



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

**CAMPUS MANAUS- ZONA LESTE
TECNOLOGIA EM AGROECOLOGIA**

ANA LUISA FARIAS ROCHA

**CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DO FRUTO DO PAU-DE-BALSA (*Ochroma
pyramidale*)**

MANAUS- AM

2019

ANA LUISA FARIAS ROCHA

CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DO FRUTO DO PAU-DE-BALSA (*Ochroma pyramidale*)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em 2019 do Instituto Federal do Amazonas como requisito para obtenção do título de graduação em Tecnologia em Agroecologia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Odiluzia Maria Saldanha de Oliveira

Coorientador: Prof^o Dr^o Edgar Aparecido Sanches

MANAUS- AM

2019

ANA LUISA FARIAS ROCHA

**CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DO FRUTO DO PAU-DE-BALSA (*Ochroma
pyramidale*)**

Aprovado em _____ de _____ de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Odiluzia Maria Saldanha de Oliveira
Instituto Federal do Amazonas

Prof^o Pós-Dr^o Edgar Aparecido Sanches
Universidade Federal do Amazonas

MSc. Bruna Caroline Maciel Loureiro Paes
Instituto Federal do Amazonas

MANAUS- AM

2019

RESUMO:

A preocupação com o meio ambiente é algo que perpassa todas as áreas de pesquisa. As fibras vegetais têm grande importância devido à sua versatilidade e aplicabilidade. Tendo isso em vista, percebeu-se que a fibra do fruto de pau-de-balsa ainda não havia sido estudada. Logo, o objetivo desse estudo foi caracterizá-la por meio de análises físico-químicas, térmicas e morfológicas a fim de tomar conhecimento de suas propriedades e possíveis aplicações. Foi observado que os teores dos principais componentes dessa fibra correspondem com os dados encontrados na literatura, apresentando em torno de 39% de celulose, 28% de hemicelulose e 32% de lignina, como principais componentes. Pelo dTG identificou-se três picos de degradação bem definidos para a amostra *in natura*, referente aos seus principais componentes lignocelulósicos, e na amostra polpa percebeu-se que a tentativa de extrair e isolar a celulose da fibra correspondeu às expectativas e se degradou na faixa de temperatura esperada. Através do MEV, observou-se que sua morfologia é tubular, com superfície lisa e diâmetros uniformes, resultando em potencialidades como isolante térmico, reforço em compósitos, nitrocelulose para explosivos, acetato de celulose, excipiente farmacêutico e alimentício, corantes, etanol ou outros álcoois, adesivos, aglutinantes, vanilina entre outros.

Palavras-chave: fibra vegetal, pau-de-balsa, caracterização, agroecologia

ABSTRACT:

The worry about environment is something that passes through all areas of research. The vegetal fibers have great importance due its versatility and applicability. Aiming this, it was realized that the fiber of the fruit from balsa has not been studied yet. So, the objective of this study was making a characterization by physical-chemical, thermic and by morphological analysis, aiming get knowledge about its properties and possible applications. It was observed the percentage of main components of this fiber corresponded with the values found on literature, showing around 39% of cellulose, 28% of hemicellulose and 32% of lignin. By dTG, it was identified three peaks of degradation well defined to the sample *in natura*, relative to its main lignocellulosic components; and in the sample pulp, it was discovered the attempt to isolate cellulose of the fiber, corresponded the expectations and degraded between expected temperature range. By the Scanning Electron Microcopy (SEM), was observed its morphology is tubular with smooth surface and uniform diameters. All these results in potential to thermic isolating, reinforcement in composites, nitrocellulose for explosives, cellulose acetates, pharmaceutical and food excipient, ink, ethanol and other alcohols, adhesives, agglutinative, vanillin, among others.

Keywords: vegetal fiber, balsa, characterization, agroecology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Desmembramento do fruto de <i>O. pyramidale</i>	16
Figura 2- Fibra do fruto (parte utilizada na pesquisa)	16
Figura 3- Sementes do fruto.....	17
Figura 4- Espectro de FTIR das amostras IN e da polpa.....	29
Figura 5- Curvas de TGA e dTG nas amostras IN e da polpa.....	31
Figura 6- a), b), c), d), e), f), g)- Imagens de MEV da fibra <i>In Natura</i>	34 a 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Teores dos principais componentes de diferentes fibras vegetais.....	15
Tabela 2- Teores dos principais componentes físico-químicos de <i>O. pyramidale</i>	28
Tabela 3- Principais vibrações detectadas no FTIR para IN e polpa.....	31
Tabela 4- Informações de TGA/dTG das amostras IN e da polpa.....	33

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

CLS- Concentração de Lignina Solúvel

CRA- Centro de Referência em Agroecologia

CSAF%- Componente Solúveis em Água Fria

CSAQ%- Componente Solúveis em Água Quente

CSNaOH%- Componente Solúveis em Hidróxido de Sódio

dTG- Derivada da termogravimetria em relação à temperatura

HUB- Centro de Pesquisa, Tecnologia e Inovação da UEA

IFAM-CMZL- Instituto Federal do Amazonas- *Campus* Manaus Zona Leste

IFSC- Instituto de Física de São Carlos

FAO- Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura

FTIR- Espectroscopia na Região do Infravermelho; *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*

LAMAC- Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos

LMEA- Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise

MA- Massa da Amostra

MEV- Microscopia Eletrônica de Varredura; SEM- *Scanning Electron Microscopy*

MLS- Massa de Lignina Solúvel

m/m- Massa por massa

m/v- Massa por volume

NANOPOL- Laboratório de Polímeros Nanoestruturados

NaOH- Hidróxido de Sódio

NI- Não Informado

O. pyramidale- *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lamb.) Urban

TAPPI- Technical Association of the Pulp and Paper Industry

TC%- Teor de Cinzas

TCel%- Teor de Celulose

TCelcor%- Teor de Celulose Corrigido

TE%- Teor de Extrativos

TEcor%- Teor de Extrativos Corrigido
TG- Termogravimetria
THemi%- Teor de Hemicelulose
THemicor%- Teor de Hemicelulose Corrigido
THolo%- Teor de Holocelulose
THolocor%- Teor de Holocelulose Corrigido
TLI%- Teor de Lignina Insolúvel
TLIcor%- Teor de Lignina Insolúvel Corrigido
TLS%- Teor de Lignina Solúvel
TLScor%- Teor de Lignina Solúvel Corrigido
TU%- Teor de Umidade
UEA- Universidade Estadual do Amazonas
UFAM- Universidade Federal do Amazonas
USP- Universidade de São Paulo
UV- Ultravioleta
v/v- volume por volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Agroecologia.....	13
2.2 Fibras vegetais.....	13
2.2.1 Conceito e importância.....	13
2.2.2 Fibras naturais versus fibras artificiais e regeneradas.....	14
2.2.3 Composição.....	15
2.3 Pau-de-balsa.....	15
2.4 Parâmetros físico-químicos avaliados.....	17
2.4.1 Componentes solúveis.....	17
2.4.2 Umidade.....	17
2.4.3 Cinzas.....	17
2.4.4 Extrativos.....	17
2.4.5 Lignina.....	18
2.4.6 Holocelulose, hemicelulose e celulose.....	18
2.5 Técnicas instrumentais utilizadas.....	19
2.5.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho (FTIR).....	19
2.5.2 Termogravimetria (TG).....	19
2.5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 Reagentes.....	21
3.2 Equipamentos.....	21

3.3 Métodos.....	22
3.3.1 Pré-tratamento das fibras.....	22
3.3.2 Teor de componentes solúveis em água fria.....	22
3.3.3 Teor de componentes solúveis em água quente.....	22
3.3.4 Teor de componentes solúveis em hidróxido de sódio.....	23
3.3.5 Teor de umidade.....	23
3.3.6 Teor de cinzas.....	23
3.3.7 Teor de extrativos.....	24
3.3.8 Teor de lignina insolúvel.....	24
3.3.9 Teor de lignina solúvel.....	25
3.3.10 Teor de holocelulose.....	25
3.3.11 Teor de celulose.....	26
3.3.12 Teor de hemicelulose.....	26
3.3.13 Espectroscopia na Região do Infravermelho (FTIR).....	26
3.3.14 Termogravimetria (TG).....	27
3.3.15 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Caracterização Físico-Química Quantitativa.....	28
4.2 Espectroscopia na Região do Infravermelho (FTIR).....	29
4.3 Termogravimetria (TG)	31
4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	34
4.5 Perspectivas em novos materiais.....	37
5 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

O ser humano sempre utilizou as fibras para os diversos fins (vestimentas, confecção de artefatos de caça, construção etc.) e, mesmo com o passar dos milênios, as fibras continuam com grande participação nas nossas vidas, em dispositivos eletrônicos, carros, internet, telefone, compósitos, entre outros. Porém, a indústria ficou bastante exigente e as fibras naturais não foram mais capazes de suprir as novas demandas, o que fez surgirem as fibras artificiais e sintéticas que alavancaram a tecnologia, porém causam grandes impactos no meio ambiente e, com as preocupações ambientais que se têm levantado em todas as áreas de pesquisa e produção, encontrar alternativas ecologicamente corretas com as fibras é um grande passo para se alcançar um maior equilíbrio do sistema economia-ecologia-sociedade, principalmente quando se vê a variedade de aplicações tanto das fibras em si, quanto de seus componentes estruturais isolados [1,2].

