

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS



ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE RESÍDUO DE
MADEIRA, BURITI E ANDIROBA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
POLIMÉRICOS DE MÉDIA DENSIDADE

Gabrielle Machado dos Santos

Manaus

2021

Gabrielle Machado dos Santos

ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE RESÍDUO DE
MADEIRA, BURITI E ANDIROBA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
POLIMÉRICOS DE MÉDIA DENSIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como requisito necessário para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Prof. Dra. Virginia Mansanares Giacon
Orientadora

Prof. Dr. Juliano Fiorelli
Co-orientador

Manaus

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237a Santos, Gabrielle Machado dos
Análise da concentração de resíduo de madeira, buriti e andiroba na produção de painéis poliméricos de média densidade. / Gabrielle Machado dos Santos . 2021
89 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Virginia Mansanares Giacon
Orientador: Juliano Fiorelli
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Resíduos Agroindustriais. 2. Buriti. 3. Andiroba. 4. Painéis de Média Densidade. 5. Inflamabilidade. I. Giacon, Virginia Mansanares. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Gabrielle Machado dos Santos

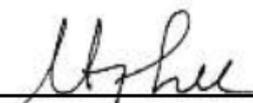
ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE RESÍDUO DE
MADEIRA, BURITI E ANDIROBA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
POLIMÉRICOS DE MÉDIA DENSIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como requisito necessário para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

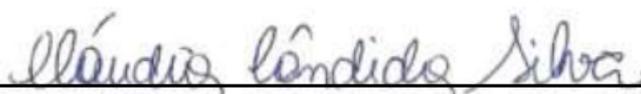
Aprovado em 23 de fevereiro de 2021



Profa. Dra. Virgínia Mansanares Giacon (Orientadora e Presidente)
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM)



Prof. Dr. Edgar Aparecido Sanches
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM)



Profa. Dra. Cláudia Cândida Silva
Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
CPF: 004129216-26

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde, todas graças e oportunidades.

À minha mãe, Maria e irmãs: Luana e Lanuzia por todo apoio, carinho, compreensão e incentivo;

Ao meu pai, Raimundo Almir Moitinho dos Santos (*in memoriam* 18/05/2019), pelo seu exemplo profissional e humano, além de todo apoio, carinho, exemplo, incentivo e conhecimento, se eu cheguei até aqui foi porque eu sempre estive apoiada nos ombros da minha família e sempre irei levá-lo comigo. Tenho lembranças de ele me dizer que admirava muito quem era cientista, sinto saudades de tudo, mas sei que em breve iremos nos encontrar, espero sempre dar o meu melhor, assim como o senhor!

À minha orientadora a quem admiro muito, pelo exemplo profissional, humano e solidário, agradeço pelos ensinamentos, apoio, incentivo e oportunidades desde 2015; agradeço principalmente por toda a paciência e empatia em tempos conturbados que eu atravessei durante o período do curso de mestrado, todo apoio foi fundamental para que eu me mantivesse motivada.

Ao Alexandre pela paciência por me acompanhar nos experimentos no período noturno, aos finais de semana e no regime de isolamento social devido a COVID-19.

Aos amigos que trago desde a graduação: Keuriane, Gabriel, Luiz, Cláudia e Viviane, pelo apoio academicamente e pessoalmente, afeto, carinho e cumplicidade.

Aos amigos que fiz durante o mestrado, em especial a Jaíne pelo compartilhamento de vários desafios e aventuras;

As alunas de Iniciação científica: Hannah e Bianca, por todo apoio, auxílio e paciência nesta pesquisa;

Aos colegas de laboratório por todo apoio e incentivo, principalmente ao Rosinaldo;

Aos técnicos de laboratórios, Diogo e Deuzione;

À todos que me auxiliaram direta ou indiretamente nesta pesquisa;

À marcenaria da UFAM, LaMAC, INPA, LABMAT, laboratório de biodegradação, à Associação dos Trabalhadores Agro-extrativistas de Eirunepé,

à Mil Madeireira Preciosas Ltda, à Plural Indústria e Comercio de Produtos Químicos Ltda;

À UFAM, CNPq, CAPES (número de processo: 88882.452653/2019-01), FAPEAM e PPGCEM pelo apoio e incentivo à pesquisa científica.

“Olhai para os lírios do campo, como crescem; não trabalham nem fiam...Não vos inquieteis, pois, pelo dia de amanhã; porque o dia de amanhã cuidará de si mesmo. Basta a cada dia o seu mal”

(Mateus 6: 28,34)

RESUMO

Os resíduos agroindustriais são gerados em grandes quantidades e apresentam potencial para serem reaproveitados no desenvolvimento de novos materiais. Na literatura, é reportada a utilização de diversos resíduos agroindustriais lignocelulósicos, contudo, os resíduos provenientes de processos de extração de óleo são pouco relatados. O presente trabalho buscou avaliar e caracterizar a adição de resíduo oriundo do processo de extração do óleo de buriti e andiroba, em painéis de média densidade produzidos a partir de resíduo madeireiro e matriz poliuretana, derivada do óleo da mamona. O resíduo de buriti e andiroba *in natura* apresentaram, respectivamente, 5,16 % e 5,87 % de teor de umidade. Os painéis sanduíches utilizando resíduo de buriti e monocamada produzidos com resíduo de andiroba apresentaram teor de inchamento, respectivamente, em torno de 5 % e 10 %, ambos em conformidade com o padrão normativo para painéis de média densidade (ABNT NBR 14810). Contudo, os valores referentes ao Módulo de resistência à flexão estática e Módulo de elasticidade, não atenderam os parâmetros normativos. Através do ensaio de queima de plásticos na posição vertical os painéis produzidos com resíduo de andiroba foram classificados como V0. Apesar da adição de resíduo de buriti e andiroba ter resultado em um baixo teor de inchamento, estes proporcionaram uma redução das propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Resíduos Agroindustriais; Buriti; Andiroba; Painéis de Média Densidade; Inflamabilidade.

ABSTRACT

The agro-industrial residue is produced in a vast quantity and present potential to being reused in the development of new materials. There are reports of the utilization of Agro-industrial Lignocellulosic residues. However, there are few reports from processes of oil extraction. The present work aims at verifying the addition of residue obtained from the process of extraction of buriti and andiroba oil in medium-density panels, produced from Wood Residues and castor oil-based polyurethane matrix. The residue from buriti and andiroba *in nature* showed respectively 5,16% and 5,87% of moisture content. The sandwich panels utilizing buriti residue and monolayer produced with andiroba residue presented swelling content respectively around 5% and 10%, both conforming with the normative pattern for Medium-density panels (ABNT NBR 14810). However, they do not agree with the resistance module to static flexion and elasticity module. The panels produced with Andiroba residue are classified as V0, according to the norm ASTM 3801 for the burn of solid plastics in a vertical position. Although the addition of the residues of buriti and andiroba unleash in low swelling content, those provided a reduction in mechanical properties, indicating that it's necessary perform future works aiming to analyze the interaction of these types of residues with castor oil-based polyurethane matrix.

Keywords: Agro-industrial waste; Buriti; Andiroba; Medium Density particleboard; Flammability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Palmeiras de Buriti _____	5
Figura 2: Fruto de buriti _____	6
Figura 3: Árvore de Andiroba _____	10
Figura 4: Fruto e semente da andiroba _____	11
Figura 5: Histórico da produção, importação e exportação de painéis de madeira _____	23
Figura 6: Evolução do consumo Aparente de painéis de madeira _____	23
Figura 7: Resíduos utilizados: a) De buriti; b) De andiroba; c) De madeira ____	26
Figura 8: Alisador de umidade _____	26
Figura 9: Realização da distribuição granulométrica. a) Peneiramento; b) Peneiras _____	27
Figura 10: Ensaio químico. a) Processo de extração dos extrativos do resíduo de buriti; b) Extrativo após o ensaio _____	28
Figura 12: Metodologia de produção das placas; a) Mistura dos resíduos; b) Mistura manual dos resíduos com a resina. c) Deposição da mistura no molde; d) Conformação utilizando prensa hidráulica; e) Corpos de prova _____	31
Figura 13: Secagem dos corpos de prova em estufa _____	32
Figura 14: Ensaio de teor de inchamento; a) inicialmente; b) Após 24 h ____	33
Figura 15: Corpo de prova em ensaio de flexão _____	33
Figura 16: Esquema do ensaio de queima vertical _____	38
Figura 17: Distribuição granulométrica do resíduo de buriti _____	40
Figura 18: FTIR do resíduo de buriti _____	44
Figura 19: Tg/Dtg do resíduo de buriti e madeira _____	46
Figura 20: MEV do resíduo de buriti. a) 500 um; b)200 um _____	48
Figura 21. Morfologia do painel híbrido obtido do MEV _____	53
Figura 22: Morfologia dos painéis, a) compósito 50/50; b) compósito 30/70 _	57
Figura 23. Amostras após teste de inflamabilidade _____	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise dos parâmetros de produção de painéis sanduiches. _____	18
Tabela 2: Parâmetros de produção de painéis de resíduo de buriti. _____	30
Tabela 3: Nomenclatura dos painéis multicamadas _____	30
Tabela 4: Parâmetros de produção dos painéis monocamadas de andiroba. _____	35
Tabela 5: Caracterização química. _____	41
Tabela 6: FRX das cinzas do resíduo de buriti. _____	43
Tabela 7: Descrição resumida da presença do componentes e ligações observados de acordo com o N° de ondas presente no FTIR. _____	45
Tabela 8: Descrição dos eventos de decomposição térmica. _____	46
Tabela 9: Propriedades físicas dos painéis desenvolvidos com resíduo de buriti. _____	49
Tabela 10: Propriedades mecânicas dos painéis desenvolvidos com resíduo de buriti. _____	51
Tabela 11: Propriedades física dos painéis desenvolvidos com resíduo de andiroba. _____	55
Tabela 12: Propriedades mecânicas dos painéis desenvolvidos com resíduo de andiroba. _____	56
Tabela 13. Inflamabilidade dos painéis desenvolvidos com resíduo de andiroba. _____	58

LISTA DE ABREVIações

- ABNT: Associação brasileira de normas técnicas
- ATAE: Associação dos trabalhadores Agro-extrativistas de Eirunepé;
- CE: Camada externa;
- CI: Camada interna;
- CIF: Crystallographic Information File;*
- COD: Crystallography Open Database;*
- DSC: Calorimetria Diferencial de Varredura;
- DRX: Difração de Raios-x;
- FTIR: Espectroscopia no Infravermelho
- FRX: Fluorescência de Raios-x;
- IBGE: Instituto brasileiro de Geografia e Estatística;
- Ibá: Industria Brasileira de Árvores
- ICSD: Inorganic Crystal Structure Database;*
- INPA: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia;
- LaMac: Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos;
- MDP: Medium Density Particleboard;*
- MDF: Medium Density Fiberboard;*
- MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura;
- MOR: Módulo de resistência à flexão estática;
- MOE: Módulo de elasticidade;
- NBR: Norma brasileira;
- TG: Termogravimetria;
- UFAM: Universidade Federal do Amazonas.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Objetivos específicos	3
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1. Contextualização	4
2.2. Buriti: considerações gerais	5
2.3 Pesquisas envolvendo buriti	7
2.4. Andiroba: considerações gerais	10
2.5 Pesquisas envolvendo andiroba	13
2.6. Resíduo madeireiro	15
2.7 Painéis de média densidade	16
2.8 Pannel sanduiche	17
2.9 Tipos de resinas utilizadas em painéis	19
2.10 Aspectos do material de reforço lignocelulósico que influenciam nas propriedades de adesão de compósitos	21
2.11 Panorama do MDP no Brasil	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. Materiais	25
3.2. Métodos	26
3.2.1 Avaliação da concentração de resíduo de buriti	26
3.2.2 Avaliação da concentração de resíduo de andiroba	34
4. Resultados e discussões	39
4.1. Caracterização do resíduo de buriti	39
4.1.1. Caracterização física	39
4.1.2. Caracterização química	40

4.1.3. Caracterização térmica _____	46
4.2. Painéis produzidos com resíduo de buriti _____	49
4.2.1 Caracterização física _____	49
4.2.2 Caracterização mecânica _____	51
4.2.3 Caracterização morfológica _____	52
4.3. Caracterização do resíduo de andiroba _____	53
4.3.1. Caracterização física _____	53
4.4. Painéis produzidos com resíduo de andiroba _____	54
4.4.1 Caracterização física _____	54
4.4.2 Caracterização mecânica _____	55
4.4.3 Caracterização morfológica _____	57
4.3.4 Inflamabilidade _____	57
5. Conclusão _____	60
Sugestões para trabalhos futuros _____	61
Referências _____	62

1. Introdução

Na região Amazônica, há uma grande quantidade de resíduos madeireiros e não-madeireiros, os quais são alternativas econômicas e sustentáveis para produção de painéis de média densidade (MDP) ^{1,2}.

Em relação aos resíduos madeireiros, considera-se que o volume total de resíduo por tora, seja, aproximadamente, entre 40 % a 60 % ³. Essa grande quantidade de material residual tem-se mostrado promissor no que diz respeito à aplicação em compósitos poliméricos ⁴.

Por outro lado, dentre os resíduos não-madeireiros, provenientes do setor agroindustrial, pode-se citar os resíduos gerados na extração do óleo de buriti e de andiroba. De acordo com a literatura, ^{5,67} e IBGE ⁸, são geradas 8.500 ton/ano de resíduo de buriti, bem como, aproximadamente 614,6 ton/ano de resíduo de andiroba, ambos gerados via extração mecânica.

Inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas tendo como tema o Buriti e indicando seu potencial em diversas aplicações: Barbosa avaliou as características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com as fibras de buriti ⁹.

Há pesquisas envolvendo fibras em aplicações balísticas de compósitos com matriz epóxi ¹⁰.

A respeito do pecíolo do buriti, sua aplicabilidade está relacionada com adsorvente de metais e corantes ¹¹.

Em pesquisas na área alimentícia, o óleo de buriti foi nanoemulsionado para ser incorporado em bebidas isotônicas visando a substituição de corante artificial ¹².

Em relação as pesquisas envolvendo andiroba, na literatura somente são reportadas aquelas relacionadas com o óleo, tal como testes *in vitro* utilizando Nanoemulsões contendo óleo de andiroba que demonstraram-se eficaz no combate de trypanosoma evansi ¹³, o óleo também possui ação inseticida e repelente em dois tipos de moscas: *Haematobia irritans* (L.) e *Musca domestica* L. ¹⁴.

Filmes a base de quitosana e óleo de andiroba foram desenvolvidos como curativos para tratar queimaduras ¹⁵, também foi reportado diminuição da

taxa de polimerização de mini-emulsão de metacrilato de metila com incorporação de óleos vegetais de linhaça e andiroba ¹⁶.

Observa-se, portanto, que há estudos sobre a aplicação da fibra, pecíolo, torta e óleo de buriti, bem como aplicações do óleo de andiroba. No entanto, estudos sobre o aproveitamento dos resíduos provenientes da extração (torta) dos óleos para fabricação de painéis de média densidade, não são reportados.

Uma vez que estes são gerados em quantidades consideráveis, faz-se necessário a verificação de alternativas para aplicações visando agregar valor a esses resíduos.

Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo principal analisar individualmente a influência da concentração de resíduo de madeira associado a utilização de dois tipos de resíduos oriundos do processo de extração de óleo (buriti e andiroba), na produção de painéis de média densidade.

Produziu-se três tipos de painéis sanduiches, variando a concentração de resíduo de madeira e buriti: Homogêneo de buriti, homogêneo de madeira e híbrido madeira e buriti.

Produziu-se dois tipos de painéis monocamadas variando a concentração de resíduo madeireiro e andiroba: 50/50 % e 30/70 % de resíduo de andiroba/madeira.

Ambos processados por moldagem a quente, conforme norma ABNT NBR 14810 ^{1,17} e utilizando resina poliuretana derivada do óleo da mamona como matriz.

As propriedades mecânicas foram avaliadas, através da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade, com o objetivo de verificar se a concentração de resíduo oriundo do processo de extração do óleo pode desencadear em redução das propriedades mecânicas.

Avaliou as propriedades físicas de teor de inchamento, densidade e umidade de acordo com a norma ABNT NBR 14810, para painéis de média densidade.

Através da morfologia analisou a adesão entre reforço e matriz.

1.1. Objetivos

Avaliar as propriedades físico-mecânicas de painéis de média densidade (MDP) produzidos com resíduo madeireiro, buriti e andiroba, utilizando como matriz resina poliuretana derivada do óleo da mamona.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar o resíduo de buriti química, térmica e fisicamente.
- Produzir painéis com três camadas variando a proporção de resíduo de buriti e madeira: Homogêneo de buriti, homogêneo de madeira e híbrido de buriti e madeira;
- Produzir painéis monocamadas variando a proporção de resíduo de andiroba e madeira respectivamente: 50/50 % e 70/30 %.
- Avaliar e Caracterizar os painéis fisicamente, através da determinação do teor de umidade, inchamento por 24 horas e densidade, através da norma ABNT NBR 14810/2018.
- Avaliar e Caracterizar os painéis mecanicamente, através da determinação da flexão estática e módulo de elasticidade através da norma ABNT NBR 14810/2018.
- Avaliar a inflamabilidade dos painéis monocamadas através da norma ASTM D3801-20a.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Contextualização

Os materiais estão presentes na sociedade desde os primórdios dos tempos, sendo fundamental para classificar e desenvolver as civilizações, desde então os humanos vêm aprimorando e utilizando a seu favor ¹⁸.

Logo, houve determinado momento no qual usar somente um material para obtenção das propriedades desejadas não era o suficiente, e com isso, iniciou-se o processo de combinação dos materiais, surgindo assim os chamados materiais compósitos ¹⁸. Sendo, então, estes definidos como a junção de dois ou mais materiais com propriedades superiores aos materiais isoladamente, constituídos pela fase matriz que envolve o reforço ¹⁸.

Por outro lado, o aumento da demanda da população por novos materiais tem elevado o uso de fontes não-renováveis, para produção de diversos produtos, que atendem as necessidades de diversos setores, desde a indústria de roupas e embalagens, até itens da construção civil ¹⁹.

