours and prediction of compounds by FTIR analysis.** *Lwt*, v. 133, p. 110135, 2020.
- ROLIN, C.; **PECTIN.** *Industrial Gums*, 257–293. doi:10.1016/b978-0-08-092654-4.50014-0. 1993.

- SALDANHA, G. R. D. N.; VIANA, J. D. R.; PORTELA, D. H. M.; ARAÚJO, K. L.; ARAÚJO, Í. M. A.; GARRUTI, D. D. S.; & WURLITZER, N. J.; **Development of a dietary fiber-rich, high-value food ingredient from cashew juice processing for use in plant-based products.** *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19(2), 1386-1404. 2025.
- SALIBA, E. DE O. S. et al. **Ligninas: métodos de obtenção e caracterização química.** *Ciência Rural*, v. 31, n. 5, p. 917–928, out. 2001.
- SAMRA, R.; ANDERSON, G.H.; **Insoluble cereal fiber reduces appetite and short-term food intake and glycemic response to food consumed 75 min later by healthy men.** *Am. J. Clin. Nutr.* 86, 972-979. 2007.
- SANTOS, R. D.; ANTONIO, J.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; & PEREIRA, F. A.. **Polpação kraft e kraft/aq da madeira pré-hidrolisada de eucalyptus urograndis.** *Ciência Florestal*, 26(4), 1281–1290. <https://doi.org/10.5902/1980509825148>. 2016.
- SARKAR, P. B.; MAZUMDAR, A. K.; & PAL, K. B.; **4—THE HEMICELLULOSES OF JUTE FIBRE.** *Journal of the Textile Institute Transactions*, 39(2), T44–T58. <https://doi.org/10.1080/19447024808659401>. 1948.
- SERPA, J. F.; SILVA, J. S.; REIS, C. L. B.; MICOLI, L.; SILVA, L. M. A.; CANUTO, K. M.; MACEDO, A. C.; & ROCHA, M. V. P.. **Extraction and characterization of lignins from cashew apple bagasse obtained by different treatments.** *Biomass and Bioenergy*, 141, 105728. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105728>. 2020.
- SHIN, J. M.; PARK, S.K.; **Comparison of fat determination methods depending on fat definition in bakery products.** *LWT-Food Science and Technology*, v. 63, n. 2, p. 972-977, 2015.
- SINGH, S. S.; ABDULLAH, S.; PRADHAN, R. C.; & MISHRA, S.; **Physical, chemical, textural, and thermal properties of cashew apple fruit.** *Journal of Food Process Engineering*, 42(5), e13094. 2019.
- SLUITER, A., HAMES, B., RUIZ, R., SCARLATA, C., SLUITER, J., & TEMPLETON, D. **Determination of ash in biomass.** Golden (CO): National Renewable Energy Laboratory; p. Report No. NREL/TP-510-42622. 2005.
- SLUITER, A., HAMES, B., RUIZ, R., SCARLATA, C., SLUITER, J., & TEMPLETON, D. **Determination of extractives in biomass.** Golden (CO): National Renewable Energy Laboratory; p. Report No. NREL/TP-510-42619. 2008.
- SOARES, L. V. F.; SOUZA, C. D. R. de. **Analysis of moisture content as a quality parameter in the production of wheat flour.** *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 13, n. 10, p. e135131047191, 2024. doi: 10.33448/rsd-v13i10.47191.
- SOUSA, S. L., MORAIS, B. A. D., RIBEIRO, L. C., & COSTA, J. M. D. **Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(7), 678-682. 2016.

SYAMALADEVI, R. M.; TANG, J.; VILLA - ROJAS, R.; SABLANI, S.; CARTER, B.; & CAMPBELL, G.; **Influence of water activity on thermal resistance of microorganisms in low-moisture foods: a review**. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 353-370. 2016.

SYKUT-DOMAŃSKA, E.; ZARZYCKI, P.; SOBOTA, A.; TETERYCZ, D.; WIRKIJOWSKA, A.; BLICHARZ-KANIA, A.; & MAZURKIEWICZ, J.; **The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta**. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14490. 2020.

TAMIELLO-ROSA, C. S.; CANTU-JUNGLES, T. M.; IACOMINI, M.; & CORDEIRO, L. M. C. **Pectins from cashew apple fruit (*Anacardium occidentale*): Extraction and chemical characterization**. *Carbohydrate Research*, v. 483, 107752. doi:10.1016/j.carres.2019.107752. 2019.

VAN SOEST, P. J.; **Dietary fibers: their definition and nutritional properties**. *The American journal of clinical nutrition*, v. 31, n. 10, p. 12S-20S. 1978.

VELPSCIENTIFICATV. **VELP Dumas Nitrogen Analyzer NDA 701**. Youtube, 21 de junho de 2012. 5:34. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Jyo0nnyhoas>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2025.

VIEIRA, G. **FTIR: entenda como funciona a técnica**. 19 de maio de 2023. Disponível em: <<https://c2lab.com.br/ftir-entenda-como-funciona-a-tecnica/>>. Acesso em 26 de fevereiro de 2025.

WANG, L.; LI, Y.; ZHANG, Y. J.; & PENG, L. H.; **Relationship between dietary fiber intake and chronic diarrhea in adults**. *World journal of clinical cases*, 12(19), 3692–3700. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v12.i19.3692>. 2024.

WANG, T.; JUNG, J.; ZHAO, Y.; **Isolation, characterization, and applications of holocellulose nanofibers from apple and rhubarb pomace using eco-friendly approach**. *Food and Bioproducts Processing*, v. 136, p. 166-175, 2022.

**WHAT IS DELTA E? AND WHY IS IT IMPORTANT FOR COLOR ACCURACY?**  
ViewSonic, 2021. Disponível em: <<https://www.viewsonic.com/library/creative-work/what-is-delta-e-and-why-is-it-important-for-color-accuracy/>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2025.

XIE, F.; ZHANG, W.; LAN, X.; GONG, S.; WU, J.; ZHANG, S.; & WANG, Z.; **Insoluble dietary fibers from yellow-and purple-fleshed potatoes by-products and their physicochemical properties and structural characteristics: A comparative study**. *Starch-Stärke*, 70(1-2), 1700104. 2018.

YANG, Xuan; & BERGLUND, Lars A.; **Structural and ecofriendly holocellulose materials from wood: microscale fibers and nanoscale fibrils**. *Advanced Materials*, v. 33, n. 28, p. 2001118, 2021.

ZEINEDDINE, R.; IRELAND, B.; MONZER, S.; & SAOUD, I. P.; **Preliminary assessment of restaurant food waste as a feed ingredient for small juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)**. *Aquaculture International*, 29, 669-679. 2021.

ZHAO, X., CHEN, J., CHEN, F., WANG, X., ZHU, Q., & AO, Q.; **Surface characterization of corn stalk superfine powder studied by FTIR and XRD.** *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 104, 207-212. 2013.