Pensando nisso, percebeu-se que sobre a espécie *Ochroma pyramidale* só haviam estudos relacionados à madeira, germinação das sementes e sua utilização para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, mas as fibras do fruto ainda não haviam sido pesquisadas.

Por isso, esse trabalho teve como objetivo fazer a caracterização físico-química, térmica e morfológica da fibra do fruto do pau-de-balsa, a fim de tomar conhecimento de suas propriedades e potenciais aplicações. E como objetivos específicos fazer a extração de caracterização físico-química quantitativa dos principais componentes lignocelulósicos; realizar FTIR e TG da fibra *in natura* e da polpa extraída; realizar MEV da fibra *in natura*; analisar os resultados comparando com as referências para apontar suas possíveis potenciais aplicações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agroecologia

É uma ciência que, com uma visão holística dos princípios ecológicos, socioeconômicos e agronômicos, preza pela melhoria da qualidade de vida e pela preservação dos recursos naturais em conjunto com a manutenção mais sustentável e consciente da produção agrícola. Para isso, buscam-se novas tecnologias, novas aplicações para materiais já conhecidos ou novos materiais que possam substituir os já utilizados e que oferecem menores impactos.

Trata-se de uma nova abordagem que integra os princípios agronômicos, ecológicos e socioeconômicos à compreensão e avaliação do efeito das tecnologias sobre os sistemas agrícolas e a sociedade como um todo. Ela utiliza os agroecossistemas como unidade de estudo, ultrapassando a visão unidimensional (genética-agronomia-edafologia), incluindo dimensões ecológicas, sociais e culturais.

A agroecologia fornece os princípios ecológicos básicos para o estudo e tratamento de ecossistemas tanto produtivos quanto preservadores dos recursos naturais e que sejam culturalmente sensíveis, ecologicamente sustentáveis, economicamente viáveis e socialmente justos [3].

2.2 Fibras vegetais

2.2.1 Conceito e importância

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a cada ano os grandes agricultores colhem cerca de 35 milhões de toneladas de fibras naturais de uma ampla variedade de animais e vegetais. Essas fibras são usadas para produzir tecidos, cordas e cordéis, que têm desempenhado um papel fundamental nas sociedades humanas desde o início das civilizações, como o algodão e o linho, que datam de aproximadamente 3.000 a 3.500 a.C. o início de seu cultivo, importância essa que segue até os dias atuais. E, com a intenção de voltar a atenção do mundo para a importância das fibras naturais, a FAO declarou o ano de 2009 como o Ano Internacional das Fibras [1,2].

O termo “fibras naturais” é usado para designar as várias fibras com origem em vegetais, animais ou minerais. Elas são um recurso renovável por excelência, pois absorvem a mesma quantidade de CO₂ que produzem (*carbon free*). E se tratando de fibras vegetais, são materiais basicamente constituídos por lignina, hemicelulose e celulose, por isso podem ser chamadas também de “lignocelulósicas”, mas também possuem pectina, extrativos, resinas, ceras e pigmentos em quantidades menores (Ver item 2.4). A estrutura das fibras é bem complexa, mas pode ser resumida a microfibrilas rígidas de celulose envoltas por uma matriz de hemicelulose e lignina. Suas propriedades podem ser alteradas de acordo com a sua origem [1,2,4].

2.2.2 Fibras naturais versus fibras artificiais e regeneradas

As tecnologias industriais proporcionaram inovações promissoras, o que fez surgir as fibras artificiais e as regeneradas; como o acrílico, o náilon, poliéster e polipropileno; que substituíram as fibras naturais em vários aspectos para atender as novas demandas do mercado. Elas apresentam diversas vantagens sobre as fibras naturais, como: capacidade de produção independente das condições edafoclimáticas, com características (espessura, comprimento) pré-determinadas, com maior uniformidade, durabilidade e menor custo [1].

Porém, as fibras naturais também apresentam diversas vantagens quando comparadas às artificiais. Elas apoiam a população mundial e permitem a comunicação e o registro de informações através do papel; além disso, a receita vinda da venda e exportação de fibras naturais contribui com a segurança alimentar e alívio da pobreza; têm boas propriedades mecânicas e térmicas, biodegradabilidade, baixo custo, são fontes renováveis com disponibilidade considerada ilimitada e têm grande diversidade. A crescente conscientização ambiental tem feito com que a indústria e a população priorizem o uso de materiais naturais, juntamente com a busca por novas metodologias e processos menos poluentes e mais eficazes [1,2], linha de pensamento que segue o que a agroecologia propõe.

2.2.3 Composição

A biomassa lignocelulósica é constituída em geral por três frações principais que juntas, perfazem mais de 90% de massa lignocelulósica de matéria seca. São elas: em torno de 40% celulose, 30% de hemicelulose, 20% de lignina. E os 10% restantes são de pectina, proteína, extrativos e cinzas [5]. Valores relativos à massa seca.

Os percentuais dos componentes das fibras mais comuns estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Teores dos principais componentes de diferentes fibras vegetais

Fibra	Celulose (%)*	Hemicelulose (%)*	Lignina (%)*	Pectina (%)*	Cinzas (%)*	Água (%)*
Cânhamo [1]	74	18	4	1	NI	NI
Algodão [6]	82,7	5,7	-	5,7	NI	10
Juta [6]	64,4	12	11,8	0,2	NI	10
Linho [6]	64,1	16,7	2	1,8	NI	10
Sisal [6]	65,8	12	9,9	0,8	NI	10
Fibra de coco [6]	36-43	0,15-0,25	20-45	3	2,7-10,2	10-12
Rami [6]	68,8	13	0,6	1,9	NI	10
Bagaço de cana [6]	32-48	19-24	23-32	NI	1,5-5	8,8
Palha de trigo [6]	33-38	26-32	17-19	NI	6-8	10
Palha de arroz [6]	28-36	23-28	12-14	NI	14-20	6,5
Talo de sorgo [6]	27	25	11	NI	-	8-12
Abacaxi (folha) [6]	70-82	18	5-12	NI	0,7-0,9	10-13
Banana (folha) [6]	60-65	6-8	5-10	NI	4,7	10-15
Banana-prata (casca) [4]	23	10	32	NI	15	4

NI- Não Informado

*% em m/m

2.3 Pau-de-balsa

O pau-de-balsa, *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lamb.) Urban, pertencente à Malvaceae, é uma espécie arbórea ocorrente do sul do México até a Bolívia e na Amazônia brasileira. Pode chegar até 25 m de altura e 1,2 m de diâmetro. Floresce na época chuvosa (abril-julho) e frutifica na época seca (julho-outubro). Suas flores são grandes, solitárias, carnosas e aromáticas. Seus frutos são cápsulas quase cilíndricas e lenhosas, com deiscência loculicida e na sua parte interna possuem

uma paina muito sedosa pardo-clara ou amarelada que envolve e ajuda a dispersar um grande número de sementes pelo vento. (Ver Figuras 1 a 3)

Seu uso principal é a madeira que por possuir uma baixa densidade é utilizada para construção de barcos e jangadas, na confecção de boias, salva-vidas, brinquedos, isolantes térmicos e sonoros, forros de teto, caixas leves e celulose. A paina do fruto é usada em enchimento de colchões e travesseiros. E a árvore como um todo, por ter crescimento rápido, é usada para recuperação de áreas degradadas e reflorestamento [7].

Figura 1: Desmembramento do fruto de *O. pyramidale*



Fonte: Ana Luisa Farias, 2018

Figura 2: Fibra do fruto (parte utilizada na pesquisa)



Fonte: Ana Luisa Farias, 2018

Figura 3: Sementes do fruto



Fonte: Ana Luisa Farias, 2018

2.4 Parâmetros físico-químicos avaliados

2.4.1 Componentes solúveis

Os componentes solúveis em água fria, água quente e hidróxido de sódio compreendem sais orgânicos, açúcares, gomas, amidos, pigmentos, resinas (que estão envolvidas na proteção das folhas contra perda excessiva de água), taninos (que pelo seu sabor adstringente, protegem-nas da herbivoria) e substâncias que reagem com NaOH e formam um sal [8].