Esse aumento da extração, beneficiamento e produção de materiais de origem sintética, bem como seu descarte sem destinação própria, tem aumentado a quantidade de resíduos acumulados no meio ambiente, ocasionando diversos problemas ambientais ¹⁹.

Diante dessa problemática, a sociedade, empresas e pesquisadores, têm buscado alternativas visando a sustentabilidade no uso desses materiais.

John Elkington, fundador de uma consultoria britânica em 1994, chamada *SustainAbility*, argumentou sobre o posicionamento das empresas a respeito da sustentabilidade, a partir de um tripé: lucros, pessoas e planeta ²⁰.

Foi então sugerido que, quando um destes é desfavorecido, os outros são sobrecarregados, sendo geralmente o planeta quem sofre mais impactos negativos. A exemplo disso, podemos citar os danos ambientais causados pelo uso excessivo de materiais de baixo custo e descartáveis, como copos e canudos, sem a preocupação a respeito da sua reciclagem ou degradação ²¹.

Assim, passou-se a propor o investimento em pesquisas visando o desenvolvimento de materiais mais ecologicamente corretos, objetivando utilizar matéria-prima de fontes renováveis e de baixo valor aquisitivo. Dentre essas matérias-primas podemos citar as provenientes de resíduos, que muitas vezes

são descartados em grandes quantidades, mas apresentam potencial para serem utilizados, tais como as de origem lignocelulósica: madeira, arroz, cana de açúcar, fibra de piaçava, dentre outros ²².

Estes resíduos são provenientes de fontes renováveis, podendo ser utilizados para o desenvolvimento de materiais com características semelhantes aos já disponíveis no mercado, atentando para o caráter sustentável e agregando valor a esses rejeitos ²³.

Na Região Amazônica, observa-se uma variedade de resíduos lignocelulósicos, os quais podem agregar potencial ao serem utilizados na produção de materiais; dentre estes, pode-se citar os resíduos da extração da andiroba, buriti e madeira.

2.2. Buriti: considerações gerais

Conhecida popularmente como palmeira do buriti ou buritizeiro (Figura 1), é uma palmeira da família *Arecaceae* do gênero *Mauritia*, de maior incidência em países como Brasil, Venezuela, Peru, dentre outros ⁵.



Figura 1: Palmeiras de Buriti.

As espécies *Mauritia vinifera* e *Mauritia Flexuosa* ²⁴, são facilmente encontradas nos cerrados e em planícies com alagações na Amazônia brasileira, denominadas de várzea ²⁵.

A palmeira é composta por folhas que possuem estrutura de limbo foliar, pecíolo e bainha ^{5,26}.

O buritizeiro possui grande importância não somente para o ecossistema, mas para a sociedade, através do beneficiamento do seu óleo, frutos, fibras, entre outras matérias-primas, promovendo importância em aspectos sociais e econômicos, atendendo à indústria alimentícia, agroindustrial, farmacológica, de cosméticos, entre outras ^{5,26}.

A polpa, geralmente é utilizada na culinária, com a palha, talo, fibra e sementes são produzidos artesanatos, adereços, coberturas de telhados, móveis, seda para costura. Outras partes do fruto e da palmeira possuem aproveitamento para uso em ração para animais, adubo, hidratante para a pele, biodiesel e outras diversas utilidades ⁵.

Segundo o senso de produção da extração vegetal e da silvicultura, em 2018 foram coletadas 497 toneladas de buriti ²⁷.

O buritizeiro produz por safra de 450 a 2000 frutos, possuindo formato oval, casca com aspecto escamoso e textura oleosa de coloração avermelhada, conforme ilustrado na figura 2 ^{5,26}.

A polpa possui aspecto fino com a tonalidade laranja (Figura 2), enquanto o seu endocarpo tem característica esponjosa, devido a sua baixa densidade e alto teor de celulose, o que permite que o fruto flutue na água. Já a semente é dura e representa a maior porção do fruto ⁵.



Figura 2: Fruto de buriti. Fonte: FBSSAN ²⁸.

O óleo é obtido geralmente por prensagem à frio do fruto ou pelo método tradicional, no qual o fruto é levado à fervura e o óleo em sua superfície é recolhido ^{5,29}.

Na extração do óleo por prensagem mecânica, são produzidos em torno de 8.500 toneladas de resíduo agroindustrial por ano no Brasil. Este é denominado torta, que é composto pela casca, endocarpo, mesocarpo e semente. Contudo ainda possui uma certa porcentagem de óleo, geralmente este resíduo é utilizado no setor alimentício para animais ^{5,6}.

2.3 Pesquisas envolvendo buriti

Na literatura, o uso do buriti vem sendo reportado ao longo dos anos, objetivando diferentes fins, bem como buscando caracterizar e fazer uso de seus inúmeros componentes, tais como o fruto, folha, óleo, fibra, pecíolo, etc.

No fruto e folhas há presença de antioxidante, relacionado aos seus compostos fenólicos. O fruto apresenta atividade antimicrobiana moderada, devido à ausência de ácido graxos e fenólicos derivado de ácido xiquímico ³⁰.

Através do óleo extrai-se polifenol oxidase, que apresenta estabilidade térmica em altas temperaturas, além de potencialidade de ser utilizado na construção de biossensor e outros métodos analíticos em ramos da ciência ³¹.

Milanez e colaboradores descreveram que o endocarpo do fruto é formado por material esponjoso, que apresenta amido e óleo, o pH do fruto amadurecido é de 4,78 a 5,74, apresenta acidez total de 0,06 g 100 g⁻¹, resultado que favorece a atividade antimicrobiana, o teor total de pectina variou de 184,1 a 101,6 %, em relação aos compostos fenólicos o resultado foi de 20,65 mg GAE 100 g⁻¹, para os carotenoides observou-se a concentração de 49,15 mg 100 ml⁻¹, notou-se também produção de etileno e CO₂ ao armazenar o fruto ³².

Demosthenes e colaboradores caracterizaram térmica e estruturalmente a fibra de buriti e produziram compósitos com 30 % em volume com essas fibras na matriz de epóxi. Através das análises de termogravimetria (TG) e calorimetria exploratória diferencia (DSC) o buriti tem limite de degradação de 200 °C, observou um índice de cristalinidade de 63 % através da caracterização de DRX ³³.

A fibra de buriti foi caracterizada química, estrutural e termicamente por Ornaghi Júnior e colaboradores, apresentando altos teores de lignina e extrativos. Através de DRX observou-se índice de cristalinidade entre 44,6 % e 51,9 % exibindo principalmente estrutura de celulose tipo I, além de

morfologicamente apresentar estrutura porosa, alto teor de umidade e degradação ³⁴.

Em 2003, De Jesus e colaboradores investigaram o uso da fibra do buritizeiro para produção de papel, apresentando 69,41 % de celulose e 16,10 % de pentosanas ³⁵.

Albuquerque analisou o óleo através de espectroscopia no infravermelho e concluiu que é composto basicamente de ácidos graxos, tocoferóis e carotenoides ³⁶.

Em 2007, o óleo de buriti foi utilizado como plastificante em blendas poliméricas de amido de mandioca e poliestireno ³⁷.

Em 2008, Monteiro e colaboradores estudaram a incorporação de 30 % de resíduo da fibra do pecíolo do buriti como reforço em matriz de poliéster ³⁸ e analisaram as propriedades mecânicas de impacto izod ³⁹ e de tração ⁴⁰. Em 2013 prosseguiram investigando as propriedades mecânicas de tração dessa mesma porcentagem de fibra em matriz epóxi ⁴¹, além de caracterizá-lo termicamente ⁴², concluindo que a fibra do pecíolo do buriti apresenta potencialidade como reforço em matriz polimérica.

E 2016, Gomes avaliou que resíduo da torta de buriti é composto por 46,49 % de carboidratos livres. O teor de lipídios foi cerca de 4,35 %, 4,40 % de proteína, 38,40 % de celulose e 2,56 % de lignina, concluiu-se que a torta de buriti apresenta potencial para obtenção de etanol de segunda geração ⁴³.

Em 2017, Vale de Sousa e colaboradores verificaram o uso de pecíolo de buriti como elemento de carga em biocompósito a base de poli (ácido lactio), e obtiveram baixa densidade, devida a porosidade do pecíolo, entretanto, apresentou baixos valores de propriedade mecânica, indicando baixa aderência entre reforço e matriz ⁴⁴.

Também em 2017, Brambilla e colaboradores verificaram que o uso de triacetina como elemento acoplador na matriz de PLA e pecíolo de buriti melhorou a adesão entre reforço e matriz, o que resultou em propriedades mecânicas similares ao PLA (Poli ácido láctio) puro, além de aumento da cristalinidade e melhora do desempenho mecânico ⁴⁵.

Em 2018, Milanez e colaboradores avaliaram compostos bioativos e atividade antioxidante de frutos de buriti, em diferentes estágios de maturação. Nesses estágios, apresentou alta atividade antioxidante e presença de

compostos fenólicos e carotenoides. Os frutos analisados apresentaram comportamento climatérico, apresentando um aumento na taxa de respiração e produção de etileno ³².

Em 2019, Pantoja e colaboradores produziram biodiesel de alta qualidade a partir do óleo de buriti, os resultados apresentaram de acordo com os padrões normativos brasileiro ²⁶.

Devido as promissoras propriedades da fibra de buriti, Da Cruz, Demosthenes e colaboradores avaliaram compósitos com 10 % de fibra de buriti e sua aplicação em sistema de blindagem, o compósito produzido apresentou propriedade surpreendente e foi comparado ao tecido aramida. Além disso, os resultados apresentaram-se em conformidade com a norma de impacto NIJ 0101.04 ¹⁰.

Espinosa e colaboradores avaliaram compósitos a base de epóxi reforçados com fibras extraídas das folhas do buritizeiro. Os resultados demonstraram características hidrofílicas devido a morfologia da fibra, assim desencadeando baixas propriedades mecânicas, salientando necessidade de melhoria da adesão entre reforço e matriz ⁴⁶.

Leão e colaboradores analisaram as propriedades antimicrobianas e físico-químicas do óleo de buriti e estruturas lipídicas nanoestruturas, demonstrando boa estabilidade oxidativa, bem como alta capacidade antioxidante e menor susceptibilidade à agregação de gotículas, o que reforça seu potencial em formulações antimicrobianas ⁴⁷.

Em 2020, De Souza e colaboradores compararam a qualidade dos tecidos que compõem o pecíolo de buriti para combustão e carbonização, analisando as propriedades químicas de extrativos totais, lignina e cinzas, além de análises termogravimétricas. Estes apresentaram vantagens para fins bioenergéticos, como baixo teor de cinzas, devido à baixa densidade básica, e qualificando o núcleo para uso na produção de bio-óleo e produção de filtros naturais e carvão ativado ⁴⁸.

Observa-se que há estudos sobre a aplicação da fibra, pecíolo e óleo, porém somente Gomes ⁴³ reportou caracterizações referente a torta de buriti, reforçando a necessidade de caracterização e verificação da viabilidade de uso dessa matéria-prima para produção de novos materiais.

2.4. Andiroba: considerações gerais

Andiroba (Figura 3) deriva da língua indígena Nheengatu, que significa sabor amargo, característico do sabor da casca da árvore e do óleo extraído da semente. É conhecida popularmente na região norte do Brasil, pois é comumente utilizada há gerações, possuindo valorização social, econômica e cultural ⁴⁹.

É da família Meliaceae, sendo descrita pela primeira vez pelo botânico Jean Baptiste Christopher Fuscé Aublet em 1775. Esta árvore está presente em toda região Amazônica até a Bahia, e também presente no Sul da América Central ^{49,50}.



Figura 3: Árvore de Andiroba. Fonte: Portal Amazônia ⁵¹.

Na bacia Amazônica, a espécie *Carapa guianensis* Aubl. é predominante, porém a espécie *Carapa procera* D.C. incide em áreas mais restritas e também na África ⁵².

Comumente presente em *habitat* de várzea, chega a atingir até 55 m de altura e apresenta madeira de coloração mais clara e menor densidade que aquelas plantadas em terra firme ^{53,54}.

A andirobeira é considerada de uso múltiplo, uma vez que se faz o uso comercialmente de seus frutos e madeira. A qualidade da madeira, como já

citado, depende das condições do *habitat*: a de coloração vermelha apresenta ótima qualidade, o que faz compará-la com o mogno, de característica dura, porém fácil de fender, além de resistência a ataque de insetos ⁵⁰.

A madeira é valorizada e pode ser utilizada na construção civil, móveis, laminados e construções de barcos dentre outros ⁵³.

A árvore possui casca em seu tronco que pode ser retirada facilmente. As folhas podem atingir até 110 cm de comprimento, possui inflorescência, flores e frutos. O fruto assemelha-se ao ouriço da castanha, característica de cápsula globosa a subglobosa, que se separam quando caem no solo e liberam de quatro a doze sementes, que parecem amêndoas, como ilustrado na figura 4 ^{50,55}.

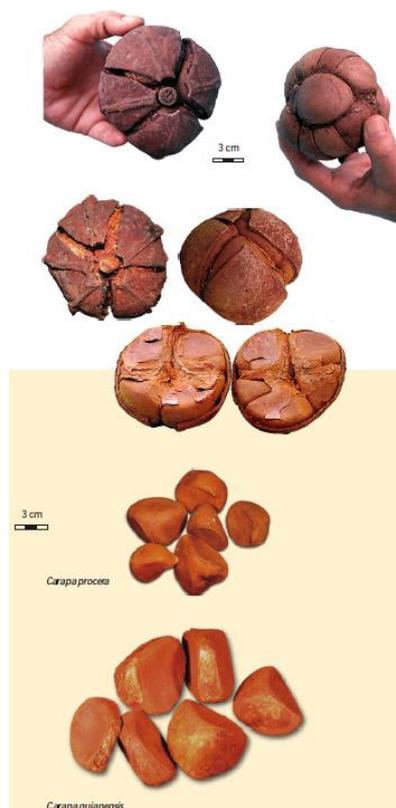


Figura 4: Fruto e semente da andiroba. Fonte: Ferraz et al. ⁷

A andirobeira floresce nos meses de setembro a novembro, e os frutos são colhidos de janeiro a junho, sendo que uma árvore pode produzir de 180 a 200 kg de fruto ⁵⁶.

Contudo, na região de Manaus, há a predominância das duas espécies que possuem fenologia muito variável: *Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D. C. Meliaceae, apresentando frutificação e floração em períodos

similares, podendo ocorrer a frutificação ao longo de todo o ano, com menor intensidade nos meses de outubro a novembro ⁷.

Segundo o IBGE no Brasil, em 2006 foram colhidas 878 toneladas de semente de andiroba ⁸.

O armazenamento das sementes geralmente é feito em local refrigerado, utilizando sacos plásticos finos, sendo recomendado fazê-lo em curto prazo, uma vez que as sementes não toleram dessecação, pois são sementes com características recalcitrantes, com período médio de conservação de até 7 meses ⁷.

Visando a sustentabilidade e redução dos transtornos ambientais, a produção do óleo tem despertado interesse, pois não é destrutiva em comparação com a comercialização da madeira, uma vez que os frutos são colhidos durante o ano e podem gerar retorno monetário anual aos produtores ⁵³.

As sementes de andiroba são recolhidas quando caem ao solo, e possuem 70 % de óleo, cuja extração ocorre de duas maneiras ^{50,57}.

A primeira de cunho artesanal, comumente utilizada por indígenas e habitantes da região Amazônica, consiste em cozinhar as sementes e descansá-las por alguns dias em ambiente com sombra, quando o óleo começa a escoar, as sementes são transferidas para um recipiente (pilão) e então são amassadas. Em seguida, essa massa é colocada no sol ou em alguns casos na sombra, para que o óleo seja liberado. Após a retirada do óleo, a massa é queimada para espantar insetos ^{50,57}.

A segunda, utilizada industrialmente, consiste na moagem da semente, seguida de armazenamento em estufa com temperatura de 60 °C a 70 °C, até atingir a umidade ideal (8 %), e finalmente são prensadas a 90 °C, possuindo rendimento de até 30 % do peso da semente ⁷.

Na comunidade de Silves, interior do Amazonas, no ano de 2011 predominou a extração de óleo de forma artesanal, para cada 3 kg de massa ontem -se 1 litro de óleo ⁵⁶.

O uso do óleo foi difundido na sociedade Amazônica desde 1854, em substituição ao querosene na iluminação, a origem da industrialização deu-se em Cametá-PA, que em 1908 importou 62 mil litros do Pará ⁴⁹.

O óleo é principalmente utilizado na região Amazônica, incluindo seu uso no ramo medicinal, homeopático, farmacológico, repelente, sabonetes, produtos de beleza dentre diversas outras finalidades ⁵⁰.

2.5 Pesquisas envolvendo andiroba

Em 1909, Lewkowitsch J. reportou a avaliação do óleo de uma nova espécie, que até então eles tinham dificuldade de identificar, sendo identificada como andiroba (*carapa procera* D.C.), ao qual extraíram em éster 57,26 % de óleo ⁵⁸.

A partir de então, foram sendo caracterizados quimicamente os componentes do óleo de andiroba, que até então eram desconhecidos ⁵⁹.

No ano 2000, foi estudado a dinâmica de crescimento da árvore, avaliou-se que a madeira possui ótima qualidade, coloração diferenciada devido aos flavonoides e alta durabilidade o que garante valor econômico à espécie ⁶⁰.

Devido ao óleo de andiroba ser utilizado tradicionalmente na região Amazônica, seja em tratamentos de infecções na pele, repelente natural, reumatismo, dentre outras condições, em 2008, Silva e colaboradores avaliaram a toxicidade do óleo, constatando que não houve efeito tóxico em ratos, porém observando um aumento do peso absoluto do fígado, que pode indicar uma toxicidade hepática ⁶¹.

Em 2012, analisou-se a eficácia do uso do óleo na mortalidade de *Felicola subrostratus*, que é uma espécie de piolho que geralmente atacam felinos, o uso do óleo puro de andiroba (100 %) e diluído 50 % em água atingiu 100 % da mortalidade desses piolhos na primeira 1 h ⁶².