2.4.2 Umidade

É o teor de água presente na amostra [9].

2.4.3 Cinzas

As cinzas, em amostras vegetais, representam os minerais presentes na amostra, como sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e outros, que permanecem depois de amostra ter passado pelo processo de calcinação [9]. Os minerais presentes na composição final das cinzas de amostras vegetais podem também revelar se a espécie submetida pode absorver metais potencialmente tóxicos ou não.

2.4.4 Extrativos

Os extrativos são definidos como compostos que podem ser extraídos de materiais lignocelulósicos, por solventes polares e/ou apolares, que não são

componentes estruturais da parede celular. São eles alguns sais, açúcares, polissacarídeos solúveis em água, ácidos ou ésteres graxos, álcoois de cadeia longa, ceras, resinas, esteroides, compostos fenólicos e glicosídeos solúveis em solventes orgânicos [9]. A etapa de determinação dos extrativos é preliminar à determinação dos teores de lignina e holocelulose e é importante tanto para saber sua porcentagem na amostra quanto para evitar que interfira nos resultados das etapas posteriores, assim como também deixa os procedimentos posteriores mais eficientes.

2.4.5 Lignina

A lignina é o terceiro biopolímero mais produzido pelos vegetais e a substância aromática mais abundante na Terra, e um dos maiores constituintes dos vegetais. Ela está presente na parede celular, conferindo suporte estrutural, impermeabilidade e resistência contra ataques microbianos e estresse oxidativo. Estruturalmente, a lignina é uma molécula extremamente complexa e amorfa, construída a partir de unidades de fenilpropano, em uma estrutura tridimensional, e sintetizada a partir de reações enzimáticas que envolvem radicais livres sobre os álcoois coniferílico, p-cumarílico e sinapílico. Esses três álcoois reagem entre si, formando duas ligações de éter para cada ligação C-C na lignina. Ela é uma das matérias primas de biomassa potencial para a indústria química, que pode ser refinada ou transformada em produtos químicos verdes de alto valor agregado como gasolina, metanol, gasogênio, entre outros [9,10].

2.4.6 Holocelulose, hemicelulose e celulose

Holocelulose- São os carboidratos totais presentes em uma célula vegetal. Ou seja, ela engloba os valores de celulose e dos demais carboidratos (hemicelulose + celulose). A principal técnica empregada na determinação de holocelulose consiste na oxidação da lignina em um meio ácido, principalmente a oxidação por cloro, proveniente da reação entre clorito de sódio e ácido acético a quente, a fim de isolar a holocelulose [9].

Hemicelulose- É o segundo biopolímero mais abundante na Terra, atrás apenas da celulose. Estruturalmente, as hemiceluloses são moléculas planas, que auxiliam na formação de ligações cruzadas entre a celulose a lignina. Ela é dividida

em pentosanas (xilose e arabinose) e hexanas (galactose, manose e glicose). A principal característica química das hemiceluloses é que ela pode ser facilmente separada da celulose através de extração alcalina de material delignificado [1,5,9].

Celulose- É o biopolímero renovável mais abundante na Terra, com uma longa e bem definida base tecnológica, biossintetizada por plantas, algumas amebas, animais marinhos, bactérias e fungos. Se agrupa na forma de microfibrilas compostas por anidro-D-glucopirranose, e que apesar de serem chamadas assim, possuem escala nanométrica. Cada mero contém três grupos de hidroxila livres que se ligam e realizam o empacotamento cristalino da celulose [2,4,11]. Ela contribui para a resistência da parede celular das células vegetais. Também é uma fonte de carboidratos para os ruminantes. Pode ser usada na indústria moveleira, cosmética, têxtil, alimentícia, farmacêutica, de manufatura de papéis, na construção civil, produção de tintas e para combustível sólido. Recentemente, o interesse para celulose tem sido renovado pela produção de etanol, de solventes e de compostos orgânicos, e pela extração de micro e nanocristais de celulose para uso em compósitos [4,9].

2.5 Técnicas instrumentais utilizadas

2.5.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho (FTIR)

É um método de caracterização física para análises qualitativas e determinações quantitativas de traços de elementos. Isto é possível porque os átomos que formam as moléculas possuem frequências específicas de vibração, que variam de acordo com a estrutura, composição e o modo de vibração da amostra. Para varrer essa gama de frequência utiliza-se o infravermelho médio (4000 a 200 cm^{-1}) [12].

2.5.2 Termogravimetria (TG)

É uma técnica termoanalítica que acompanha a perda e/ou ganho de massa em função do tempo ou da temperatura [13].

2.5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Um microscópio eletrônico de varredura utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, que fornece

rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos (através de outros dispositivos acoplados ao microscópio) de uma amostra sólida em uma imagem de tridimensional de alta resolução [14].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3. 1 Reagentes:

- Ácido Sulfúrico P.A. (Synth);
- Ácido Acético Glacial (Synth);
- Ácido Acético Glacial P.A. (Anidrol);
- Ácido Clorídrico P.A. (Dinâmica);
- Álcool Etílico P.A. 95% (Dinâmica);
- Álcool Etílico Absoluto (Nuclear);
- Hexano P.A. (G.R.Q.);
- Hexano P.A. (Biotec);
- Acetona P.A. (Dinâmica);
- Clorito de Sódio (Sigma-Alderich).

3. 2 Equipamentos:

- Estufa Digital Timer SSD (Solid Steel);
- Estufa para Esterilização e Secagem (Nova Instruments);
- Estufa para Esterilização e Secagem MD 1.2 (Medicate);
- Forno Mufla (Cienlab);
- Mantas de Aquecimento (Fisatom);
- Liofilizador Enterprise I (Terroni Equipamentos Científicos);
- Banho de Aquecimento (Solid Steel);
- Banho Maria (Quimis);
- Agitador Magnético (Quimis);
- Balança Analítica (Marte);
- Balança Analítica (BEL Engineering);
- BL Series Eletronic Balance (Bioscale);
- Espectrofotômetro Infravermelho (Shimadzu);
- SDT Q600 (TA Instruments);
- Microscópio Eletrônico de Varredura (Carl Zeiss);
- Espectrofotômetro UV- Visível (Global Trade Technology)

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Química e Biologia do IFAM-CMZL, no NANOPOL da UFAM, no LMEA do IFSC, no LAMAC da UFAM e no HUB da UEA. Todas as análises químicas quantitativas foram feitas em triplicata e os resultados obtidos estão sendo representados pela média aritmética. Os itens 3.3.2, a 3.3.4 foram embasados nos métodos TAPPI descritos em PIRES, 2009 [8]. E os itens 3.3.5 a 3.3.12 foram embasados nos métodos TAPPI descritos em MORAIS, 2010 [9].

3.3 Métodos

3.3.1 Pré-tratamento das fibras

Os frutos foram coletados nos meses de julho e agosto de 2018 no Centro de Referência em Agroecologia (CRA) do IFAM-CMZL seguindo as coordenadas S3°4'51.8268 e W59°56'2.9328 (adquiridas através do aplicativo Mapa Coordenadas), e suas fibras (paina) foram limpas e separadas das outras estruturas do fruto manualmente.

3.3.2 Teor de componentes solúveis em água fria (CSAF%)

Nesta análise, 2,0000 g da fibra *in natura* foram postos em Erlenmeyer com 300 mL de água destilada sob agitação constante por 48 h. Passado o tempo, a fibra foi filtrada à vácuo lavando-se com 250 mL de água destilada e posta para secar em estufa à 103°C ± 2 por 24 h visando determinar o peso seco da fibra. Calculou-se o teor de componentes solúveis em água fria pela expressão:

$$CSAF\% = \frac{2,0000 - \text{peso seco}}{2,0000} * 100$$

3.3.3 Teor de componentes solúveis em água quente (CSAQ%)

Nesta análise, 2,0000 g de fibra *in natura* foram postos em Erlenmeyer com 100 mL de água destilada em banho-maria ebulindo coberto com vidro de relógio por 3 h mexendo a cada 15 min. Passado o tempo, a fibra foi filtrada à vácuo e posta para secar em estufa à 103°C ± 2 por 24 h visando determinar o peso seco da fibra. Calculou-se o teor de componentes solúveis em água quente pela expressão:

$$CSAQ\% = \frac{2,0000 - \text{peso seco}}{2,0000} * 100$$

3.3.4 Teor de componentes solúveis em hidróxido de sódio (CSNaOH%)

Nesta análise, 2,0000 g de fibra *in natura* foram postos em Erlenmeyer com 100 mL de solução de NaOH 1% em banho-maria ebulindo por 1 h mexendo a cada 15 min. Passado o tempo, a fibra foi filtrada à vácuo lavando-se com 250 mL de água destilada quente, 50 mL de solução de ácido acético 10% frio e novamente com 250 mL de água destilada quente e depois foi posta em estufa à 103°C ± 2 por 24 h visando determinar o peso seco da fibra. Calculou-se o teor de componentes solúveis em água fria pela expressão:

$$CSNaOH\% = \frac{2,0000 - \text{peso seco}}{2,0000} * 100$$

3.3.5 Teor de umidade (TU%)

Em recipiente previamente limpo e de peso conhecido, foram pesados 2,0000 g de fibra *in natura* e postos em estufa à 103°C ± 2 por 3 h. Após esfriar em dessecador, a fibra foi pesada. Calculou-se o teor de umidade através da expressão:

$$TU\% = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

3.3.6 Teor de cinzas (TC%)

Para sua determinação, em primeiro lugar, tara-se os cadinhos de porcelana em mufla à 600°C por 1 h. Em razão da natureza da fibra em estudo ter uma baixa densidade, pesou-se apenas 0,3000 g de amostra para cada alíquota, que foram, de antemão, carbonizadas no fogão sobre folha de amianto até ficar com aspecto de carvão e, então, foram para a mufla programada com uma rampa de aquecimento de 9,6°C/min, atingindo desta forma 600°C por 3 h. Deixou-se esfriar em dessecador e pesou-se. Calculou-se o teor de cinzas através da expressão:

$$TC\% = \frac{\text{Peso cinzas}}{\text{Peso a. s.}} * 100$$

Onde “Peso a.s.” é peso absolutamente seco da amostra, ou seja, sem umidade.

3.3.7 Teor de extrativos (TE%)

Na primeira etapa, colocou-se 3,5000 g de fibra no sistema balão-soxhlet-condensador com 200 mL de hexano:etanol (2:1) durante 4 h. Na segunda etapa, colocou-se a fibra restante no mesmo sistema agora com 200 mL apenas de etanol por 4 h. E na terceira, foi feito um banho-maria por 1 h para remoção de resíduos de solvente. No final de cada etapa, a fibra era colocada em estufa para acompanhamento da perda de peso. Calculou-se o teor de extrativos através da expressão:

$$TE\% = \frac{\textit{peso inicial} - \textit{peso seco}}{\textit{peso inicial}} * 100$$

O teor de extrativos necessita de correção em seu cálculo, onde se retira o teor de umidade da equação:

$$TE_{cor}\% = \frac{TE\% * (100 - TU\%)}{100}$$

3.3.8 Teor de lignina insolúvel (TLI%)

Para sua determinação, colocou-se 1,0000 g de amostra sem umidade nem extrativos em 30 mL de solução de ácido sulfúrico 72% (v/v) (adaptação da metodologia em função do volume da amostra) resfriado à 10°C que foram levados ao sistema agitador magnético-balão-condensador por 3 h à 70°C. Passado o tempo, a solução foi diluída à 4% com água destilada e permaneceu por mais 4 h à 70°C. Então, o conteúdo do balão foi filtrado à vácuo em funil de vidro sinterizado ASTM tipo 3 previamente tarado, e foi posto em estufa à 103 ± 2 por 24 h. O filtrado ácido foi recolhido na metade do processo para posterior determinação do teor de lignina solúvel.

Calculou-se o teor de lignina insolúvel através da expressão:

$$TLI\% = \frac{\textit{peso inicial} - \textit{peso seco}}{\textit{peso inicial}} * 100$$

O teor de lignina necessita de correção em seu cálculo, onde se retira o teor de umidade e de extrativos da equação:

$$TLI_{cor}\% = \frac{TLI\% * [100 - (TU\% + TE\%)]}{100}$$

3.3.9 Teor de lignina solúvel

Para a determinação de lignina solúvel, foi feita uma varredura de absorvância de 280 nm a 215 nm no ultravioleta visível. Para saber a concentração de lignina solúvel (CLS), aplicou-se os valores obtidos na fórmula:

$$CLS = \frac{4,53 * A_{215} - A_{280}}{300}$$

Como a amostra inicial tinha um volume de 570 mL, multiplicou-se CLS por 0,57 L para se obter a massa de lignina solúvel (MLS) na amostra seca e sem extrativos. E por fim, para saber o teor de lignina solúvel, utilizou-se a fórmula, onde MA é massa da amostra:

$$TLS\% = \frac{MLS}{MA} * 100$$

O teor de lignina solúvel necessita de correção em cálculo, onde se retira o teor de umidade e de extrativos da equação:

$$TLScor\% = \frac{TLS\% * [100 - (TU\% + TE\%)]}{100}$$

3.3.10 Teor de holocelulose (THolo%)

Para sua determinação, utilizou-se 3,0000 g de fibra sem umidade nem extrativos em um erlenmeyer com 240 mL de água destilada, 5 g de clorito de sódio e 2 mL de ácido acético (adaptação em função do volume da amostra) sobre um agitador magnético à 70°C por 1 h. Foi feita apenas mais uma nova aplicação de 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético que permaneceu por mais 1 h sob agitação, pois se observou que a fibra já tinha branqueado, não necessitando de novas aplicações.

Após essa etapa, a holocelulose foi resfriada à 10°C em banho de gelo e filtrada à vácuo em funil de vidro sinterizado ASTM tipo 2, lavando com água destilada, 20 mL de acetona e novamente com água até a fibra branqueada atingir pH da água. O funil foi então levado para a estufa à 103°C ± 2 por 24 h. Calculou-se o teor de holocelulose através da expressão:

$$THolo\% = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso seco}}{\text{peso inicial}} * 100$$

O teor de holocelulose necessita de correção em seu cálculo, onde se retira o teor de umidade e de extrativos da equação:

$$THolacor\% = \frac{THolo\% * [100 - (TU\% + TE\%)]}{100}$$

3.3.11 Teor de celulose (TCel%)

Para determinação da celulose, colocou-se 1,0000 g da holocelulose obtida em um almofariz com 15 mL de solução de NaOH 17,5% (m/v). Aguardou-se 2 min de contato da fibra com a solução para então começar a triturar com o pistilo durante 8 min. Terminado o tempo, adicionou-se 40 mL de água destilada e transferiu-se o conteúdo para o funil de vidro sinterizado ASTM tipo 2 previamente tarado, lavando o conteúdo com água destilada até atingir pH da água. O funil foi levado para estufa à 103°C ± 2 por 24 h. Calculou-se o teor de celulose através da expressão:

$$TCel\% = \frac{\textit{peso inicial} - \textit{peso seco}}{\textit{peso inicial}} * 100$$

O teor de celulose necessita de correção em seu cálculo, onde se retira o teor de umidade e de extrativos da equação:

$$TCelcor\% = \frac{TCel\% * [100 - (TU\% + TE\%)]}{100}$$

3.3.12 Teor de hemicelulose (THemi%)

Para determinação do teor de hemicelulose, é feita a diferença entre os teores de holocelulose e celulose, segundo a equação:

$$THemi\% = THolacor\% - TCelcor\%$$

3.3.13 Espectroscopia na Região do Infravermelho (FTIR)

Utilizou-se um range de varredura de 500 – 4000 cm⁻¹, 64 *scans*, resolução de 1 cm⁻¹, modo transmitância em espectrofotômetro de infravermelho por transformada de Fourier da marca Shimadzu, modelo IR Prestige-21 com software IRsolution versão 1.6, no HUB da UEA.

3.3.14 Termogravimetria (TG)

As análises termogravimétricas foram realizadas em um equipamento SDT Q600 da TA Instruments V 20.9 no LAMAC da UFAM, porta amostra de alumina, razão de aquecimento de 10°C/min até 600°C, sob fluxo de gás nitrogênio de 30mL/min.

3.3.15 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para determinar a morfologia das amostras foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura da Carl Zeiss, modelo Sigma equipado com canhão por emissão de campo, localizado no LMEA do IFSC da USP.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Físico-Química Quantitativa

Os valores obtidos para caracterização podem sofrer alterações devido às condições edafoclimáticas, à idade da planta, à época de colheita, ao tempo de maturação do fruto, à presença de praga ou doença, entre outros fatores. Deve-se frisar que as metodologias para extração e isolamento de componentes lignocelulósicos ainda não são conclusivas e estão sujeitas a erros. Resolveu-se chamar a celulose extraída de “polpa” por ela ainda não ter sido isolada completamente dos outros componentes e, ainda, apresentar pequenos teores de hemicelulose e lignina residuais, como será apresentado nas análises a seguir.