Vendramini e colaboradores concluíram que o óleo de andiroba tem potencial de reduzir e/ou prevenir a reprodução do carrapato fêmea (*Rhipicephalus sanguineus*), porém de forma menos letal que os acaricidas sintéticos. Todavia, salienta-se, nesse caso, sua vantagem em função de seu caráter natural e baixo impacto ambiental ⁶³.

Em 2015, Roma e colaboradores reportaram que o óleo apresentam funções neurotóxicas em carrapatos fêmeas, intensificando seu potencial uso como método de controle ⁶⁴.

Já Volpato e colaboradores identificaram que a reprodução da espécie de carrapato *Rhipicephalus microplus*, conhecido como carrapato-bovino, também é afetado, inibindo a oviposição e eclodibilidade do carrapato ⁶⁵.

Testes *in vitro* utilizando Nanoemulsões contendo óleo de andiroba demonstraram-se eficaz no combate de trypanosoma evansi, que é um protozoário que ataca cavalos, burros, bovinos dentre outros animais, causando a popular doença conhecida como “mal das cadeiras” ¹³.

Em 2014, verificou que a andiroba possui ação inseticida e repelente em dois tipos de moscas: *Haematobia irritans* (L.) e *Musca domestica* L., que geralmente acometem gados ¹⁴.

Devidos as propriedades repelentes e medicinal do óleo de andiroba, Senhorini e colaboradores encapsularam óleo de andiroba utilizando poli (3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato) (PHBV), as micropartículas poliméricas apresentaram formato esférico, superfície rugosa e porosa, foi possível encapsular o óleo ⁶⁶.

Em 2016, Cavalcante e colaboradores analisaram a viscosidade de polióis à base de óleo de andiroba e verificaram que o óleo possui índice de acidez de 7,20 mg KOH.g⁻¹, bem superior quando comparado a outros óleos, ocorrendo a hidrólise do óleo, que exigiu a sua neutralização; o óleo apresentou viscosidade baixa, sendo necessário vários ajustes para apresentar compatibilidade com os lubrificantes comerciais ⁶⁷.

Filmes a base de quitosana e óleo de andiroba foram desenvolvidos como curativos para tratar queimaduras, notando-se que as propriedades mecânicas de resistência a tração e módulo de Young diminuíram com a adição do óleo ¹⁵.

Também foi reportado diminuição da taxa de polimerização de miniemulsão de metacrilato de metila com incorporação de óleos vegetais de linhaça e andiroba, devido a menor quantidade de ligações duplas na molécula de triglicerídeo de andiroba, o que provocou uma diminuição na taxa de polimerização comparado ao de linhaça, devido a formação de uma reação de enxerto entre as cadeias poliméricas e as moléculas de triglicerídeos ¹⁶.

Foi desenvolvido uma nanoemulsão utilizando óleo de andiroba, e avaliou que este possui potencial como mecanismo de controle contra o mosquito *Aedes aegypti* obtendo resultados satisfatórios ⁶⁸.

Como visto, há várias aplicações envolvendo o óleo de andiroba, contudo não foram reportados estudos utilizando o resíduo da extração do óleo para produzir painéis de média densidade.

2.6. Resíduo madeireiro

A madeira é amplamente utilizada para diversas finalidades, seja em pequena escala, beneficiada por produtores rurais ou por comunidades na produção de moradias de madeira, e até como combustível sólido ^{69,70}.

Em escalas maiores, é consumida por diversos setores: moveleiros, da construção civil, produção de papel, celulose, piso laminado, painéis de madeira, dentre outros ^{71,72}.

No ano de 2018, segundo o censo da produção vegetal e da silvicultura, foram produzidas 11.616.286 e 146.463.834 ton de toras de madeira, respectivamente ²⁷.

Considera-se aproximadamente que o volume total de resíduo por tora seja entre 40 % a 60 %, ou seja, a cada 10 árvores cortadas, somente a metade será utilizada comercialmente ³.

Numazawa e colaboradores em 2017 no estado do Pará reportaram que, para cada tonelada produzida de madeira comercial, são geradas em torno de 2 toneladas de resíduos ⁷³.

Dentre os principais resíduos gerados, destacam-se a serragem, cavaco, maravalha, pedaços de toras, cascas e galhos, cujas dimensões são: Cavaco: obtidas do processamento da madeira, podendo apresentar casca com partículas de 5 a 50 mm de comprimento; Serragem: obtidas no corte das toras e das costaneiras, possuindo dimensões entre 0,5 a 2,5 mm; Maravalha: apresentam comprimento maior que 2,5 mm, podendo apresentar variação na largura, apresentando espessura delgada ⁷⁴.

Observa-se que o Brasil possui uma grande demanda de utilização da madeira, o que reflete em uma grande quantidade de resíduo, fazendo-se necessário verificar alternativas sustentáveis de reutilização.

Estes geralmente são reaproveitados para finalidades de queima, produção de cabos de vassoura ou compostagem ³.

No processo de uso do resíduo como material de queima, há geração de gases e cinzas, que poluem solos e água ⁷⁵.

Por outro lado, para o reaproveitamento desses resíduos madeireiros, faz-se necessário o controle de qualidade, incluindo a umidade, densidade, tamanho de partícula, material isento de poeira e resíduo inorgânico ⁷⁵.

No Brasil, há uma expansão do uso de briquetes a partir de resíduo madeireiro, devido à sua disponibilidade, tornando-se uma alternativa sustentável que visa substituir a lenha e madeira virgem, amplamente utilizado em estabelecimentos comerciais, indústrias e fábricas de tijolos ^{74,76}.

Outra alternativa de reaproveitamento do resíduo de madeira é na produção de painéis de partículas de média densidade (MDP) ou painéis de fibras de média densidade (MDF), para atender o setor moveleiro e civil, possuindo propriedades semelhantes de resistência mecânica, física e térmica, aos painéis de madeira comercial ^{4,77,78}.

2.7 Painéis de média densidade

Segundo a norma brasileira NBR 14810-2:2013, painéis de partículas de média densidade, são aqueles que possuem densidade entre 551 kg/m³ e 750 kg/m³, enquanto que o MDF (*Medium density fiber board*) são painéis de média densidade confeccionados com fibras. Ambos podem ser confeccionados com uma camada (monocamada) ou mais (sanduíche), produzidos com auxílio de temperatura e pressão e de material aglutinante (resina)⁷⁹.

Geralmente os MDP (*Medium density particleboard*) e MDF comerciais são produzidos a partir de madeira propriamente para essa destinação, porém, atualmente tem sido proposto o uso de outras matérias-primas lignocelulósicas.

Atualmente há várias pesquisas que envolvem o desenvolvimento de compósitos reforçados a partir de resíduo lignocelulósico agroindustrial, tais como fibra de curauá, juta, bagaço da cana de açúcar, coco, piaçava. Estes compósitos tem apresentado propriedades competitivas com os painéis comerciais, além de serem fontes alternativas em relação à madeira virgem ^{1,2,80}.

Dentre esses, os compósitos reforçados com resíduo de madeira têm despertado interesse.

Iwakiri e colaboradores, avaliaram as propriedades de painéis com densidade de $0,75 \text{ g.cm}^{-3}$, produzidos com resíduos de 9 espécies de madeiras tropicais da Amazônia, sendo que todas apresentaram potencial e em conformidade com a norma europeia EN 312, a espécie *Ecclinusa guianensis* Eyma (Cauncho) foi a que apresentou melhores valores das propriedades físico-mecânicas ⁸¹.

O tipo de madeira e formato pode influenciar positiva ou negativamente as propriedades do painel, porém há outros fatores que podem também influenciar, tais como a densidade, origem, tipo de solo, clima, acidez, composição química, dentre outras ⁸¹.

Neste contexto, observou-se que a adição de resíduo de serragem na camada interna de MDP pode influenciar negativamente nas propriedades físico-químicas, isso ocorre devido ao formato do resíduo (pó), o que faz com que estas sejam desprendidas da matriz, diminuindo as propriedades do compósito, por outro lado, faz-se então necessário a adição de maior porcentagem de resina para que as partículas não sejam desprendidas ⁸².

Sanches e colaboradores, concluíram que painéis multicamadas apresentam propriedades superiores aos monocamadas, possivelmente devido a maior quantidade de resina utilizada na camada externa na configuração sanduíche ⁸³.

2.8 Painel sanduiche

O painel sanduiche é formado por 3 camadas ou mais, com a finalidade de adquirir propriedades físico-mecânicas superiores aos painéis monocamadas. A configuração mais comum contém duas faces externas e um núcleo interno entre estas. Os painéis podem ser produzidas a partir de partículas ou fibras de origem lignocelulósica ou sintética, que geralmente são aglutinadas por uma resina ou cola, possuindo aplicações em diversas áreas ^{17,84}.

Para as camadas externas são utilizadas partículas ou fibras de pequenas granulometrias, cuja espessura deve ser inferior ao núcleo. Há maior porcentagem resina, a fim de aglutinar melhor as partículas, isso promove um bom acabamento externo, possível de revestimento, e boa compactação, além

de boas propriedades mecânicas e físicas. A interface entre as camadas é a zona mais vulnerável ⁸⁵.

Já a camada interna, denominada de núcleo, é constituída por partículas maiores e menor porcentagem de resina, geralmente apresenta baixa densidade, garantindo suporte as faces superior e inferior e proporcionando resistência e rigidez ao painel^{18,84}.

A seguir na tabela 1 são apresentados alguns parâmetros de painéis sanduiches produzidos com 15 % de resina na camada externa e 12 % na camada interna:

Tabela 1: Análise dos parâmetros de produção de painéis sanduiches.

Autor	Granulometria CE/CI (mm)	Espessura CE/CI (mm)	Pressão entre as camadas	Densidade (kg.cm3)	MOR e MOE** (MPa)	Tipo de reforço CE/CI**
Belini ⁸⁷	0,5-0,15 / 2-0,8	2 / 11	Não	550	11,4 / 1048	Cana / Cana
				550	10,5 / 1045	Cana / Cana+Bambu
				750	23,3 / 2176	Cana / Cana
Nakanishi ¹⁷	1,0-0,31 / 8,0-1,1	2 / 8	Sim	550	9,47 / 1000	Cana /
			Não		13,08/1298	Cana+Bambu
Fiorelli ⁸⁶	0,3-0,6 / 4-1	2 / 11	Não	550	5,89 / 650	Cana /
				750	16,20/1879	Cana+Fibra de côco

*MOR: Módulo de resistência à flexão estática; MOE: Módulo de elasticidade.

**CE: Camada externa; CI: Camada interna.

Na tabela 1, é possível observar que os compósitos com maiores densidades apresentam melhores propriedades mecânica, conforme Belini ⁸⁶ e Fiorelli ⁸⁵ cujos painéis atenderam os padrões normativos para MOR e MOE da NBR 14810.

Este aprimoramento das propriedades mecânicas em função do aumento da densidade do painel pode estar relacionado com a maior quantidade de material que foi prensado, visto que, conseqüentemente, há um maior contato da resina com as partículas, o que implica em uma redução de vazios, tornando o material mais compacto e denso ⁸⁵.

Nakanishi salienta que a pré-prensagem em cada camada diminuiu as propriedades mecânicas, conforme dados apresentados na tabela 1, inferindo que essa redução pode estar relacionada com o arranjo das partículas que

ocorre de forma paralelo à superfície de cada camada, diminuindo assim adesão interna entre as camadas ¹⁷.

Por outro lado, de acordo com Sulaiman, a pré-prensagem em cada camada aumentou os valores das propriedades físicas, resultando na expansão dos vazios e conseqüentemente em uma maior absorção e inchamento em água, decorrente de uma maior quantidade de forças internas congeladas ⁸⁷.

Outro parâmetro que deve ser salientado é a porcentagem de resina, devido as partículas da face apresentarem menor granulometria, e, portanto, apresentarem maior área superficial específica, fazendo-se necessário utilizar mais resina nas faces ⁸⁸.

Iwakiri e colaboradores avaliaram que o aumento de resina na camada externa proporcionou um maior recobrimento das partículas com a resina, desencadeando a redução do inchamento e absorção de água, porém não observou-se diferença estatística nas propriedades mecânicas, além disso, o formato das partículas e tamanho, quando distribuídas na camada interna e externa têm influência nas propriedades mecânicas, ou seja, as partículas de granulometria menor são usadas nas camadas externas para garantir bom acabamento, enquanto as maiores são usadas no núcleo para garantir um bom desempenho mecânico ⁸⁹.

2.9 Tipos de resinas utilizadas em painéis

Na produção de painéis, a resina é o elemento responsável pela união entre partículas. A seguir, são apresentadas as resinas comumente utilizadas ⁹⁰:

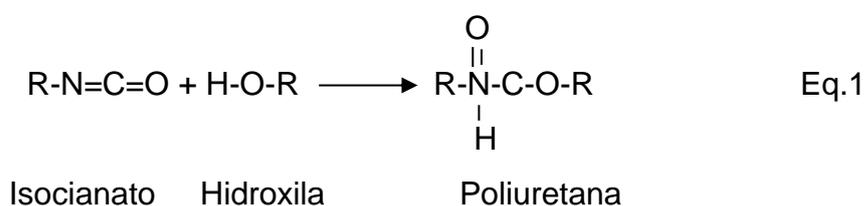
a) Ureia-formaldeído: apresenta o menor custo monetário dentre as demais; é um polímero termorrígido que possui baixa resistência à umidade. Indicada para uso interno, apresenta pH na faixa de 7,4 a 7,8, podendo liberar substâncias tóxicas em determinadas temperaturas ^{88,91}.

b) Melamina-formaldeído: apresenta resistência à umidade superior a ureia formaldeído. É uma resina termorrígida com pH em torno de 9 ⁸⁸.

c) Fenol-formaldeído: utilizada em compensados à prova de água, devido a sua alta resistência à umidade; o pH varia entre 11 a 13, sendo a temperatura de cura de 130 a 150 °C, porém o custo do fenol é mais elevado quando comparado às demais ^{81,92}.

No entanto, atualmente, visando estimular o uso de produtos de fontes renováveis, em detrimento de produtos de origem petroquímica, tem se analisado o uso de resinas alternativas, de caráter parcialmente biodegradável ^{89,93,97}.

O uso da poliuretana (Equação 1) à base de óleo da mamona tem obtido destaque nesse sentido, esta é um adesivo parcialmente sustentável e bicomponente, formada por um polioli oriundo do óleo extraído da semente da Mamona (*Ricinus communis*) e pré-polímero derivado de Isocianato ou diisocianatos, com adição de Polioli, originado de fonte petroquímica ⁹³.



O óleo da mamona é uma opção atrativa para síntese de polímeros, pois contém em sua composição 89 % de triglicerídeo derivado do ácido ricinoléico, possuindo três grupos funcionais reativos: grupo carbonila, dupla ligação e o grupo hidroxila no 12º carbono, o que o caracteriza como polioli natural trifuncional ^{94,95}.

Os painéis produzidos a partir de resina poliuretana derivada do óleo da mamona apresentam características parcialmente sustentáveis e boas propriedades mecânicas de flexão, quando comparados as outras resinas utilizadas pelo setor de painéis ⁹².

Painéis produzidos com *Eucalyptus grandis* e resina a base de óleo de mamona por prensagem a quente a 60 °C apresentaram propriedades mecânicas de força e rigidez superiores ao painel comercial produzido com fenol-formaldeído, que requerem temperatura de cura em torno de 130 a 160 °C, nota-se que a substituição da resina garantiu uma redução de energia gasta na manufatura do produto ⁹².

Entretanto, ao utilizarem partículas de madeiras tropicais, outros autores concluíram que a resina poliuretana a base de óleo de mamona propiciou maiores valores de resistência a tração perpendicular e menores valores de

absorção de água e inchamento em espessura, apesar da resina ureia-formaldeído ter apresentado melhores propriedades de módulo de resistência a flexão ⁹⁶.

2.10 Aspectos do material de reforço lignocelulósico que influenciam nas propriedades de adesão de compósitos

A finalidade de aplicação do compósito vai depender se suas propriedades atendem o propósito de uso, e um dos fatores principais que determinará a qualidade destes é o tipo de reforço utilizado.

Como cada material lignocelulósico apresenta características intrínsecas, faz-se necessário estudá-las, a fim de verificar sua viabilidade de uso na confecção de compósitos. Por exemplo, madeiras de origem folhosa apresentam maior dificuldade de colagem do que as madeiras de origem conífera, o que afeta diretamente na adesão do painel ⁸¹.

Apesar dos extrativos (graxas e óleos) presentes em materiais lignocelulósicos garantirem uma melhor durabilidade, proteção ao ataque de fungos e redução da hidrofobicidade, estes também afetam a adesão entre reforço e matriz ⁹⁷ e como consequência, as propriedades mecânicas diminuem, isso ocorre, uma vez que óleo e graxas dificultam a adesão e penetração da resina, inativando a superfície^{97,98}..

Os extrativos que recobrem as partículas apresentam um determinado pH, se este for muito ácido pode ocasionar uma pré-cura no painel, e conseqüentemente, formar ligações fracas que serão quebradas quando o compósito for direcionado para o processo final de prensagem, assim desencadeando uma baixa adesão entre reforço e matriz, além da redução das propriedades mecânicas ⁹⁷.

Quanto maior a quantidade de extrativos, menor será a resistência mecânica⁹⁷.

Por outro lado, a presença de extrativos fornece boas propriedades físicas, como baixo teor de inchamento e menor absorção de água, pois ceras e óleos possuem caráter apolar ⁹⁸.

Nemli e colaboradores avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de compósitos com partículas de *Pinus* impregnadas com extrativos e obtiveram

menores valores de MOR, MOE e adesão interna, quando comparado a compósitos reforçados com partículas sem extrativos ⁸⁹.

Por outro lado, os extrativos contribuíram com menores valores de inchamento e resistência ao apodrecimento ⁹⁷.

Outro fator que influencia a adesão interna e reduz as propriedades mecânicas é a razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade do material de reforço, esta deve ser no mínimo 1,3 indicando portanto, uma densificação satisfatória para formação do painel, além de assegurar que as partículas estão em contato com a resina ⁹⁰.

Partículas menos densas são mais requisitadas, pois proporcionam melhores propriedades mecânicas de resistência à flexão estática, módulo de elasticidade e adesão interna. Isso porque favorecem uma boa adesão entre as partículas, além de que partículas mais densas aumentam o inchamento em superfície e absorção de água, sendo necessário aumentar a densidade do painel para que sejam atingidas as propriedades mecânicas ^{81,88,99}.

Porém, há estudos que reportaram que espécies madeireiras que possuíam baixa densidade e, conseqüentemente, uma razão de compactação inferior a 1,3 não influenciou negativamente nas propriedades físico-mecânicas ⁸¹.

2.11 Panorama do MDP no Brasil

Segundo o histórico da indústria brasileira de árvores (Ibá), conforme ilustrado na figura 5, os painéis de madeira têm apresentado aumento na produção desde 2009 ¹⁰⁰.

Através dos dados apresentados na Figura 5, observa-se que o Brasil tem apresentado demanda para painéis de madeira ao decorrer dos anos, sendo esses geralmente produzidos com madeira virgem.

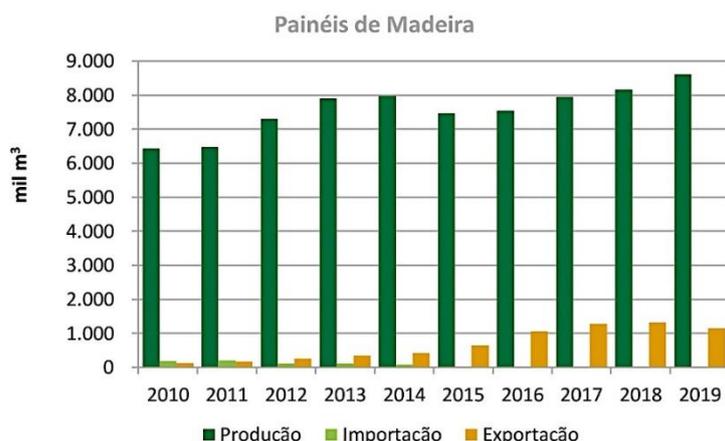


Figura 5: Histórico da produção, importação e exportação de painéis de madeira. Fonte: Ibá ¹⁰⁰ adaptado.

De acordo com os dados estatísticos da Ibá (Figura 6), em dezembro de 2019, o consumo aparente de painéis de madeira foi de 477.000 m³, cuja evolução pode ser acompanhada desde janeiro em relação ao ano de 2018 ¹⁰¹.

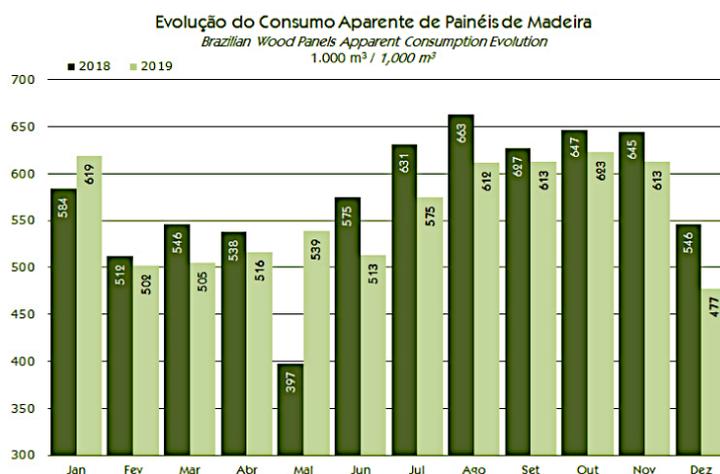


Figura 6: Evolução do consumo Aparente de painéis de madeira. Fonte: ibá ¹⁰¹.

Assim, com o aumento do consumo de madeira (toras de madeira virgem) surgem preocupações a respeito da sustentabilidade e seus impactos ambientais, dentre estes podemos destacar a quantidade de resíduo gerado que não é reaproveitado, bem como questões ecológicas de desmatamento ^{71,72,102}.

Essa problemática tem sido abordada por pesquisadores, visando verificar outras fontes de material lignocelulósico, possuindo propriedades semelhantes aos consumidos industrialmente ^{1,103,104}.

Como já discutido anteriormente, o resíduo madeireiro e o obtido através da extração do óleo de andiroba apresentam potencial sustentável como matéria-prima, e não há estudos reportados na literatura a respeito do desenvolvimento de painéis a base de poliuretana derivada do óleo de mamona, com estas biomassas combinadas.

Esta dissertação tem como objetivo produzir e caracterizar painéis de média densidade (MDP), utilizando a resina poliuretana derivada do óleo de mamona como matriz e como reforço resíduo madeireiro e não madeireiro proveniente da extração do óleo de buriti e andiroba da região Amazônica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi dividida em duas etapas, visando analisar a influência da concentração de resíduos oriundo da extração de óleo (buriti e andiroba), nas propriedades de painéis de média densidade.

Para a primeira etapa, painéis multicamadas foram produzidos com resíduo de buriti e madeira. Propriedades físicas e químicas do resíduo, bem como propriedades físico-mecânicas e morfológica do painel foram analisadas, com o objetivo de verificar o efeito das concentrações dos resíduos nessas propriedades.

Através da microscopia eletrônica de varredura, identificou-se uma baixa adesão entre reforço e matriz, que poderia estar relacionado com a alta concentração de óleo residual intrínseco ao resíduo de buriti, portanto, optou-se em desenvolver painéis monocamadas, realizou-se tratamento utilizando água em ebulição nas partículas, visando tornar o painel mais homogêneo e melhorar a molhabilidade, compatibilidade e adesão entre matriz e reforço.

Entretanto, o resíduo de buriti é uma matéria-prima sazonal e devido as circunstâncias de escassez desse material, e tendo em vista a disponibilidade do resíduo de andiroba, optou-se em dar continuidade à pesquisa utilizando resíduo de andiroba, uma vez que ambos são oriundos do processo de extração do óleo.

Para a segunda etapa, resíduo de andiroba foram utilizados na produção de painéis monocamadas, visando a obtenção de propriedades mais homogêneas. Resíduos de andiroba foram caracterizados fisicamente, bem como os compósitos foram analisados física, mecânica e termicamente

3.1. Materiais

Os resíduos oriundos da extração do óleo de buriti (Figura 7a) e andiroba (Figura 7b), doados pela Associação dos Trabalhadores Agroextrativistas de Eirunepé (ATAE), foram processadas mecanicamente para retirar o óleo.

O resíduo madeireiro (Figura 7c) foi fornecido pela empresa Mil Madeireira Preciosas Ltda.

A resina poliuretano à base do óleo de mamona (bi componente) foi doada pela Plural Indústria e Comercio de Produtos Químicos Ltda, localizada em São Carlos. Esta é constituída pelos componentes: Polioli, produto vegetal derivado do Óleo da Mamona e Pré-polímero, oriundo de fonte petrolífera.



Figura 7: Resíduos utilizados: a) De buriti; b) De andiroba; c) De madeira.

3.2. Métodos

3.2.1 Avaliação da concentração de resíduo de buriti

Inicialmente caracterizou-se o resíduo de buriti física, química, térmica e morfologicamente. Em seguida, produziu-se os painéis multicamadas, conforme parâmetros pré-estabelecidos pela literatura e grupo de pesquisa, por fim, realizou-se as caracterizações físicas e mecânicas dos painéis.

Fisicamente

a) Ensaio de Teor de umidade, realizado no Analisador Halogênio de Umidade ohaus (figura 8), utilizado no modo automático a 105 °C, com o objetivo de analisar o teor de umidade.



Figura 8: Alisador de umidade.

b) Distribuição granulométrica: utilizou-se um jogo de peneiras 4,16, 20,28, 48 e 80 tyler para o resíduo de buriti, conforme ilustrado na figura Figura 9a e Figura 9b.



Figura 9: Realização da distribuição granulométrica. a) Peneiramento; b) Peneiras.

Quimicamente

a) Teor de extrativos foi realizado de acordo com a norma TAPPI 204 cm-97 ¹⁰⁵ adaptada e em triplicata. Inicialmente secou o resíduo de madeira (4 ± 1 g) e o resíduo de buriti (10 ± 1 g) até massa constante; adicionou-se as partículas em um cartucho de papel que foi inserido no extrator do tipo Soxhlet acoplado a um balão contendo a solução de etanol-tolueno 1:2 (v/v); este sistema ficou em refluxo por 24 ciclos (Figura 10a); em seguida passou-se para o processo de extração com etanol por 16 ciclos (Figura 10b); filtrou-se utilizando um funil de Buchner, efetuou-se lavagem com água em ebulição. As partículas isentas de extrativos foram secas em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ até atingir massa constante. O teor de extrativos foi calculado utilizando a seguinte equação (Eq.2):

$$\%T_{\text{Extrativos}} = (M_i - M_f) \cdot M_i^{-1} \cdot 100\% \quad \text{Eq.2}$$

Sendo:

$\%T_{\text{Extrativo}}$ = Teor de extrativos [%];

M_i = Massa seca antes da extração [g];

M_f = Massa seca após a extração [g].

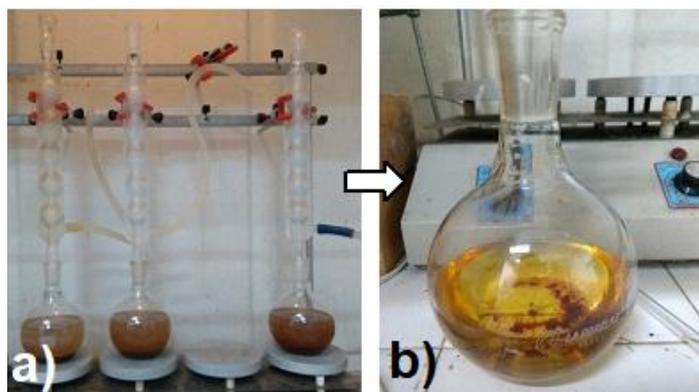


Figura 10: Ensaio químico. a) Processo de extração dos extrativos do resíduo de buriti; b) Extrativo após o ensaio.

b) Teor de celulose foi realizado em triplicata, e de acordo com Leão ¹⁰⁶. Adicionou-se 25 ml de solução de ácido nítrico e ácido acético em $1 \pm 0,1$ g de massa seca e livre de extrativos, após levou-se em refluxo por 25 min em aproximadamente $120 \text{ }^\circ\text{C}$; em seguida lavou-se com 500 ml de água quente e em seguida com 25 ml de etanol; por fim, secou-se em estufa até massa constante. Para o cálculo de teor de celulose utilizou-se a Equação 3:

$$\%T_{\text{Celulose}} = M_f \cdot M_i^{-1} \cdot 100\% \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo:

$\%T_{\text{Celulose}}$ = Teor de celulose [%];

M_f = Massa seca de celulose [g].

M_i = Massa seca antes da extração [g];

c) Teor de cinzas foi realizado conforme a norma TAPPI T211 ¹⁰⁷: inicialmente colocou-se 1 g de partículas em um cadinho de porcelana e levou-se o sistema ao forno Mufla por 60 min a $525 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$; após atingirem temperatura ambiente aferiu-se a massa; o teor de cinzas foi calculado de acordo com a equação 4 :

$$\%T_{\text{Cinzas}} = M_f \cdot M_i^{-1} \cdot 100\% \quad \text{Eq. 4}$$

Sendo:

$\%T_{\text{Cinzas}} = \text{Teor de celulose } [\%]$.

Mf= Massa das cinzas [g].

Mi= Massa seca [g].

d) Fluorescência de Raios x (FRX) por energia dispersiva foi realizado utilizando o espectrômetro PANalytical, modelo Epsilon 3 XL, com tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA, utilizando gás Hélio com pressão 10 atm/10kgF/cm².

e) Espectroscopia no Infravermelho (FTIR) foi realizada utilizando um espectrofotômetro de infravermelho por transformada de Fourier IRAffinity – 1 da Shimadzu, pelo modo de transmitância, utilizando pastilhas de KBr produzidas por prensagem.

Termicamente

Análise de termogravimetria (TG) foi realizada no equipamento SDT Q 600 da Ta Instrument. O ensaio foi realizado em amostra de aproximadamente 10 mg, com taxa de aquecimento de 10 °C/min até a temperatura final de 700 °C e fluxo de gás Nitrogenio 5.0 de 30 ml/min. O cadinho utilizado nos testes foi o de alumina de 90 µl sem tampa.

Morfologicamente

A morfologia dos resíduos de buriti foi realizada através de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da marca *ORFORD INSTRUMENTS X-ACT, PentalFET precision*, modelo: 51-ADD0007, resolução: 5,9 keV.

Produção dos painéis

Os resíduos de buriti e madeira foram utilizados sem nenhum tipo de tratamento, visando manter o processo mais simplificado possível para que fosse viável sua reprodução em comunidades locais

Determinou a densidade do painel, tamanho de partículas e disposição das camadas de acordo com a metodologia de Bueno ⁸⁵, uma vez que para

painéis multicamadas utiliza-se partículas menores na face, enquanto as que possuem maior granulometria encontram-se no núcleo, na tabela 2 está informado os parâmetros de produção para os painéis multicamadas.

O teor de resina foi adotado de acordo com estudos previamente realizados.

Tabela 2: Parâmetros de produção de painéis de resíduo de buriti.

Parâmetros de produção dos painéis sanduíches	
Diâmetros das partículas da camada interna	4,75 – 1,18 mm
Diâmetros das partículas da camada externa	1,18 – 0,30 mm
Densidade das chapas	750 kg/m ³
Quantidade de camadas	3
Espessura das camadas externas	0,4 cm
Espessura da camada interna	0,8 cm
Espessura do painel	1,6 cm
Porcentagem de resina na camada interna	15 %
Porcentagem de resina nas camadas externas	18 %
Proporção de polioli e pré-polímero	Ambas as camadas 1:1

Produziu-se três painéis, o primeiro denominado de Homogêneo de madeira, no qual as camadas externas e internas foram confeccionadas utilizando resíduo de madeira, o segundo denominado de homogêneo de buriti produzido somente com resíduo de buriti, e por fim o painel híbrido, que consiste no núcleo de madeira e camadas externas com resíduo de buriti, conforme ilustrado na tabela 3.

Tabela 3: Nomenclatura dos painéis multicamadas

Nomenclatura	Camada externa	Camada interna (núcleo)	Estrutura
Homogêneo de Madeira	Resíduo de Madeira	Resíduo de Madeira	
Homogêneo de buriti	Resíduo de Buriti	Resíduo de Buriti	
Híbrido Madeira/Buriti	Resíduo de Buriti	Resíduo de Madeira	

Para a produção dos compósitos adotou-se os parâmetros da norma ABNT NBR 14810:2018 e metodologia conforme utilizada pelo grupo de pesquisa ¹⁰⁸.

A Figura 11 representa um fluxograma geral sobre as etapas de produção e caracterização dos painéis desenvolvidos.

Inicialmente, separou-se os resíduos de acordo com o tamanho de partícula descrito pela literatura ⁸⁵ (figura 11a).

Em seguida realizou-se mistura manual das partículas com a resina poliuretana derivada do óleo da mamona na proporção 1:1 em massa (figura 11b), adicionou-se intercaladamente o polioli e pré-polímero a cada 5 min até completar 30 min ⁸⁵.

Para formação das três camadas nos painéis multicamadas, adicionou-se as camadas sucessivamente em um molde com dimensão de 40 x 40 x 1,6 cm (Figura 11c), em seguida, transferiu-se o colchão formado por camadas sobrepostas para a prensa termo-hidráulica, onde controlou-se a pressão em 5 MPa e temperatura de 100 ° C durante 20 min (Figura 11d).

Após, retirou-se da prensa, e acondicionou-se os painéis em local arejado durante 72 h, a fim de proporcionar total reticulação do material (Figura 11e).

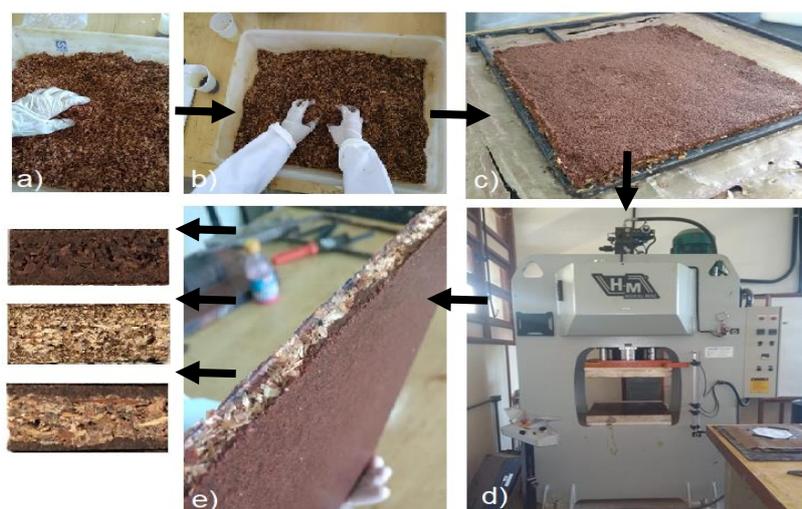


Figura 11: Metodologia de produção das placas; a) Mistura dos resíduos; b) Mistura manual dos resíduos com a resina. c) Deposição da mistura no molde; d) Conformação utilizando prensa hidráulica; e) Corpos de prova.

Caracterização dos painéis

Análise estatística

Foi realizada através do teste de Turkey, visando verificar a influência das proporções de resíduos nas propriedades, utilizando a ferramenta de análise de dados do Excel 2016.