A fibra do fruto do *O. pyramidale* tem características atípicas, sua textura se assemelha à fibra sintética e sua aparência à algodão colorido, mas são fáceis de separar umas das outras e das sementes, que são bastante numerosas. Ela também não aparentou mudanças visíveis ao longo do período de nove meses em que foi observada, armazenada em recipientes abertos e outros fechados em temperatura ambiente, onde não desenvolveu bolores ou leveduras e nem absorveu umidade. Os valores em porcentagem (m/m) dos principais componentes da fibra estão listados na Tabela 2:

Tabela 2: Teores dos principais componentes físico-químicos de *O. pyramidale*

Componente	Valor médio (%)
%CS Água Fria	12,0±0,1
%CS Água Quente	15,0±0,1
%CS NaOH	22±1
%Umidade	9,0±0,2
%Cinzas	2,0±0,1
%Extrativos Corrigida	10,0±0,2
%Hemicelulose Corrigida	28±3
%Celulose Corrigida	39±1
%Lignina Corrigida	32±64
%Lignina Solúvel Corrigida	0,140±0,003

Fonte: Ana Luisa Farias, valores obtidos das equações

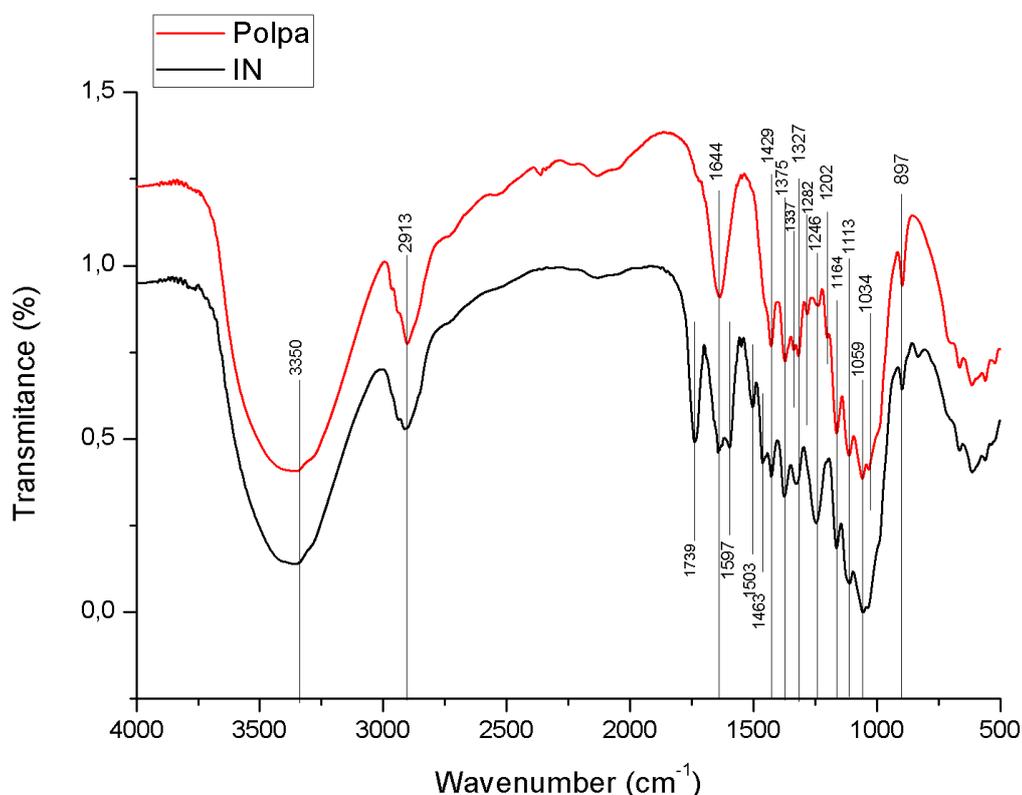
Os percentuais de CSAF, CSAQ e CSNaOH servem para indicar o quanto em massa a fibra pode perder caso seja submetida à algum tratamento semelhante,

sendo a massa perdida composta apenas por umidade, ceras, resinas, taninos, sais orgânicos e açúcares, ou seja, não são os componentes estruturais. Os valores de CSAF e CSAQ estão bem próximos do teor de umidade, o que sugere que a fibra sofre pouca degradação em tratamentos simples com água, comprovando sua resistência à água e temperaturas elevadas.

Os valores obtidos para os componentes físico-químicos estão dentro dos valores médios encontrados na literatura para fibras vegetais [1,5]. Se tratando especificamente dessa fibra, ainda eram inexistentes pesquisas feitas com ela, sendo este trabalho o primeiro a por em evidência essa estrutura dessa planta. Percebeu-se também que a polpa extraída apresentou maior aderência às próprias fibras, sendo mais difícil de separá-las, assim como também sendo necessária mais força para tal, o que sugere que sua polpa tem maior resistência à tração do que ela ainda *in natura*.

4.2 Espectroscopia na Região do Infravermelho (FTIR)

Figura 4: Espectro de FTIR das amostras IN e da polpa



Fonte: Ana Luisa Farias, imagem captada no programa de leitura e edição OriginPro8, 2019

Os espectros de FTIR das amostras da fibra *in natura* (IN) e da polpa extraída estão sendo representados na Figura 4. A Tabela 3 mostra resumidamente as principais bandas identificadas.

Através da análise dos espectros, percebeu-se uma banda larga na faixa de 3350 cm^{-1} nas duas amostras, atribuída aos grupos OH livres da celulose [15-19]. Em 2913 cm^{-1} , identificou-se o estiramento C-H e O-H também referente à celulose [4,16]. Em 1644 cm^{-1} , identificou-se um pico característico de água absorvida pela celulose [4,15,16,18,20-22].

Em 1739 cm^{-1} observou-se um pico bem definido na amostra IN, relacionado ao estiramento C=O dos grupos acetil e éster urônico da pectina e hemicelulose, ou a ligação éster do grupo carboxílico dos ácidos ferúlico e p-cumárico da lignina e/ou hemicelulose [16,20-24]. Essa banda não desapareceu completamente na polpa, o que nos indica que a lignina não foi removida completamente durante o branqueamento. Em 1597 cm^{-1} , identificou-se a ligação C=C aromática da lignina [15,16], identificada apenas na amostra IN. Os picos em 1503 cm^{-1} e 1463 cm^{-1} se mostraram mais evidentes em IN do que na polpa, que apresenta apenas pequenos ombros das mesmas bandas, sendo eles referentes à ligação C=C aromática e deformação C-H com anel aromático, respectivamente, ambos característicos de lignina [4,15,16,24], que assim como o pico 1739 cm^{-1} , sugere que a lignina não foi completamente removida.

Os picos em 1429 cm^{-1} e 1375 cm^{-1} relativos ao CH_2 e O-H da celulose são mais evidentes na polpa, devido a sua estrutura ter ficado mais exposta [4,16]. Os picos em 1337 cm^{-1} e 1318 cm^{-1} estão ambos relacionados às ligações COH e HCC da celulose cristalina [22,23,25]. O pico em 1282 cm^{-1} refere-se a celulose cristalina [22].

O pico em 1246 cm^{-1} refere-se ao alongamento C-O da lignina [20,26], e se encontra mais acentuado em IN do que na polpa. O pico em 1202 cm^{-1} não foi identificado em IN, mas aparece discretamente na polpa, característico da dobra OH e alongamento C-O-C do anel piranose da celulose [15]. Detectou-se picos de celulose em 1113 cm^{-1} , referente ao estiramento antissimétrico C-O, e outro em 1059 cm^{-1} referente aos alongamentos C-O e C-H [4,24]. Também foram detectados dois picos em 1164 cm^{-1} e 1034 cm^{-1} , ambos relacionados ao estiramento C-O-C dos arabinosilanos (componentes da hemicelulose), o que indica que grande parte desse componente foi removida, mas não totalmente, e por isso ainda é possível

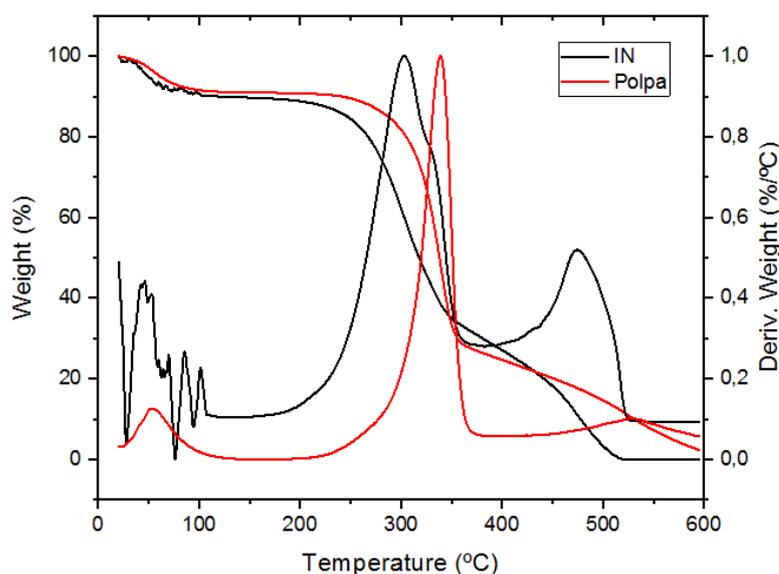
identificar picos relacionados a ela^[15,18,20,21,27,28]. O pico em 897 cm⁻¹ é bastante característico de celulose, por estar relacionado às ligações β-glicosídeas entre unidades de açúcar das cadeias celulósicas ^[4,15,18-21].