Caracterização física

Utilizou-se 10 corpos de prova com dimensões de 50 x 50 x 16 mm, realizou-se o ensaio conforme a norma ABNT NBR 14810.

a) Determinação da densidade (D): aferiu-se a massa (m) dos corpos de prova utilizando uma balança analítica (figura 12), em seguida, utilizou-se um micrômetro da marca Mitutoyo para medir a espessura (e), comprimento (b1) e largura (b2) do corpo de prova foram aferidos através de um paquímetro digital da marca Carbografite. Através da equação 5 foi calculada a densidade expressa em Kg/m³:

$$D = m.(b1 . b2 . e)^{-1} \quad \text{Eq.5}$$



Figura 12: Secagem dos corpos de prova em estufa.

b) Teor de Inchamento em espessura por 24 horas: mediu-se a espessura (e1) dos corpos de prova, após as amostras foram submersas em água deionizada (Figura 13a) por 24 h (Figura 13b), em seguida, retirou-se da água e mediu-se as espessuras (e2) novamente.

Determinou o teor de inchamento, expresso em % de acordo com a equação 7:

$$I = (e_2 - e_1) \cdot e_1^{-1} \cdot 100 \% \quad \text{Eq.7}$$

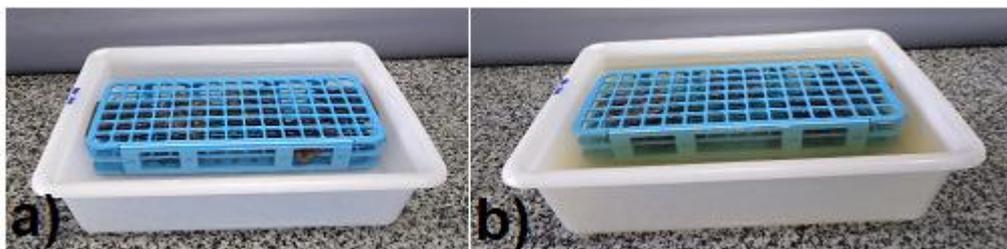


Figura 13: Ensaio de teor de inchamento; a) inicialmente; b) Após 24 h.

Caracterização mecânica

Ensaio de flexão em 3 pontos, conforme ilustrado na figura 14, de acordo com a norma ABNT NBR 14810 com adaptações.



Figura 14: Corpo de prova em ensaio de flexão.

Determinou-se a flexão estática (MOR) conforme a equação 8 e módulo de elasticidade (MOE) de acordo com a equação 9.

Mediu-se as espessuras de cada corpo de prova (e) e largura (b), em seguida posicionou-se cada corpo de prova em uma Máquina Universal de Ensaio, modelo AME-5KN, capacidade de 500 kgf.

O comprimento do vão (D) foi de 320 mm, o centro do corpo de prova coincidiu com a aplicação da carga (P), acionou-se a máquina a velocidade constante. A determinação dos módulos foi expressa em N/mm²:

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{b \times (e^2)} \times 100 \quad \text{Eq. 8}$$

$$MOE = \frac{P1 \times (D^3)}{def \times 4 \times b \times (e^3)} \times 100 \quad \text{Eq. 9}$$

Sendo,

P = carga de ruptura em newtons,

P1= carga no limite proporcional (N) e

def = deflexão (mm).

Caracterização morfológica

Verificou-se a superfície do corpo de prova híbrido de buriti e madeira, através do microscópio eletrônico de Varredura (MEV) da marca *ORFORD INSTRUMENTS X-ACT, PentalFET precision*, modelo: 51-ADD0007, resolução: 5,9 keV .

3.2.2 Avaliação da concentração de resíduo de andiroba

Inicialmente, caracterizou-se o resíduo de andiroba fisicamente. Em seguida, após a produção dos painéis em monocamada, analisou-se a influência da concentração de resíduo de andiroba e madeira nas propriedades físicas, mecânicas e de inflamabilidade.

Fisicamente

a) Ensaio de Teor de umidade, realizado no Analisador Halogênio de Umidade ohaus, utilizado no modo automático a 105 °C, com o objetivo de analisar o teor de umidade.

b) Distribuição granulométrica: utilizou-se um jogo de peneiras 10,20,35,48 e 80 tyler, visando verificar a distribuição granulométrica do resíduo.

Produção dos painéis

Produziu-se dois painéis, ao qual se variou a quantidade de resíduo madeireiro e de andiroba, conforme ilustrado na tabela 4, adotou-se a densidade de 750 g.cm^{-3} e 20 % de resina a base de óleo de mamona, na proporção 1:1 de polioliol e pré-polímero, conforme literatura ¹⁰⁹ que utilizou resíduo oriundo do processo de extração de óleo de oliva.

A proporção de resíduo madeireiro e andiroba deu-se conforme a literatura ¹¹⁰.

Tabela 4: Parâmetros de produção dos painéis monocamadas de andiroba.

Nomenclatura	% de resíduo de madeira	% de resíduo de andiroba
Painel 50/50	50	50
Painel 30/70	30	70

Inicialmente, lavou-se o resíduo de andiroba em água quente conforme descrito na literatura ¹⁰⁹, com a finalidade de reduzir possíveis extrativos residuais do processo de extração do óleo. Em seguida, expôs-se o resíduo à radiação solar por 48 h, para secar previamente em temperatura ambiente.

Em seguida, secou-se em estufa os resíduos até atingirem a umidade 8 a 10 %, conforme literatura ⁸⁵.

Peneirou-se o resíduo de andiroba para identificar a distribuição granulométrica, então utilizou-se uma porcentagem de todas as granulometrias, conforme a literatura ¹⁰⁹, objetivando aproveitar o resíduo como um todo.

A metodologia de produção das placas está em conformidade com os padrões adotados pelo grupo de pesquisa e idem à metodologia adotada para os painéis multicamadas.

Misturou-se manualmente os resíduos e adicionou-se intercaladamente o polioliol e pré-polímero.

Após, transferiu-se essa massa para um molde de ferro com as dimensões 40 x 40 x 1 cm, posteriormente em uma prensa termo-hidráulica, controlou-se a pressão em 100 Bar e temperatura de 100 ° C durante 20 min.

Em seguida, retirou-se da prensa, os painéis foram acondicionados para período de cura em local arejado, durante 72 h, a fim de proporcionar total reticulação do material.

Caracterização dos painéis

Análise estatística

Foi realizada através do teste de Turkey, visando verificar a influência das proporções de resíduos nas propriedades, utilizando a ferramenta de análise de dados do Excel 2016.

Caracterização física

Para cada ensaio foi utilizado 10 corpos de prova com dimensões de 50 x 50 x 10 mm, realizados através da norma ABNT NBR 14810.

a) Determinação da densidade (D) foi conforme a norma ABNT NBR 14810: primeiramente aferiu-se a massa (m) dos corpos de prova utilizando uma balança analítica, em seguida, utilizou-se um micrômetro da marca Mitutoyo para medir a espessura (e), através de um paquímetro digital da marca Carbografite mediu-se o comprimento (b1) e largura (b2) do corpo de prova. Através da equação 10 calculou-se a densidade expressa em Kg/m³:

$$D = m.(b1 . b2 . e)^{-1} \quad \text{Eq.10}$$

b) Teor de umidade (U): inicialmente determinou a massa úmida (mu) dos corpos de prova em temperatura ambiente, após secou-se as amostras em estufa até massa constante (ms) e calculou o teor de umidade expresso em % de acordo com Eq. 11:

$$U = (m_u - m_s) \cdot m_u^{-1} \cdot 100\% \quad \text{Eq. 11}$$

c) Teor de Inchamento em espessura por 24 horas: mediu-se a espessura (e1) dos corpos de prova utilizando um micrômetro, em seguida as amostras foram submersas em água deionizada e após 24 h mediu-se novamente as espessuras (e2).

Determinou-se o teor de inchamento, expresso em % de acordo com a equação 12:

$$I = (e_2 - e_1) \cdot e_1^{-1} \cdot 100 \% \quad \text{Eq.12}$$

Caracterização mecânica

Ensaio de flexão em 3 pontos, conforme a norma ABNT NBR 14810 com adaptações, para determinação da flexão estática (MOR) calculou-se conforme a equação 13 e módulo de elasticidade (MOE) de acordo com a equação 14.

Mediu-se as espessuras de cada corpo de prova (e) e largura (b), em seguida posicionou-se cada corpo de prova em uma Máquina Universal de Ensaio, modelo AME-5KN, capacidade de 500kgf.

O comprimento do vão (D) foi de 200, o centro do corpo de prova coincidiu com a aplicação da carga (P), acionou-se a máquina á velocidade constante. Os módulos foram expresso em N/mm²:

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{b \times (e^2)} \times 100 \quad \text{Eq. 13}$$

$$MOE = \frac{P1 \times (D^3)}{def \times 4 \times b \times (e^3)} \times 100 \quad \text{Eq. 14}$$

Sendo,

P = carga de ruptura em newtons,

P1= carga no limite proporcional (N) e

def = deflexão (mm).

Inflamabilidade

O ensaio foi realizado utilizando a norma ASTM D3801-20a com adaptações, ou seja, através do método de medição das características comparativas de queima de plásticos sólidos na posição vertical ¹¹¹.

Utilizou-se 10 corpos de prova com dimensões 13 x 125 x 10 mm, retirados do painel em condições de umidade e temperatura ambiente. A figura 15 representa o esquema do ensaio, sendo que o queimador utilizado foi um bico de Bunsen e gás de cozinha:

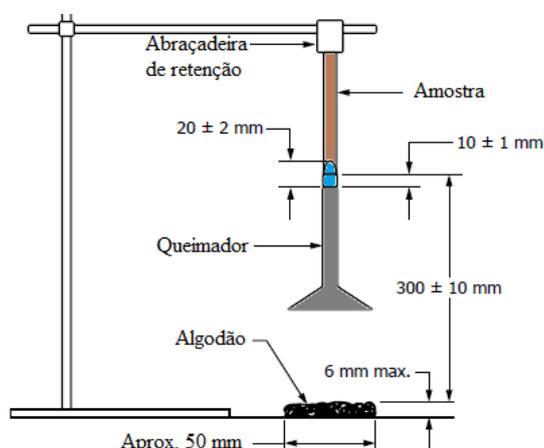


Figura 15: Esquema do ensaio de queima vertical. Adaptado da norma D3801-20a.

O procedimento vertical consistiu em submeter os corpos de prova a duas aplicações de chama de 10 s, em seguida adotou-se a seguinte metodologia para realizar a classificação:

V0 = Quando o tempo total de duração da chama nas duas aplicações não for superior que 50 s, não houver pós-luminescência ou pós-chama até a abraçadeira de retenção ou o algodão não incendiar por gotejamento.

V1 = A soma do tempo de combustão não for superior a 250 s e não houver pós chama, pós-luminescência até a braçadeira de retenção e nem incendiar o algodão por gotejamento.

V2 = A soma do tempo de combustão não for superior a 250 s e não houver pós chama, pós-luminescência até a braçadeira de retenção, porém o algodão incendeia por gotejamento.

4. Resultados e discussões

4.1. Caracterização do resíduo de buriti

4.1.1. Caracterização física

Teor de umidade

Os resíduos de buriti e madeira *in natura* apresentaram teor de umidade de 5,16 % e 28,15%, respectivamente.

Segundo a literaturam a umidade das partículas para fabricação de painéis de média densidade deve estar entre 8 a 10 % ⁸⁵, porém há autores que reportam teores de umidade em torno de 5 % ⁹⁰.

Um elevado teor de umidade do reforço pode desencadear bolhas na matriz polimérica, devido a evaporação de gases durante o processamento, que conseqüentemente gera perdas de propriedades mecânicas, porém quando o valor é demasiadamente baixo, pode implicar em propriedades anisotrópicas do painel, devido diminuição de transferência de calor entre o reforço e matriz ^{85,90,112}.

Na literatura, é reportado a fabricação de painéis de media densidade com resíduo que possuem diferentes teores de umidade: semente de macadâmia com 4 % de teor de umidade ¹¹³, fibras de madeira com 5 % ⁹⁶, fibra de coco com 2 a 3 % ¹¹⁴, bagaço de cana de açúcar e fibras de juta 8 % ¹, partículas de bambu e bagaço de cana de açúcar 6 % ¹⁷, apesar do teor de umidade variar de acordo com a matéria prima, ambos compósitos fabricados com essas condições, apresentaram resultados físico-mecânico promissores.

Portanto, o resíduo de buriti apresenta teor de umidade de acordo com os parâmetros da literatura para produção de painéis de média densidade, porém o resíduo de madeira necessitou ser secado em estufa até atingir umidade de 8 a 10 %, com a finalidade de adequar seu teor de umidade com os parâmetros estabelecidos na literatura.

Distribuição granulométrica

A figura 16 representa a distribuição granulométrica dos resíduos de buriti. Observa-se que o buriti apresentou duas granulometrias predominantes, representadas pelo Tyler 4 (22,45 %) e 48 (28,7 %).

O tamanho de partícula, conforme mencionado anteriormente, é um dos fatores que pode influenciar nas propriedades dos painéis.

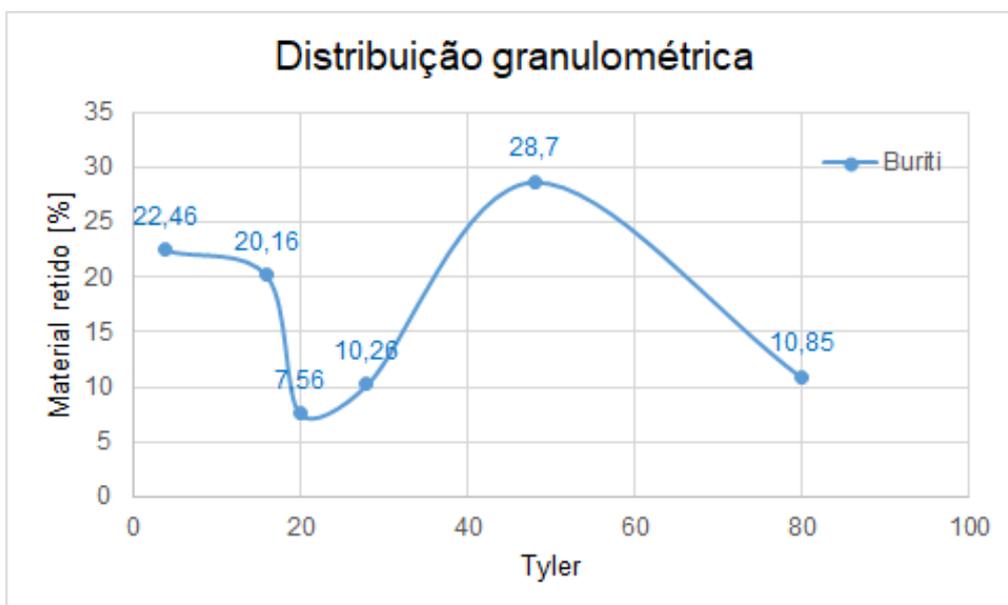


Figura 16: Distribuição granulométrica do resíduo de buriti.

De acordo com Araújo e colaboradores, uma distribuição de partículas com diferentes granulometria proporciona uma redução de vazios, pois as partículas menores preenchem os vazios entre as partículas maiores, implicando em uma melhor compactação ⁹⁹.

Painéis produzidos com semente de açaí com dois tipos de granulometria diferentes: 8 e 14 tyler, apresentaram teores de inchamento e absorção de água inferiores, quando comparados com os painéis produzidos com um único tamanho de partícula (48 tyler), observou-se que quanto maior a granulometria, menor o inchamento, pois ocorre uma menor variação dimensional dos painéis ¹¹².

4.1.2. Caracterização química

Teor de extrativos, lignina, celulose e cinzas:

Os materiais lignocelulósicos são compostos majoritariamente por celulose (40 - 50 %), hemicelulose (20 - 30 %) e lignina (10 - 25 %), além da presença de pectina, proteínas, elementos inorgânicos e extrativos ¹¹⁵.

A porção de cada componente presente na biomassa depende de vários fatores: idade da fonte vegetal, espécie, ambiente e estação ao qual foi cultivado, dentre outros ^{115,116}.

Na tabela 5 são apresentados os teores de elementos presentes no resíduo de buriti e madeira:

Tabela 5: Caracterização química.

Resíduo	Extrativo [%]	Celulose [%]	Cinzas [%]
Buriti	72,49 ± 0,69	23,26 ± 2,03	3,57 ± 0,43
Madeira	10,14 ± 0,17	49,55 ± 0,04	1,17 ± 0,03

O resíduo de buriti apresentou 72,49 % de teor de extrativos. Esta porcentagem é bem mais elevada quando comparado a outros materiais lignocelulósicos, tais como semente de açaí (16,64 ± 0,73%)¹¹², fibra da cana de açúcar (6,7%), curauá (9,5%) e juta (3%)¹, o alto teor de extrativos é decorrente de óleo residual que fica impregnado nas partículas no processo de extração do óleo do fruto.

Há estudos envolvendo uso de extrativos como adesivo e conservante naturais em painéis de madeira, principalmente no que diz respeito aos taninos encontrado nas cascas de algumas madeiras ^{23,97,98,117}.

Por outro lado, a incorporação de extrativos nas partículas em painéis de madeira implica em perdas de propriedades mecânicas e melhoras nas propriedades físicas, por exemplo redução do inchamento e absorção de água ^{97,98,117}.

Geralmente, quando o extrativo é utilizado na superfície do painel, ele impede que a água difunda para a parte interna, diminuindo, assim, a absorção de água, uma vez que estes são componentes hidrofóbicos, apolares, formado por óleos e ceras ^{23,97,98}.

Também são utilizados para aumentar a durabilidade dos painéis, uma vez que os extrativos presente nos materiais lignocelulósicos favorecem a presença de agentes que evitam a proliferação de fungos e bactérias, estando relacionado com grupos fenólicos livres de lignina ^{97,98,117}.

A impregnação do óleo de *tung* na superfície de painéis fabricados a partir de casca de arroz e resina de soja reduziu o teor de umidade, inchamento e absorção dos painéis, além de atingirem os requisitos da norma ANSI A208.1²³.

Os extrativos de *Cerbera odollam* apresentaram atividade contra ataques de fungos e cupins, e não afetaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis produzidos a partir de serragem⁹⁸.

Portanto, o alto teor de extrativos presente no resíduo oriundo da torta de buriti pode indicar um decaimento nas propriedades mecânicas e melhora das propriedades físicas, quando aplicado na confecção de painéis.

O resíduo de madeira apresentou teor de celulose de 49 % em conformidade com a literatura, porém observa-se que o teor de celulose do resíduo de buriti (23 %) é inferior quando comparado a outros tipos de fibras, tais como juta (60 %), sisal (60 %) e piaçava (31 %). Porém, apresenta similaridade com o resíduo da semente de macadâmia (25 %) ^{112,118}.

Na madeira, a celulose é o principal constituinte de uma fibra natural, ela é responsável pela resistência, rigidez, estabilidade, sendo assim, quanto maior a quantidade de celulose presente, maiores são as propriedades mecânicas dessas fibras ¹¹⁹.

Compósitos reforçados com fibras com elevadas porcentagens de celulose e hemicelulose influenciam positivamente nas propriedades de resistência à flexão estática (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) ¹.

O resíduo de buriti apresentou 3,57 % de teor de cinzas, enquanto a madeira apresentou o valor de 1,17 %, esses teores estão relacionados com os resíduos inorgânicos após combustão.

Elevados teores de cinzas, extrativos e lignina presente no reforço lignocelulósico prejudicam a reticulação da matriz, desencadeando em baixa adesão entre reforço e matriz, avaliou-se que o bagaço da cana de açúcar apresentou 7,49 % de teor de cinzas, o que pode ter influenciando na redução da resistência a tração e menor módulo de elasticidade em compósitos poliméricos, quando comparado a outros reforços que apresentam menor teor de cinzas ^{120,121}.

Fluorescência de raios X

Na tabela 6 são apresentados os resultados de FRX das cinzas do resíduo de buriti.

Observa-se alto teor de Potássio (~82%), o que pode indicar possibilidades de aplicação desse material na indústria de fertilizantes, na correção da acidez do solo, uma vez que são solúveis em água, facilitando a absorção pela planta no solo ¹²².

Tabela 6: FRX das cinzas do resíduo de buriti.

Elemento	%	Óxido	%
K	82,265	K ₂ O	72,254
P	6,292	P ₂ O ₅	12,063
S	3,450	SO ₃	6,989
Mg	2,897	MgO	4,197
Cl	2,340		
Si	0,574	SiO ₂	1,048

Porém, é importante salientar que, na combustão desse material, há geração de gases ou elementos com presença de potássio, implicando em incrustação nos equipamentos e ou poluição ambiental¹²²⁻¹²⁵.

Por outro lado, o potássio modifica as características físicas, químicas e anatômicas da madeira. Além disso, em altas concentrações, favorecem a síntese e acúmulo de compostos fenólicos, atuantes como inibidores de insetos e fungos ¹²⁶.

O alto teor de potássio pode indicar uma possível inibição de fungos e insetos em painéis produzidos com resíduo de buriti ¹²⁶.

Na tabela 6, observa-se um teor de silício de 0,574 %, na literatura fibras de piaçava que foram mercerizadas e possuíam teor de silício de 9,6 % a 6,6 %, apresentaram propriedades mecânicas superiores quando comparado com fibras não mercerizadas que apresentaram 34,9 % de Si ¹²⁷.

Os baixos teores de silício, bem como os demais elementos presentes nas cinzas do resíduo de buriti, podem estar relacionados com características intrínsecas ao ambiente que a palmeira foi plantada ¹²⁷.

Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

Na figura 17, observa-se o gráfico de FTIR do resíduo de buriti.

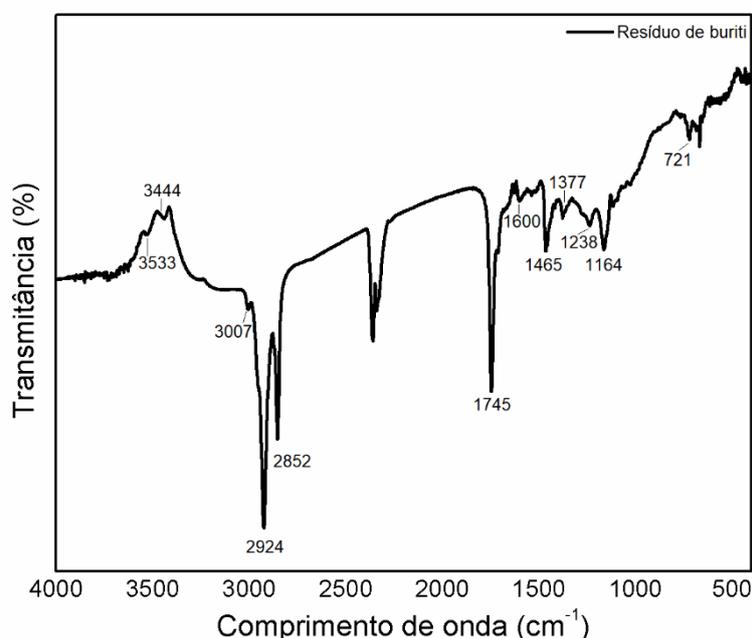


Figura 17: FTIR do resíduo de buriti.

De acordo com a figura 17, observa-se as seguintes bandas os quais evidenciam a presença de componentes lignocelulósicos, bem como óleos:

Em 721 cm^{-1} observa-se ao dobramento CH_2 , presente em ácidos graxos e triglicerídeos ³⁶.

A banda em 1164 cm^{-1} está relacionado com a deformação C-H no plano com a lignina tipo guaiacílico ¹²⁸, e presença de moléculas de ácido oleico com glicerol ³⁶.

A banda em 1238 cm^{-1} pode estar relacionada com a deformação do anel aromático presente na lignina tipo guaiacílico, associado ao estiramento $=\text{C}-\text{O}-\text{C}$ comumente presente em grupos fenólicos ^{128,129}, podendo está associado com a presença de hemicelulose ¹³⁰.

Em 1377 cm^{-1} e 1745 cm^{-1} , observa picos que podem estar relacionados com a presença de celulose e hemicelulose, respectivamente ¹³⁰.

Em 1600 cm^{-1} ocorre a vibração do esqueleto e do anel de benzeno, relacionado com o anel aromático presente na estrutura da lignina ¹²³.

Em 1745 cm^{-1} , pode ser presença de hemicelulose¹³⁰ e estiramento C=O do grupo carboxílico presente no óleo, relacionado a ésteres metílicos e triglicerídeos, para ácidos graxos de cadeia em torno de 1700 cm^{-1} .

Os picos 2852 cm^{-1} e 2924 cm^{-1} podem estar relacionados com o estiramento C-H presente na lignina tipo guaiacílico e siringílico^{123,131}, e à ácidos graxos e triglicerídeos relacionado ao estiramento C-H do grupo metil (CH_3) e metileno (CH_2)³⁶.

Em 3007 cm^{-1} há vibração de =C-H presente em óleos vegetais³⁶.

Na faixa que envolve os picos 3007 cm^{-1} pode estar relacionado com a banda CH da ligação =C-H, comumente presente em óleos vegetais.

Na tabela 7, observa-se um quadro geral com as vibrações analisadas na figura 17.

Tabela 7: Descrição resumida da presença do componentes e ligações observados de acordo com o N° de ondas presente no FTIR.

N° de ondas (cm^{-1})	Atribuição	Componente
721	Vibração CH_2 ³⁶	Óleo
1164	Deformação C-H no plano com anel aromático guaiacílico ¹³¹ e estiramento C=C-O ³⁶	Lignina, óleo
1238	Estiramento C-O-C ^{128,129} , e hemicelulose ¹³⁰	Hemicelulose
1377	Presença de celulose	Celulose
1465	O-CH ₃ ¹²⁸ e deformação C-H ¹²³ e estiramento CH_2 ³⁶	Benzeno, óleo
1600	Vibração do esqueleto aromático e anel de benzeno ¹³¹ mais estiramento C=O ¹²³	Lignina
1745	Presença de hemicelulose ¹³⁰ e estiramento C=O ³⁶	Hemicelulose, óleo
2852	Estiramento C-H ^{123,131} e CH_2 simétrico ³⁶	Hemicelulose, celulose e lignina; óleo
2924	Estiramento C-H ^{123,131} e CH_2 assimétrico ³⁶	Hemicelulose, celulose e lignina; óleo
3007	Estiramento CH, ligação =C-H ¹³²	Óleo

Através dos dados analisados foi possível verificar que o resíduo de buriti possui a presença de vibrações químicas que estão relacionados com

componentes lignocelulósicos e óleos, estando em conformidade com a literatura ^{121,125,128}.

4.1.3. Caracterização térmica

Na figura 18, é apresentado os resultados de termogravimetria e sua respectiva derivada, dos resíduos de buriti e madeira.

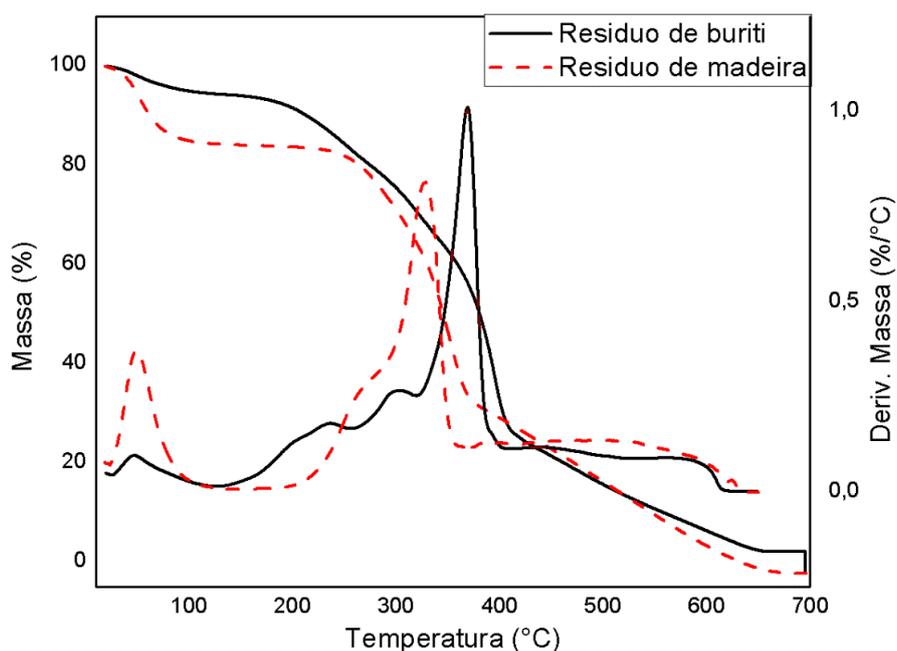


Figura 18: Tg/Dtg do resíduo de buriti e madeira.

Para melhor exemplificar cada evento, na tabela 8, é apresentado a faixa de temperatura e seus respectivos componentes decompostos:

Tabela 8: Descrição dos eventos de decomposição térmica.

Resíduo de buriti		Resíduo de madeira	
Temperatura [°C]	Componente	Temperatura [°C]	Componente
26 – 126	Água / Umidade	21 – 114	Água / Umidade
143 – 281	Hemicelulose	237 – 304	Hemicelulose
281 – 345	Celulose	304 – 350	Celulose
249 – 439	Lignina	276 – 391	Lignina
439 – 700	Material residual	405 – 632	Material residual
700	Resíduo Inorgânico	700	Resíduo Inorgânico

O primeiro evento refere-se à perda de umidade, relacionado à evaporação de água presente no resíduo e está em consonância com o resultado de umidade apresentado no item 4.1.1.

Para materiais lignocelulósicos em geral, observam-se eventos de degradação relacionados à hemicelulose, celulose e lignina que podem se sobrepor¹³³.

O segundo evento está relacionado com a decomposição da hemicelulose, para o resíduo de buriti ocorre em torno de 143 a 281 °C, enquanto que na madeira ocorre em 237 a 304 °C, esse deslocamento pode estar relacionado a presença de óleo residual^{128,133,134}.

Na figura 19, observa-se que a decomposição da celulose no resíduo de buriti está bem definida no pico entre as temperaturas de 281 a 345 °C, enquanto para o resíduo de madeira não está evidenciado, sugerindo que ocorre em sobreposição ao pico da lignina em torno de 304 a 350 °C¹²⁹.

O quarto evento está relacionado com a decomposição da lignina, segundo a literatura a lignina apresenta um intervalo de temperatura mais extenso e complexo, para o buriti a lignina começa a se decompor em 249 °C até em 439 °C, enquanto para a madeira ocorre entre 276 a 391 °C^{129,125,130}.

Na figura 18, na curva referente ao resíduo de buriti, observa-se um evento entre 439 – 700 °C, que podem estar relacionados com a decomposição de material inorgânico ou lignina residual, idem para o evento que ocorre entre as temperaturas 405 – 632 °C no resíduo de madeira^{123,128,133}.

Observa-se que o teor de resíduo inorgânico do buriti (2,13 %) é maior que o da madeira (0,015 %), estando em conformidade com o teor de cinzas discutido no tópico 4.1.2, que está correlacionado à presença de substâncias inorgânicas, estas provavelmente são provenientes do tipo de solo, clima e ambiente de origem da planta ou ambiente em que foram recolhidos os resíduos¹²⁴.

Observa-se que as temperaturas de decomposição dos componentes lignocelulósicos estão de acordo com a literatura, salienta-se a decomposição mais acentuada entre 200 a 450 °C, indicando a possibilidade do uso desses resíduos em processos de temperaturas inferiores a 200 °C⁸⁰.

Demosthenes e colaboradores através da caracterização térmica da fibra de buriti, avaliaram que o limite da sua degradação é de 200 °C ³³.

Portanto, observa-se que o resíduo de buriti apresenta temperatura de decomposição similar ao da fibra de buriti, estando em conformidade com a decomposição de componentes lignocelulósicos.

4.1.4. Caracterização morfológica

Resíduo de buriti

Na figura 19, observa-se que o resíduo de buriti é composto por grânulos, possuindo diferentes dimensões. Esse resultado está de acordo com o observado na análise granulométrica, indicando variações dimensionais das partículas ¹³⁵.

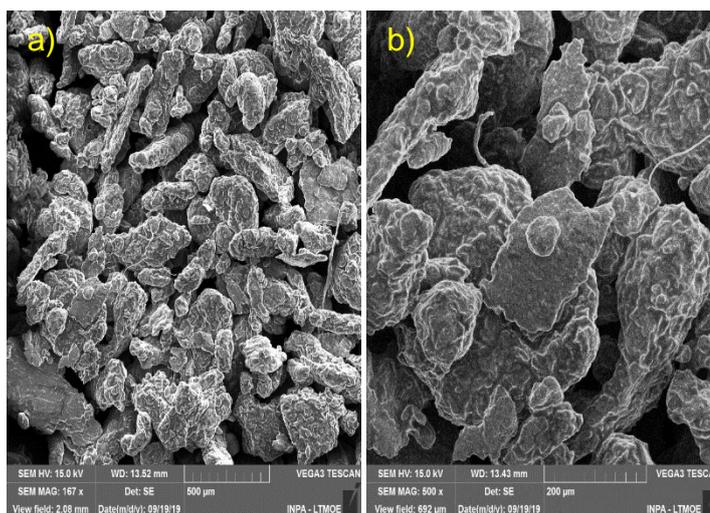


Figura 19: MEV do resíduo de buriti. a) 500 um; b)200 um.

Supõe-se que a superfície tem aspecto rugoso (figura 19a-b), o que pode estar relacionado à presença de óleo e alta porcentagem de extrativos presentes, que também influencia na aglomeração destas, como discutido no item 4.1.2 ¹³⁵.

Nota-se que partículas com diferentes tamanhos estão aglomeradas, provavelmente devido a presença de óleo.

Estudos demonstram que a presença de superfície rugosa em fibras e partículas favorecem uma boa adesão entre os componentes presente nos painéis produzidos com material lignocelulósico ^{2,80,112}.

O tamanho de partícula e a morfologia rugosa da superfície, deveria favorecer uma boa adesão entre o reforço e matriz de painéis produzidos a partir

deste resíduo analisado, porém não é isto que ocorre, o que pode estar relacionado com a quantidade de extrativos presentes, como discutido posteriormente ².

4.2. Painéis produzidos com resíduo de buriti

4.2.1 Caracterização física

A seguir, é apresentado na tabela 9 os resultados das análises físicas realizadas em comparação com os dados da norma NBR 14810, para painéis de média densidade não estruturais para uso interno em condições secas:

Tabela 9: Propriedades físicas dos painéis desenvolvidos com resíduo de buriti.

Compósito	Densidade [Kg/m ³]	Teor de inchamento [%]
Homogêneo de Madeira	735,60 ± 57,21 ^a	5,09 ± 1,83 ^a
Homogêneo de Buriti	788,40 ± 39,48 ^a	3,72 ± 0,81 ^a
Híbrido Madeira/Buriti	741,75 ± 34,30 ^a	4,94 ± 1,24 ^a
ABNT NBR 14810	551 – 750	22 (Máximo)

Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa para o teste de tukey (p<0,05).

Os compósitos homogêneos de madeira, buriti e híbrido não apresentam diferença significativa entre si no quesito de densidade (p valor = 0,352024).

Ambos podem ser classificados como painéis de média densidade, pois estão dentro do valor normativo da ABNT NBR 14810, a qual dita que os valores devem estar entre 551 a 750 Kg/m³.

Os compósitos produzidos não apresentam diferença significativa de inchamento entre si (p valor = 0,356821), o inchamento obtido foi em torno de 5 % e está abaixo do valor máximo de 22 % requisitado pela norma NBR 14810, estando em conformidade com a condições para painéis de média densidade.

O baixo teor de inchamento pode estar relacionado com as características hidrofóbica da matriz poliuretana derivada do óleo da mamona, pois utilizou-se 20 % de resina na camada externa e 18 % na interna¹³⁶.

Quanto maior o teor de resina utilizado na camada externa, haverá um maior recobrimento das partículas com a resina, portanto, a resina atuará como uma camada hidrofóbica na superfície do painel, assim reduzindo a

hidrofilicidade do compósito, e desencadeando a redução do inchamento e absorção de água ⁸⁹.