Tabela 3: Principais vibrações detectadas no FTIR para IN e polpa

Wavenumber (cm ⁻¹)	Grupos de base e/ou modos vibracionais	Fonte
3350	Grupos OH livres da celulose	15-19
2913	Estiramento C-H e O-H da celulose	4,16
1644	Água absorvida pela celulose	4,15-18,20-22
1429/1375	CH ₂ e O-H da celulose	4,16
1337/1318	Ligações COH e HCC da celulose cristalina	22,23,25
1113	Estiramento antissimétrico C-O da celulose	4,24
1059	Alongamento C-O e C-H da celulose	4,24
1202	Dobra O-H e alongamento C-O-C da celulose	15
897	Ligações β-glicosídeas da celulose	4,15,18-21
1739	Estiramento C=O dos grupos acetil e éster urônico da pectina ou da ligação éster do grupo carboxílico dos ácidos ferúlico e p-cumárico da lignina e/ou hemicelulose	16,20-24
1597/1503/1463	C=C e deformação C-H aromáticos da lignina	4,15,16,24
1246	Alongamento C-O da lignina	20,26
1164/1034	Estiramento C-O-C dos arabinoxilanos (hemicelulose)	15,18,20,21,27,28

4.3 Termogravimetria (TG)

Figura 5: Curvas de TG e dTG das amostras IN e da polpa



Fonte: Matheus Biondo, imagem captada no programa de leitura e edição OriginPro8. 2019

As análises termogravimétricas (TG/dTG) foram utilizadas para descrever o comportamento térmico das amostras da fibra IN (curva preta) e da polpa (curva vermelha).

A Figura 5 mostra a sobreposição das curvas termogravimétricas (TG) e das curvas de dTG das amostras IN e polpa. Na Tabela 4 estão listadas as informações extraídas a partir do comportamento térmico das amostras IN e polpa.

Em relação ao comportamento termogravimétrico (TG/dTG) das amostras, as curvas apresentaram três eventos de decomposição bem definidos. A amostra IN apresentou o primeiro evento entre 20° e 106°C, resultando em 9% de perda de massa. A análise apresentou ruídos nesse primeiro evento, mas ele é atribuído apenas à perda de umidade da amostra, o que não interfere significativamente na interpretação geral dos dados. O segundo evento foi observado na faixa de 181° e 365°C, atribuído a decomposição da hemicelulose seguida da celulose, possuindo a maior perda de massa, em torno de 56%, que corresponde a faixa de decomposição da hemicelulose e celulose relatada na literatura [4,29]. A hemicelulose é composta por sacarídeos de estrutura amorfa (xilose, arabinose, glucose, galactose e ácidos urônicos, sendo a xilose a principal), logo são facilmente retirados da cadeia principal, e por isso é o primeiro pico de degradação e ao se decompor, produz diversos compostos orgânicos voláteis como CO₂, acetona e ácido acético [30]. Já a celulose é constituída por longas cadeias poliméricas de glicose não ramificadas bem rígidas e ordenada, que resulta em uma boa estabilidade térmica e sua faixa de decomposição está entre 300° e 430°C com média de perda de massa entre 46 e 50%. Por estarem intimamente ligadas, a decomposição de ambas (celulose e hemicelulose) ocorre no mesmo evento com faixas de temperatura semelhantes [4,29]. O terceiro evento pode ser verificado entre 365° e 506°, atribuído principalmente a decomposição da lignina e componentes residuais. Devido à quantidade de anéis aromáticos e ramificações, a lignina é o componente menos susceptível à degradação e sua decomposição ocorre de forma lenta com ampla faixa de temperatura de degradação, podendo variar entre 100° e 900°C e produz maior quantidade de carvão e alcatrão como subprodutos e CO₂ e CH₄ como compostos voláteis, e por esses motivos apresenta grande potencial para ser utilizada como matéria prima para biocombustíveis [4,29]. O resíduo ao final do ensaio foi em torno de 2% de massa.

Analisando as informações apresentadas nas curvas de TG/dTG da polpa, observou-se que o primeiro evento ocorreu entre 25° e 100°C referente a retirada de água, com perda de massa de aproximadamente 9%. O segundo evento ocorreu entre 218° e 380°C e está relacionado à degradação principalmente da celulose resultando em 64% de perda de massa. Acredita-se que a hemicelulose não foi totalmente removida devido a algumas bandas relacionadas a ela terem sido identificadas durante a análise de FTIR (que é uma técnica mais sensível e detalhista), mas que ela foi drasticamente reduzida na amostra, e que por isso sua faixa de degradação no TG da polpa não foi identificada com clareza, aparentando que apenas a celulose está sendo degradada. E o terceiro evento ocorre de forma bem discreta entre 457° e 591°C, com perda de massa em torno de 25% e está relacionado da lignina residual e resíduos carbonáceos que não foram completamente removidos durante o branqueamento da polpa, com 2% de resíduo ao final do ensaio.

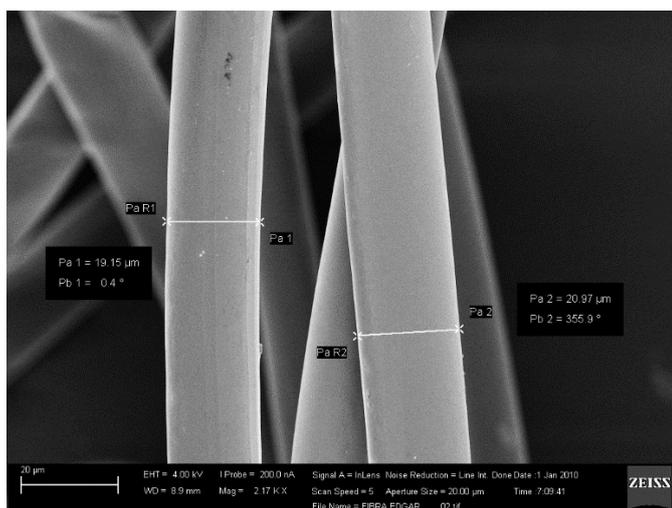
Tabela 4: Informações de TG/dTG das amostras IN e da polpa

Amostra	1º evento (°C)	Perda de massa	2º evento (°C)	Perda de massa	3º evento (°C)	Perda de massa	Resíduo
IN	20-106	9%	181-365	56%	365-506	33%	2%
Polpa	25-100	9%	218-380	64%	457-591	25%	2%

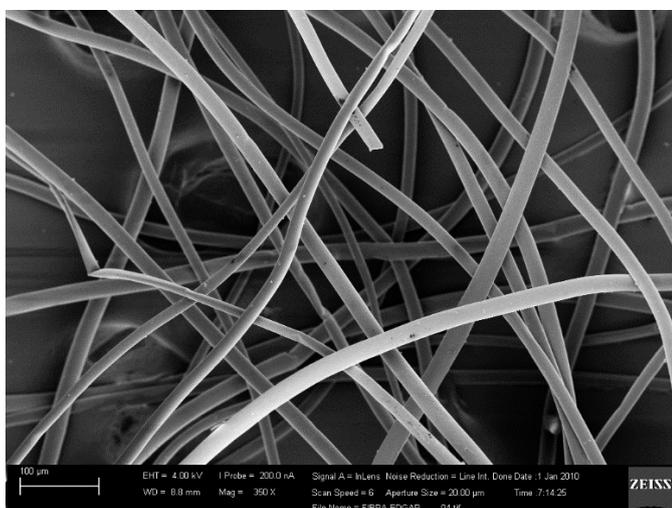
Através dos resultados de TG/dTG foi possível observar a fibra IN possui um pico de dTG para lignina bem mais amplo e evidente do que na polpa, e outro para hemicelulose e celulose no mesmo evento, enquanto que na polpa, na mesma faixa de temperatura, observou-se a aparente decomposição apenas da celulose. Nota-se que processo de extração da celulose para se obter a polpa não removeu eficientemente a hemicelulose (mesmo que não tenha sido identificado seu pico de dTG na polpa, foram identificadas bandas características durante o FTIR que comprovam sua presença). Assim como a lignina, que por ser um componente complexo, difícil de ser removido quimicamente e degradado termicamente, ainda continuou presente, porém em quantidades bem menores. Logo, mesmo na polpa, pode-se ainda observar o evento de decomposição relativo a este componente e seus subprodutos e resíduos da amostra.