Esperava-se que o óleo residual nos resíduos de buriti apresentasse mudanças significativas nas propriedades de inchamento quando comparado ao resíduo de madeira, devido ao seu elevado teor de extrativos (~72 %), conforme discutido no tópico 4.1.2, porém observou-se que o elevado teor de extrativos presentes no resíduo de buriti não foi um fator que influenciou no teor de inchamento, pois não houve diferença estatística entre o painel homogêneo de madeira e buriti.

Observa-se que os painéis multicamadas produzidos apresentaram valores de teor inchamento inferiores quando comparado a literatura:

Painéis monocamada produzidos com matéria-prima oriunda da extração do óleo de oliva e 20% de resina poliéster, apresentaram 18 % de teor de inchamento ¹⁰⁹.

Apesar desse resíduo apresentar características comuns com o resíduo de buriti, no quesito de ambos serem oriundos do processo de extração de óleo, observa-se que não houve uma redução tão drástica no inchamento, sugerindo que o efeito esteja mais relacionado com o tipo de resina adotada nessa pesquisa ¹⁰⁹.

Painéis multicamadas de média densidade produzidos com 15 % de resina poliuretana derivada do óleo de mamona na camada externa 12 % na interna, apresentaram teor de inchamento de 23 %, o que foi associado a presença de poros na superfície das fibras de bagaço da cana de açúcar (camada externa) e fibra de coco (interna), que facilitaram a difusão da água por meio de capilaridade ⁸⁵.

Portanto, observou-se que não houve diferença significativa nas propriedades de inchamento ao utilizar resíduo de madeira ou de buriti, mesmo este último apresentando elevado teor de extrativos, mas quando comparado com a literatura sugere que o baixo teor de inchamento dos compósitos produzidos, pode estar relacionado com a alta porcentagem de resina utilizada na camada externa (20 %) e interna (18 %), além das características hidrofóbicas intrínsecas da resina poliuretana derivada do óleo da mamona.

4.2.2 Caracterização mecânica

Para análise dos resultados, foi aplicado o teste de Tukey, com nível de confiança de 95 % com o objetivo de verificar se as amostras são distintas entre si.

Na tabela 10, são apresentados os resultados de MOR (p valor = 0,001204) e MOE (p valor = 0,000201), estatisticamente foi observada diferença significativa entre compósitos

Tabela 10: Propriedades mecânicas dos painéis desenvolvidos com resíduo de buriti.

Compósito	Resistência a flexão estática (MOR) [N/mm ²]	Módulo de elasticidade (MOE) [N/mm ²]
Homogêneo de Madeira	9,11 ± 2,72 ^a	1157,26 ± 257,76 ^a
Homogêneo de Buriti	0,44 ± 0,17 ^b	41,94 ± 6,94 ^b
Híbrido Madeira/Buriti	2,17 ± 0,40 ^c	217,28 ± 26,64 ^c
ABNT NBR 14810	11 (Mínimo)	1800 (Mínimo)

Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa para o teste de tukey (p<0,05)

Fiorelli e colaboradores produziram painéis sanduiches híbridos utilizando bagaço de cana de açúcar e fibra de coco com dois tipos de densidades T1 (500 Kg/m³) e T2 (700 Kg/m³), e verificaram que o aumento da densidade dos painéis proporcionou valores de MOR e MOE significativamente maiores.

Nessa pesquisa, apesar da densidade do painel homogêneo de buriti (788,40 Kg/m³) ser maior que o de madeira (735,60 Kg/m³) e painel híbrido (741,75 Kg/m³), o que poderia implicar em um aumento das propriedades mecânicas, conforme observado por Fiorelli, houve uma redução das propriedades mecânicas de MOR e MOE, que está relacionado com as características intrínsecas do resíduo de buriti, devido este ser oriundo do processo de extração do seu óleo e possuir elevada presença de extrativos.

Analisando os valores de MOR da tabela 10, salienta-se que o painel homogêneo de madeira (9,11 N/mm²) se difere dos painéis de homogêneo de buriti (0,44 N/mm²) e painel híbrido (2,17 N/mm²), idem para os valores de MOE do painel homogêneo de madeira (1157,26 N/mm²), buriti (41,94 N/mm²) e híbrido (217,28 N/mm²).

Observa-se que a presença de madeira no painel híbrido aumentou o valor de MOR e MOE quando comparado ao painel homogêneo de buriti, mas não foi suficiente para sobrepor o valor do painel homogêneo de madeira, indicando que a presença de buriti no painel híbrido tende a diminuir as propriedades mecânicas.

No painel híbrido, a redução das propriedades mecânicas podem estar relacionadas com a interação dos reforços (madeira e buriti) devido a elevada quantidade de extrativos no resíduo de buriti, sendo estes compostos por cera, óleos e graxas, esses componentes podem estar inativando a superfície dos reforços, dificultando a penetração da resina nas partículas da camada externa e interna, uma vez que, no processo de prensagem a quente, o resíduo de óleo retido nas partículas de buriti pode estar migrando para o núcleo do painel, Isso faz com que ele atue como um “desmoldante”, conseqüentemente, favorecendo o decaimento das propriedades mecânicas, devido à baixa adesão entre reforço e matriz ^{97,98}.

Além disso, pode ter ocorrido uma pré-cura do reforço e matriz no processo de formação do colchão, devido a presença dos extrativos, formando ligações fracas que foram quebradas no processo de prensagem a quente, o que resultou em uma baixa adesão entre as camadas ⁹⁷.

Todos os painéis produzidos nessa pesquisa não atenderam os padrões normativos da ABNT NBR 14810 para MOR (11 N/mm²) e MOE (1800 N/mm²), conforme expresso na tabela 10.

4.2.3 Caracterização morfológica

A figura 20, ilustra a imagem de Microscopia Eletrônica do compósito híbrido, na camada interna observa-se a presença de vazios e ausência de resina, o que ressalta a baixa adesão entre reforço e matriz, na camada externa observa-se que o resíduo de buriti e a resina estão uniformes entre si.

Porém observa-se a presença de poros em ambas as camadas. Este fator associado a características intrínsecas do resíduo de buriti (alto teor de extrativos), implicaram em baixos valores de MOR e MOE devido a uma interação fraca entre a resina e o reforço, conforme discutido anteriormente. Isso

pode estar relacionado com o óleo residual que difundiu para as camadas mais internas desencadeando em ligações químicas fracas.

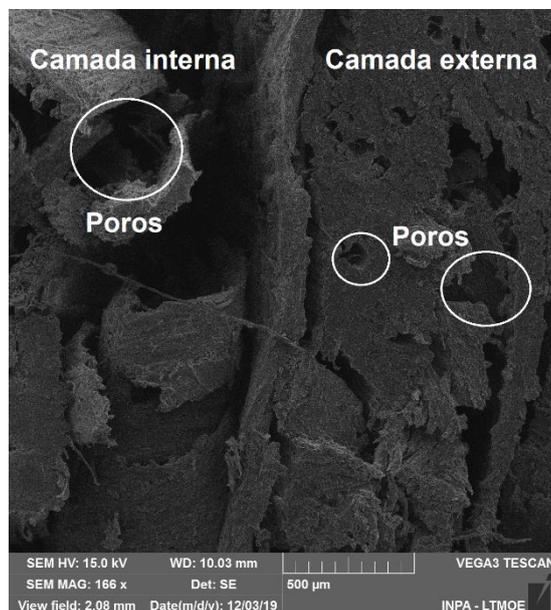


Figura 20. Morfologia do painel híbrido obtido do MEV.

Visando melhorar a adesão entre reforço e matriz, optou-se em lavar o resíduo oriundo da extração de óleo com água em ebulição, além de produzir painéis monocamadas.

4.3. Caracterização do resíduo de andiroba

4.3.1. Caracterização física

Teor de umidade

O resíduo de andiroba *in natura* apresentou teor de umidade de 5,87 %, após lavado apresentou 9,32 % de teor de umidade.

Painéis produzidos com partículas lavadas com água em ebulição apresentaram um aumento nas propriedades mecânicas e físicas, devido a remoção de extrativos, redução de componentes amorfos durante o tratamento em água em ebulição ¹³⁷.

Após o resíduo de andiroba ter sido lavado com água em ebulição, observou-se um aumento no teor de umidade, que pode estar relacionado com a remoção parcial do óleo residual intrínseco a esse tipo de resíduo ¹³⁷.

Distribuição granulométrica

Na figura 21 é ilustrado a distribuição granulométrica do resíduo de andiroba.

Através da figura 21, observa-se que o resíduo de andiroba apresenta predominância de partículas retidas na Tyler 10 (48,95 %).

Segundo a literatura, painéis produzidos com resíduo de óleo de oliva, que possuíam predominância de partículas retidas na Tyler 9 (67,6 %), apresentaram propriedades físicas e mecânicas em conformidade com o padrão normativo europeia (EN) ¹⁰⁹.

Portanto, observa-se que o resíduo de andiroba apresenta similaridade com o resíduo da extração do óleo de oliva ¹⁰⁹.

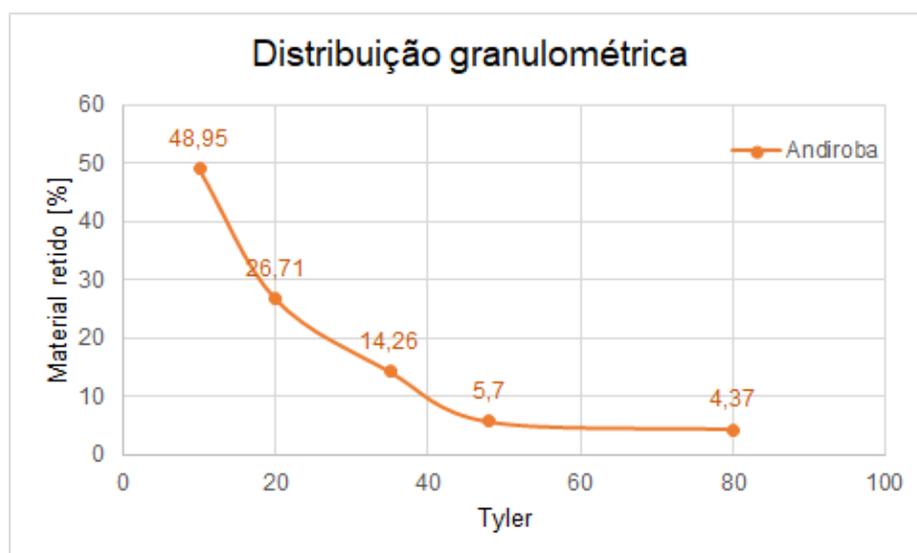


Figura 21: Distribuição granulométrica do resíduo de andiroba.

4.4. Painéis produzidos com resíduo de andiroba

4.4.1 Caracterização física

Conforme observado na tabela 11, não foi possível obter valores de densidade do painel 50/50, pois ocorreram falha no corte das amostras e devido as circunstâncias atuais relacionada a pandemia do covid-19, não foi possível repetir o ensaio.

Tabela 11: Propriedades física dos painéis desenvolvidos com resíduo de andiroba.

Compósito (Madeira/Andiroba)	Densidade [Kg/m ³]	Teor de umidade [%]	Teor de inchamento [%]
50/50	N.C*	8,41 ± 0,57 ^a	9,23 ± 1,88 ^a
30/70	816,94 ± 85,25	8,37 ± 0,85 ^a	8,43 ± 2,31 ^a
ABNT NBR 14810	551 – 750	5 – 13	22 (Máximo)

Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa para o teste de tukey ($p < 0,05$).

*Não consta

O painel 30/70 apresentou densidade de aproximadamente 817 ± 85 Kg/m³, apresentando densidade superior aos parâmetros da norma ABNT NBR 14810 para painéis de média densidade, portanto, não foi classificado como painel de média densidade.

Os teores de umidade dos painéis não apresentaram diferença estatística entre si (p valor = 0,895462), estando o valor em torno de 8 % em conformidade com a norma ABNT NBR 14810. O mesmo caso é observado para os dados referentes ao teor de inchamento, que obtiveram valores em torno de 9 %, e não apresentaram diferença estatística entre si (p valor = 0,359367).

De acordo com os resultados apresentados, o aumento de resíduo de andiroba na produção dos painéis não implicou em diferenças significativas em relação aos resultados de teor de inchamento e umidade.

Painéis produzidos com resíduo do óleo de oliva e resina poliéster apresentaram teor de inchamento de 18% ¹⁰⁹, enquanto que painéis com resina fenol formaldeído e partículas com óleo residual de palma apresentaram 45 % ¹³⁷. Ambos foram tratados com água em ebulição, porém apresentaram teor de inchamento bem superiores ao encontrado nesta pesquisa, o que pode estar relacionado com as características intrínsecas de cada tipo de reforço.

4.4.2 Caracterização mecânica

Na tabela 12, são apresentados os resultados de MOR e MOE referentes ao compósito produzido com andiroba.

Apesar dos resíduos terem sido lavados com água em ebulição, visando melhorar as propriedades de adesão e, conseqüentemente, melhorar as propriedades mecânicas, os compósitos produzidos não atingiram os valores

mínimos adotados pela norma. Possivelmente esses resultados podem estar relacionados a óleo residual, bem como características intrínsecas a esse tipo de resíduo.

Tabela 12: Propriedades mecânicas dos painéis desenvolvidos com resíduo de andiroba.

Compósito (Madeira/Andiroba)	Resistência a flexão estática (MOR) [N/mm ²]	Módulo de elasticidade (MOE) [N/mm ²]
50/50	5,10 ± 0,79 ^a	1063,18 ± 155,09 ^a
30/70	3,44 ± 1,06 ^b	660,17 ± 128,53 ^b
ABNT NBR 14810	11 (Mínimo)	1800 (Mínimo)

Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa para o teste de tukey ($p < 0,05$).

Em relação ao MOR (p valor = 0,001719) e MOE ($p = 5,8967 \cdot 10^{-5}$) os painéis são diferentes entre si.

O compósito 50/50 apresentou valor de MOR (5,10 N/mm²) superior ao compósito 30/70 (3,44 N/mm²), que possui maior porcentagem de andiroba em relação a madeira, indicando que painéis produzidos com menor quantidade de teor de andiroba apresentam melhores propriedades mecânicas.

Os baixos valores de MOR e MOE podem estar relacionados com a baixa compatibilidade e molhabilidade entre reforço e matriz, o que gera uma baixa adesão entre estes ¹³⁷.

Jumhuri e colaboradores avaliaram que o tratamento com água quente em partículas do tronco da árvore de palma apresentaram maiores valores de MOR (7,9 MPa) e MOE (869,93 MPa) quando comparado aos resíduos não tratados que apresentaram MOR de 6 MPa e MOE de 860 MPa, o tratamento com água pode ter removido extrativos e conseqüentemente ter melhorado as propriedades mecânicas ¹³⁸.

O tratamento de partículas com água em ebulição pode favorecer um melhor desempenho mecânico em relação ao MOR e MOE em painéis, porém não foi eficaz para garantir boas características mecânicas em painéis produzidos a partir de partículas que apresentam óleo residual oriundo do fruto da árvore de palma ^{133,134}.

Portanto, o tratamento com água quente no resíduo de andiroba não foi suficiente para que o painel produzido nesta pesquisa atendesse os valores mínimos da norma ABNT NBR 14810.

4.4.3 Caracterização morfológica

Na figura 22a, é representado a imagem de microscopia ótica do compósito 50/50, e na figura 22b do compósito 30/70.

Não foi possível identificar vazios ou fraturas em ambas as morfologias, indicando que, possivelmente, houve uma maior adesão entre reforço e matriz, proporcionando boas propriedades físicas de teor de inchamento e umidade.

Contudo, conforme discutido no tópico 4.3.2 referente à propriedade mecânica, essa adesão pode ser considerada fraca devido aos baixos valores de MOR e MOE, induzindo a necessidade de realizar algum tratamento químicos utilizando solventes ou fazer uso desse resíduo somente como elemento de carga, e não reforço, bem como avaliar placas produzidas sem tratamento com água em ebulição.

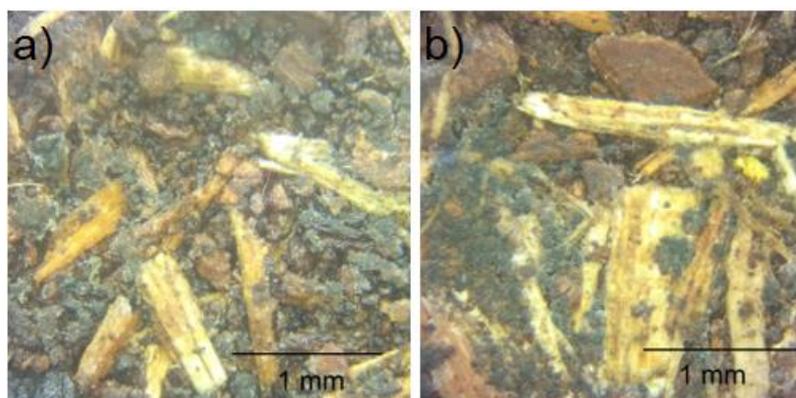


Figura 22: Morfologia dos painéis, a) compósito 50/50; b) compósito 30/70

4.3.4 Inflamabilidade

Para viabilizar o uso de compósito polimérico à base de resíduo lignocelulósico, é necessário que este apresente condições mecânicas, físicas e térmicas satisfatórias e de acordo com padrões normativos.

Nesse sentido, a suscetibilidade a transferência de calor e propagação de chama é um dos fatores que requerem atenção em compósitos que possuem materiais lignocelulósicos ¹³⁹.

Na tabela 13, são apresentados os resultados de inflamabilidade dos compósitos produzidos com resíduos de andiroba. Estes não apresentam

diferença entre si em relação ao tempo de queima ($p=0,621761$), de acordo com os resultados, estes foram classificados como V-0, o que representa que o tempo total de duração da chama nas duas aplicações não foi mais que 50 s, não foi observada pós-luminescência ou pós-chama até a abraçadeira de retenção, tampouco gotejamento da amostra no algodão de teste.