Em relação ao primeiro evento de ambas as amostras, ocorreu uma perda de massa em torno de 9%, valor equivalente ao TU%, assim como o resíduo ao final do ensaio de IN e da polpa, que ficou em torno de 2%, equivalente ao valor de TC% encontrados durante a caracterização físico-química quantitativa.

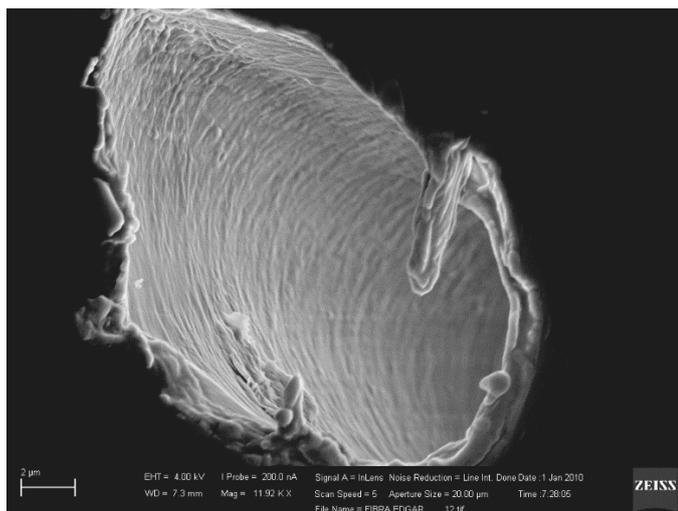
4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)



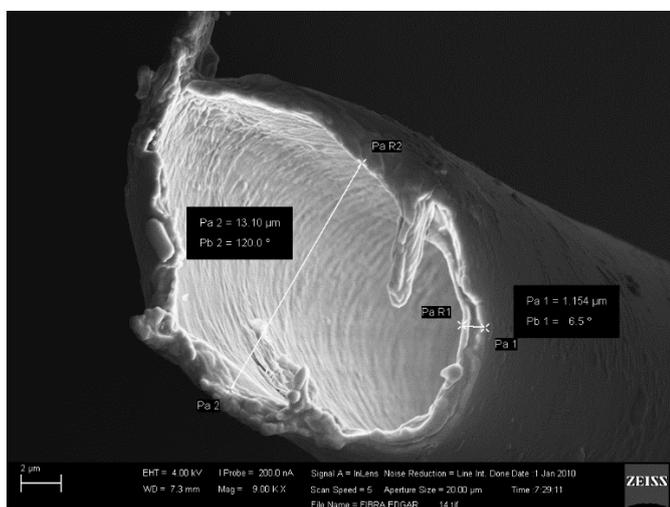
(a)



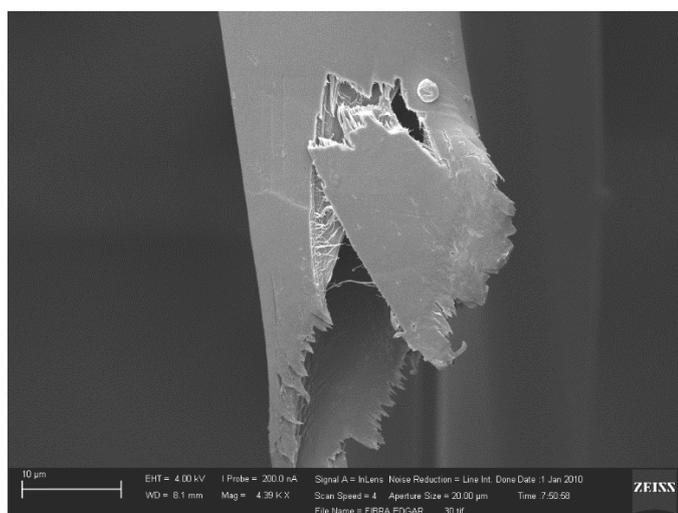
(b)



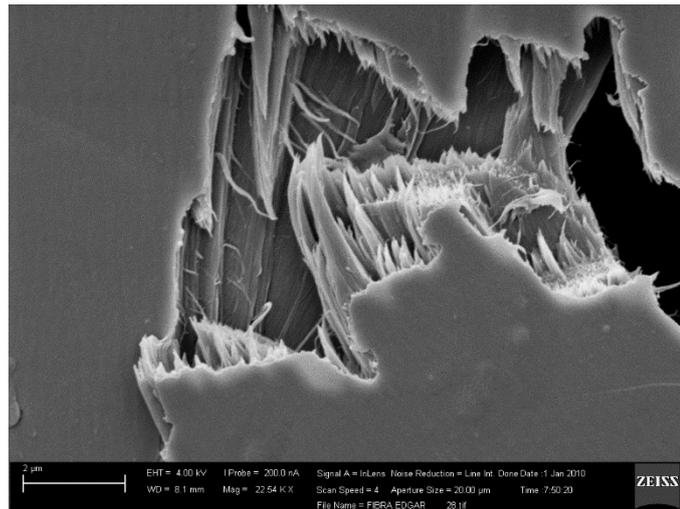
(c)



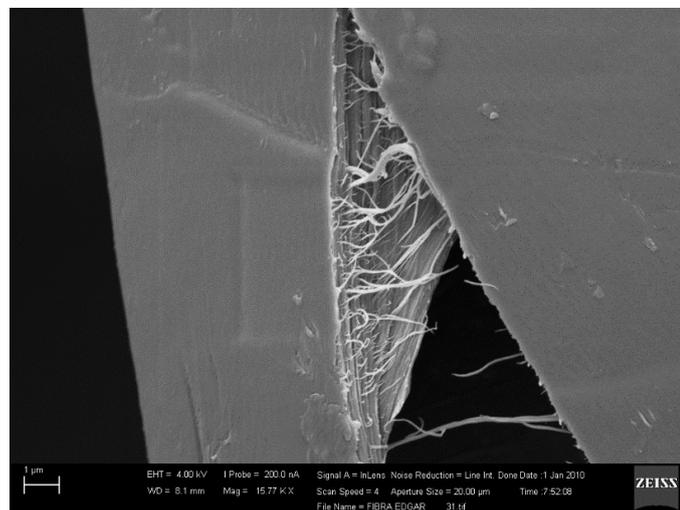
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 6: a), b), c), d), e), f), g)- Imagens de MEV da fibra *In Natura*

Fonte: Edgar Sanches, imagem captada no Microscópio Eletrônico de Varredura Carl Zeiss, 2018

As Figuras 5(a) e 5(b) revelaram que a fibra apresenta um padrão morfológico em diâmetro, com superfície de lisa a pouquíssimo rugosa.

Nas imagens 5(c) e 5(d), pôde-se perceber que a fibra é cilíndrica e oca (tubular). Uma única fibra foi medida apenas para se ter uma noção do diâmetro e chegou-se ao resultado de 13,10 μm de diâmetro e 1,154 μm de espessura da parede da fibra.

Já as imagens 5(e), 5(f) e 5(g) mostram o comportamento da fibra depois de ter sofrido um impacto mecânico e com a aproximação entre 15,77 KX e 22,54 KX

podemos ver que sua parede, apesar de ser superficialmente lisa é composta por microfibrilas de celulose bem definidas e interligadas.

4.5 Perspectivas em novos materiais

Em se tratando da fibra *in natura*, devido a sua morfologia tubular, apresentou potencial para possível aplicação como isolante térmico, característica comprovada durante a carbonização antes da calcinação, que demorou quatro vezes mais do que o tempo médio, justamente por a fibra não estar conduzindo o calor recebido, apenas absorvendo para a região interna, onde depois de toda preenchida por ar quente começa a carbonizar. Também, por ter memória molecular (que é quando um material sofre um impacto, mas retorna ao seu formato original), apresentou potencial como amortecedora, por ser capaz de suavizar grandes impactos sem danificar sua própria estrutura.

A sua celulose apresentou potencial como substrato para: substrato para polímeros condutores e reforço ou matriz em compósitos, por ser mais resistente à tração quando comparada à sua versão *in natura*. Para produção de papel, sendo necessária pouca pressão em toneladas para que as fibrilas já se compactassem; produção de “plásticos” biodegradáveis, que inclusive já circulam no mercado; para solventes, como o furfural usado nas indústrias petrolíferas, e que também produz o álcool furfurílico usado na produção de fragrâncias e vitamina C; na forma de fibras, podem ser empacotadas e rearranjadas para se tornarem um fio com maior espessura e mais resistente; fornecer nitrocelulose para explosivos; para uso cosmético, farmacêutico e/ou alimentício, pode funcionar como filtro ou como excipiente sólido para ter a função de um agente de volume; uso como texturizador e emulsificante em preparos líquidos, devido à sua celulose também conter um comportamento viscoso na água, o que nos sugere. Devido o acetato de celulose ser um derivado que funciona como filtro de soluções enzimáticas, pode produzir membranas de filtração e purificação do sangue, ou para análises citopatológicas; também já está sendo pesquisada sua utilização para impressão 3D, que quando exposta à luz UV, esteriliza à 95%, mostrando potencial para uso em instrumentos médicos novos, adaptados ou que tenham difícil acesso à locais mais subdesenvolvidos.

A hemicelulose apresenta menos aplicações que a celulose, porém é utilizada na produção de pigmentos, tintas, corantes, coagulante, etanol e outros álcoois derivados.

Sua lignina se mostrou viável como matéria prima para produção de biocombustível, o que seria uma alternativa pra regiões mais isoladas que não têm acesso à rede de energia e poderiam produzir a sua própria, utilizando a lignina extraída. Esse componente extraído se mostrou pegajoso, o que se mostra com grande potencial como adesivo e aglutinante, que teriam aplicações em construções (como agregado de argamassa para revestimento, devido também à sua característica hidrofóbica), cola industrial/comercial/escolar, aglutinantes de outros materiais etc.; para produção de filmes impermeáveis (como o bioplástico) e/ou filmes de sensoriamento óptico para captação e identificação de substâncias; para a produção de vanilina natural (principal componente da essência de baunilha), servindo de substituta à vanilina artificial, causando um menor impacto ambiental. Devido à sua atividade antioxidante e foto-protetora, a lignina também vem sendo estudada para aplicação em cosméticos com fórmulas antienvhecimento e protetores solares. Ela pode ser extraída sem o licor negro, o que facilita o seu uso para os mais diversos fins em cosméticos, sem perder a eficiência. Devido às suas propriedades aglutinantes, hidrofóbicas, estabilidade térmica e difícil degradação química e térmica, a lignina também pode ser aliada da nanotecnologia, utilizada como material de parede em micro e nanocápsulas.

5 CONCLUSÃO

Recomenda-se a busca por novos métodos mais eficientes para extração de componentes lignocelulósicos, ecologicamente conscientes, mas que não agridam ou danifiquem a amostra final de cada componente, pois como vimos durante o trabalho, a soma de todos eles ultrapassou 100%, o que nos indica que os valores de suas respectivas extrações entraram no cálculo uma da outra, sem ter ocorrido efetivamente seus isolamentos. A fibra se apresentou com características exclusivas, quando comparadas a outras fibras vegetais, por ter origem no fruto (enquanto que a maioria das outras fibras utilizadas mundialmente é proveniente das folhas ou do caule das plantas), pelo seu baixo peso, maciez, por sofrer poucas ou nenhuma alteração ao longo de vários meses quando bem armazenada, pela sua resistência à altas temperaturas e à água em primeiro contato e pela fácil extração de seus componentes lignocelulósicos. Por permitir diversas possíveis aplicações, além da alta disponibilidade na região amazônica, também se mostrou como uma fonte viável de matéria prima para ser estudada para o desenvolvimento de ecotecnologias inovadoras e explorada comercialmente como nova fonte de renda para produtores locais que, antes, só viam potencial na madeira e agora podem possuir uma nova perspectiva.

6 REFERÊNCIAS

1. Guimarães, B.M.G. Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae. *USP*. 2014.
2. Siqueira, G.; Bras J.; Dufresne, A. Cellulosic Bionanocomposites: A Review of Preparation, Properties and Applications. *Polymers (Basel)*. 2010.
3. Altieri, M. Agorecologia- A Dinâmica Produtiva Da Agricultura Sustentável. 1998.
4. Lima, S.X. Adaptação do método de mercerização para extrair a celulose da casca da banana-prata (*M. spp*) e avaliação da influência da água na sua estrutura molecular. *UFAM*. 2018.
5. Alves, R.E. Caracterização de fibras lignocelulósicas pré-tratadas por meio de técnicas espectroscópicas e microscópicas ópticas de alta resolução. *USP*. 2011.
6. Passos, P.R. de A. Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas. *UFRJ*. 2005.
7. Leão, N.; Freitas, A.D.D. de. Pau-de-balsa. *Rede Sementes da Amaz.* 2008.
8. Pires, J.S.C. FIBRAS NATURAIS : Características químicas e potenciais aplicações. *UNESP*. 2009.
9. Moraes, J.P.S.; Rosa, M. de F.; Marconcini, J.M. Procedimentos para Análise Lignocelulósica. *Embrapa Algodão*. 2010.
10. Shi, Z.; Xiao, L.; Xu, F.; Sun, R. Physicochemical Characterization of Lignin Fractions Sequentially Isolated from Bamboo (*Dendrocalamus brandisii*) with Hot Water and Alkaline Ethanol Solution. *J Appl Polym Sci*. 2012.
11. Kulkarni, P.; Dixit, M. Sources of cellulose and their applications- A review. *Int J Drug Formul Res*. 2015.
12. Fiorini, E. de J. Fourier Transform Infrared Spectroscopy FTIR. *UNICAMP*. 2000.
13. Denari, G.B.; Cavalheiro, É.T.G. Princípios e Aplicações de Análise Térmica.

USP. 2012.

14. Dedavid, B.A.; Gomes, C.I.; Machado, G. Microscopia Eletrônica de Varredura- Aplicações e preparação de amostras. *PUC RS*. 2007.
15. Fahma, F; Iwamoto, S.; Hori, N.; Iwata, T.; Takemura, A. Isolation , preparation , and characterization of nanofibers from oil palm empty-fruit-bunch (OPEFB). *Springer*. 2010.
16. Jonoobi, M.; Khazaeian, A. Characteristics of cellulose nanofibers isolated from rubberwood and empty fruit bunches of oil palm using chemo-mechanical process. *Springer*. 2011.
17. Khalil, H.P.S.A.; Ismail, H.; Rozman, H.D.; Ahmad, M.N. The effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrices. *Eur Polym J*. 2001.
18. Haafiz, M. K.M.; Hassan, A.; Zakaria, Z.; Inuwa, I.M. Isolation and characterization of cellulose nanowhiskers from oil palm biomass microcrystalline cellulose. *Carbohydr Polym*. 2014.
19. Maiti, S.; Jayaramudu, J.; Das, K.; et al. Preparation and characterization of nano-cellulose with new shape from different precursor. *Carbohydr Polym*. 2013.
20. Mandal, A.; Chakrabarty, D. Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. *Carbohydr Polym*. 2011.
21. Jin, A.X.; Ren, J.L.; Peng, F.; et al. Comparative characterization of degraded and non-degradative hemicelluloses from barley straw and maize stems : Composition, structure, and thermal properties. *Carbohydr Polym*. 2009.
22. Ludueña, L.N.; Vecchio, A.; Stefani, P.M.; Alvarez, V.A. Extraction of Cellulose Nanowhiskers from Natural Fibers and Agricultural Byproducts. *Fibers Polym*. 2013.
23. Oliveira, J.C.; Castro, E.G.; Miranda, C.S.; Gonçalves, A.P.B.; José, N.M. Avaliação térmica e espectroscópica da celulose, hemicelulose e lignina extraídas da fibra de licuri (*Syagrus coronata*). 21^o CBECIMAT. 2014.

24. Márcio, M.; Cabral, S. Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. *Engevista*. 2017.
25. Kavkler, K.; Gunde-Cimerman, N.; Zalar, P.; Demšar, A. FTIR spectroscopy of biodegraded historical textiles. *Polym Degrad Stab*. 2011.
26. Tang, L.; Huang, B.; Lu, Q.; et al. Ultrasonication-assisted manufacture of cellulose nanocrystals esterified with acetic acid. *Bioresour Technol*. 2013.
27. Chaikumpollert, O.; Methacanon, P.; Suchiva, K. Structural elucidation of hemicelluloses from Vetiver grass. *Carbohydr Polym*. 2004.
28. Xu, F.; Sun, J.X.; Geng, Z.C.; et al. Comparative study of water-soluble and alkali-soluble hemicelluloses from perennial ryegrass leaves (*Lolium perene*). *Carbohydr Polym*. 2007.
29. Yang, H.; Yan, R.; Chen, H.; Lee, D.H.; Zheng, C. Characteristics of hemicellulose , cellulose and lignin pyrolysis. *ScienceDirect*. 2007.
30. Peng, Y.; Wu, S. The structural and thermal characteristics of wheat straw hemicellulose. *J Anal Appl Pyrolysis*. 2010.