Tabela 13. Inflamabilidade dos painéis desenvolvidos com resíduo de andiroba.

Compósito (Madeira/Andiroba)	Tempo de chama (s)	Classificação
50/50	$11,63 \pm 7,88^a$	V0
30/70	$13 \pm 4,40^a$	V0

Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa para o teste de tukey ($p<0,05$).

A figura 23 representa os corpos de provas após a análise da inflamabilidade.



Figura 23. Amostras após teste de inflamabilidade.

Apesar das inúmeras vantagens que o uso de fibras ou partículas lignocelulósicas propiciam, do ponto de vista sustentável, em aplicações de engenharia, estas podem apresentar menor grau de resistência a inflamabilidade, devido à seus componentes se degradarem em temperaturas menores que os sintéticos ¹³⁹.

A inflamabilidade pode ser definida como a característica de um material reagir ao fogo, possuindo as seguintes etapas: inflamabilidade, propagação de chama, liberação de calor, perda de massa e, por fim, produtos resultantes da combustão, tal como fumaça e cinzas ¹⁴⁰.

Compósito reforçado com fibra de linho e matriz epóxi, queimou em 22 s e perdeu até 92 % de massa, já o compósito reforçado com fibra de vidro

perdeu em torno de até 41 % de massa em 59 s, a fibra sintética favoreceu uma proteção a ignição, enquanto que a fibra lignocelulósica inflamaram mais rápido devido estas serem suscetíveis à ignição e combustão ¹⁴¹.

Compósitos reforçados com linho e matriz de polipropileno (PP) também apresentaram maior tempo de ignição e menor produção de fumaça quando comparado ao PP sem adição de reforço lignocelulósico ¹⁴².

Kalali ressalta que compósitos poliméricos reforçados com material lignocelulósico apresentam uma maior inflamabilidade, limitando suas aplicações, porém tem se verificado alternativas visando melhorar essa propriedade com a utilização de retardadores de chama ¹⁴³.

Portanto, compósitos reforçados com resíduo de andiroba apresentam potencial para serem utilizados em atividades que buscam retardar a inflamabilidade, sendo necessário realizar mais análises para verificar sua aplicabilidade.

5. Conclusão

O resíduo oriundo da extração do óleo de buriti apresentou teor de umidade de 5,16 % e eventos de degradação térmicas em conformidade com a literatura, podendo ser utilizado em processos com temperaturas inferiores a 200 °C.

O resíduo inorgânico desta degradação foi investigado e constatou-se, através da análise de FRX, a alta presença de potássio, que pode indicar resistência à insetos ou possível uso como fertilizantes.

O alto teor de extrativos (72,49 ± 0,69 %) presente no resíduo está relacionado ao óleo residual intrínseco ao processamento dessa matéria prima.

O FTIR indicou ligações referentes ao óleo residual, lignina, celulose e hemicelulose em conformidade com a literatura.

Os painéis produzidos com resíduos de buriti não atenderam os requisitos mínimos para Módulo de resistência à flexão estática e Módulo de elasticidade da norma ABNT NBR 148010, provavelmente devido ao elevado teor de extrativos, implicando em baixa adesão entre reforço e matriz.

Observou-se que o resíduo de andiroba *in natura* apresentou teor de umidade de 5,87 % e após serem lavados em água em ebulição, houve um aumento no teor de umidade (9,32 %), que pode estar relacionado com a remoção do óleo residual intrínseco a esse tipo de resíduo.

Apesar dos resíduos de andiroba terem sido lavados com água em ebulição, esse tratamento não foi eficaz para que os painéis produzidos atendessem os requisitos da norma ABNT NBR 14810. No entanto, estes foram classificados como V0 de acordo com a norma ASTM D3801, indicando seu potencial como resistente a situações de inflamabilidade.

Finalmente, a investigação da utilização desses resíduos em painéis de média densidade fornece informações ainda não reportadas na literatura, contribuindo com trabalhos futuros que visam a utilização desses resíduos em painéis de média densidade.

Sugestões para trabalhos futuros

Visando sugerir a aplicação desses resíduos como reforço em painéis e que estes atendam requisitos normativos para painéis de média densidade, tem-se como proposta para trabalhos futuros:

- Estudar a possibilidade de utilizar tratamento químico e/ou mecânico nas superfícies desses resíduos, visando reduzir a quantidade de óleo residual e extrativos.
- Verificar a interação entre reforço e matriz utilizando resinas polares, a fim de aumentar a compatibilidade entre eles.
- Analisar a influência do pH das partículas nas ligações químicas do compósito produzido.
- Avaliar o desempenho acústico e térmico, visando o seu uso na construção civil.

Referências

1. Fiorelli, J. *et al.* Multilayer Particleboard Produced with Agroindustrial Waste and Amazonia Vegetable Fibres. *Waste and Biomass Valorization* **9**, 1151–1161 (2018).
2. Mesquita, A. de L. *et al.* Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. *Ind. Crops Prod.* **112**, 644–651 (2018).
3. Gomes, J. I. & Sampaio, S. S. Aproveitamento de Resíduos de Madeira em Três Empresas Madeireiras do Estado do Pará. *Comunicado técnico* 102 5 (2004).
4. Souza, A. M. *et al.* Wood-based composite made of wood waste and epoxy based ink-waste as adhesive: A cleaner production alternative. *J. Clean. Prod.* **193**, 549–562 (2018).
5. Sampaio, M. B. & Carrazza, L. R. Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do Buriti (*Mauritia flexuosa*). *Inst. Soc. Popul. e Nat.* 75 (2012).
6. Resende, L. M., Franca, A. S. & Oliveira, L. S. Buriti (*Mauritia flexuosa* L.F.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. *Food Chem.* **270**, 53–60 (2019).
7. Ferraz, I. D. K., Camargo, J. L. C. & Sampaio, P. T. B. Manual de sementes da Amazônia: Andiroba *Carapa guianensis* Aubl. *Carapa procera* D. C. Meliaceae. **Fascículo**, 8 (2003).
8. IBGE, Instituto brasileiro de geografia e estatística. Quantidade colhida (Toneladas) de semente de andiroba. (2006). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/816#resultado>. (Acesso em: 30 de Setembro 2020)
9. Barbosa, A. de P. *Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti*. (2011).
10. da Cruz Demosthenes, L. C. *et al.* Evaluation of Buriti Fabric as Reinforcement of Polymeric Matrix Composite for Ballistic Application as Multilayered Armor System. in 177–183 (Springer, Cham, 2019).

doi:10.1007/978-3-030-10383-5_20

11. Lima, S. N. P. *Caracterização das fibras de buriti e sua aplicabilidade como adsorvente de metais e corantes*. (2016).
12. Bovi, G. G. *óleo de buriti (Mauritia Flexuosa L.) nanoemulsionado: produção por método de baixa energia, caracterização físico-química das dispersões e incorporação em bebidas isotônicas*. (2015).
13. Baldissera, M. D. *et al.* Trypanocidal activity of the essential oils in their conventional and nanoemulsion forms: In vitro tests. *Exp. Parasitol.* **134**, 356–361 (2013).
14. KLAUCK, V. *et al.* Insecticidal and repellent effects of tea tree and andiroba oils on flies associated with livestock. *Med. Vet. Entomol.* **28**, 33–39 (2014).
15. Tiemi Kimura, V. *et al.* The effect of andiroba oil and chitosan concentration on the physical properties of chitosan emulsion film. *Polímeros* **26**, 168–175 (2016).
16. Costa, C. *et al.* Decrease of methyl methacrylate miniemulsion polymerization rate with incorporation of plant oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **118**, 93–103 (2016).
17. Nakanishi, E. Y. *et al.* Study of the production process of 3-layer sugarcane-bamboo-based particleboards. *Constr. Build. Mater.* **183**, 618–625 (2018).
18. Jr Callister, W. D. & Rethwisch, D. G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. (2013).
19. Lindahl, P., Robèrt, K.-H., Ny, H. & Broman, G. Strategic sustainability considerations in materials management. *J. Clean. Prod.* **64**, 98–103 (2014).
20. The Economist. Triple bottom line. (2009). Disponível em: <https://www.economist.com/news/2009/11/17/triple-bottom-line>. (Acesso em: 14 Outubro de 2019)
21. Zimmer, A. T. & Ha, H. People, planet and profit: Unintended consequences of legacy building materials. *J. Environ. Manage.* **204**, 472–485 (2017).
22. Santos, N. S., Silva, M. R. & Alves, J. L. Reinforcement of a biopolymer matrix by lignocellulosic agro-waste. in *Procedia Engineering* **200**, 422–427 (Elsevier Ltd, 2017).

23. Chalapud, M. C. *et al.* Biobased particleboards based on rice husk and soy proteins: Effect of the impregnation with tung oil on the physical and mechanical behavior. *Constr. Build. Mater.* **230**, 116996 (2020).
24. Cattani, I. M. & Baruque-Ramos, J. Brazilian buriti palm fiber (*Mauritia flexuosa* mart.). in *RILEM Bookseries* **12**, 89–98 (Kluwer Academic Publishers, 2016).
25. van der Hoek, Y., Solas, S. Á. & Peñuela, M. C. The palm *Mauritia flexuosa*, a keystone plant resource on multiple fronts. *Biodivers. Conserv.* **28**, 539–551 (2019).
26. Pantoja, S. *et al.* High-Quality Biodiesel Production from Buriti (*Mauritia flexuosa*) Oil Soapstock. *Molecules* **24**, 94 (2018).
27. Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da extração vegetal e da silvicultura - PEVS. (2018). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2018>. (Acesso em: 14 de Outubro de 2019)
28. Fruto do buriti. Disponível em: <https://fbssan.org.br/2017/05/a-valorizacao-de-nossas-culturas-alimentares-e-o-direito-ao-gosto/buriti-wild-harvest-enlarged/>. (Acesso em: 7 de Outubro de 2019)
29. Pereira Lima, R. *et al.* Murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) butter and oils of buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.) and pracaxi (*Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze) can be used for biodiesel production: Physico-chemical properties and thermal and kinetic studies. *Ind. Crops Prod.* **97**, 536–544 (2017).
30. Koolen, H. H. F. F., Da Silva, F. M. A. A., Gozzo, F. C., De Souza, A. D. L. A. Q. L. A. D. L. A. Q. L. & De Souza, A. D. L. A. Q. L. A. D. L. A. Q. L. Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) by UPLC-ESI-MS/MS. *Food Res. Int.* **51**, 467–473 (2013).
31. de Oliveira Carvalho, J. & Orlanda, J. F. F. Heat stability and effect of pH on enzyme activity of polyphenol oxidase in buriti (*Mauritia flexuosa* Linnaeus f.) fruit extract. *Food Chem.* **233**, 159–163 (2017).
32. Milanez, J. T., Neves, L. C., Colombo, R. C., Shahab, M. & Roberto, S. R. Bioactive compounds and antioxidant activity of buriti fruits, during the postharvest, harvested at different ripening stages. *Sci. Hortic.*

- (Amsterdam). **227**, 10–21 (2018).
33. da Cruz Demosthenes, L. C. *et al.* Thermal and structural characterization of buriti fibers and their relevance in fabric reinforced composites. *J. Mater. Res. Technol.* (2019). doi:10.1016/j.jmrt.2019.10.036
 34. Luiz Ornaghi Júnior, H., Gustavo Oliveira Moraes, Á. DE, Poletto, M., José Zattera, A. & Campos Amico, S. *Chemical composition, tensile properties and structural characterization of buriti fiber. Cellulose chemistry and technology Cellulose Chem. Technol* **50**, (2016).
 35. De, S. *et al.* *Celulose de buriti (Mauritia vinifera Martius) Buriti (Mauritia vinifera Martius) pulp.* **63**, (2003).
 36. Albuquerque, M. L. S., Guedes, I., Alcantara, P. & Moreira, S. G. C. Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. *Vib. Spectrosc.* **33**, 127–131 (2003).
 37. Pimentel, T. A. P. F. *et al.* Preparation and characterization of blends of recycled polystyrene with cassava starch. *J. Mater. Sci.* **42**, 7530–7536 (2007).
 38. Monteiro, S. N. *et al.* Study of the buriti waste fiber as a possible reinforcement of polyester composites. in *Proceedings of the 2008 Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, REWAS 2008* 517–522 (2008).
 39. Monteiro, S. N., Margem, F. M., Oliveira, M. P. & Altoé, G. R. Izod impact tests with polyester matrix reinforced with buriti fibers. in *Materials Science Forum* **775–776**, 330–335 (Trans Tech Publications Ltd, 2014).
 40. Tensile Strength of Polyester Composites Reinforced with Thinner Buriti Fibers | Scientific.Net. Disponível em: <https://www.scientific.net/MSF.805.466>. (Acesso em: 24 de Julho de 2020)
 41. Altoé, G. R., Loiola, R. L., Margem, F. M., Simonassi, N. & Monteiro, S. N. Tensile behavior of epoxy composites reinforced with continuous and thinner buriti fibers. in *TMS Annual Meeting* 159–165 (2013).
 42. Altoé, G. R., Margem, F. M., Monteiro, S. N., Faria, R. da T. & Cordeiro, T. C. Thermal Characterization of Epoxy Matrix Reinforced with Buriti Fibers by the Photoacoustic Technique. in *Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2014* 441–447 (John Wiley & Sons, Inc., 2014). doi:10.1002/9781118888056.ch51

43. Gomes, P. H. de O. *Avaliação do potencial da torta de buriti (Mauritia flexuosa L.) para obtenção de bioetanol de segunda geração.* (2016).
44. Vale De Sousa, S. A. *et al.* Design and characterization of biocomposites from poly(lactic acid) (PLA) and buriti petiole (Mauritia flexuosa). *J. Renew. Mater.* **5**, 251–257 (2017).
45. Brambilla, V. C. *et al.* Development and characterization of PLA/buriti fibre composites - Influence of fibre and coupling agent contents. *Polym. Polym. Compos.* **25**, 143–152 (2017).
46. Mora Espinosa, W. J., Ramón Valencia, B. A. & Moreno Contreras, G. G. Physical-Mechanical Characterization of Moriche Natural Fibre (Mauritia flexuosa) and Composite with Bio-epoxy Resin. *Strojniški Vestn. – J. Mech. Eng.* **65**, 181–188 (2019).
47. Leão, K. M. M. *et al.* Physicochemical characterization and antimicrobial activity in novel systems containing buriti oil and structured lipids nanoemulsions. *Biotechnol. Reports* **24**, e00365 (2019).
48. de Souza, L. M. *et al.* Comparison of the quality of buriti (Mauritia flexuosa l. f.) petiole tissues for combustion and carbonization. *Cienc. Florest.* **30**, 516–531 (2020).
49. Homma, A. K. O. O histórico do Sistema Extrativo e a Extração de óleo de Andiroba Cultivado no Município de Tomé-Açu, Estado do Pará. **1**, 26 (2003).
50. Souza, C. R. De, Lima, R. M. B. De, Azevedo, C. P. & Rossi, L. M. B. Andiroba (Carapa guianensis Aubl.). **1**, 21 (2006).
51. Portal Amazônia. Árvore andiroba. (2020). Disponível em: <https://portalamazonia.com/sustentabilidade/iniciativa-de-reflorestamento-da-amazonia-marca-a-comemoracao-pelo-dia-da-arvore>. (Acesso em: 30 de Janeiro de 2021)
52. Costa, J. R. & Morais, R. R. de. Carapa guianensis Aubl. (Andirobeira) em Sistemas Agroflorestais. **1**, 28 (2013).
53. Embrapa Amazônia Oriental. Andiroba - Características Gerais da Espécie Carapa guianensis. *Agência de informação Embrapa*. Disponível em: https://dendro.cnptia.embrapa.br/Agencia1/AG01/arvore/AG01_32_309200411812.html. (Acesso em: 9 de Setembro de 2020)
54. Londres, M., Schulze, M., Staudhammer, C. L. & Kainer, K. A. Population

- Structure and Fruit Production of *Carapa guianensis* (Andiroba) in Amazonian Floodplain Forests. *Trop. Conserv. Sci.* **10**, 194008291771883 (2017).
55. Lorenzi, H. Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 384 (2002).
 56. Lima, K. F., Batista, M. J. N., Schmal, B. & Schamal, P. Manual de boas práticas de manejo florestal não madeireiro. **1**, 56 (2011).
 57. Mendonça, A. P. & Ferraz, I. D. K. Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. *ACTA Amaz.* **37**, 353–364 (2007).
 58. Lewkowitsch, J. Oil from 'carapa guyanensis' (*Carapa procera*, D.C.). in *The Analyst* **34**, 10–11 (The Royal Society of Chemistry, 1909).
 59. Lavie, D., Levy, E. C. & Zelnik, R. The constituents of *Carapa guianensis* Aubl. and their biogenetic relationship. *Bioorg. Chem.* **2**, 59–64 (1972).
 60. Bauch, J. & Dunisch, O. Comparison of growth dynamics and wood characteristics of plantation-grown and primary forest *Carapa guianensis* in Central Amazonia. *IAWA J.* **21**, 321–333 (2000).
 61. Costa-Silva, J. H. *et al.* Acute and subacute toxicity of the *Carapa guianensis* Aublet (Meliaceae) seed oil. *J. Ethnopharmacol.* **116**, 495–500 (2008).
 62. De Barros, F. N. *et al.* In vitro efficacy of oil from the seed of *Carapa guianensis* (andiroba) in the control of *Felicola subrostratus*. *Rev. Bras. Farmacogn. Brazilian J. Pharmacogn.* **22**, 1130–1133
 63. Vendramini, M. C. R. *et al.* Action of andiroba oil (*Carapa guianensis*) on *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806) (Acari: Ixodidae) semi-engorged females: Morphophysiological evaluation of reproductive system. *Microsc. Res. Tech.* **75**, 1745–1754 (2012).
 64. Roma, G. C. *et al.* Effects of andiroba (*Carapa guianensis*) oil in ticks: Ultrastructural analysis of the synganglion of *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806) (Acari: Ixodidae). *Acta Trop.* **141**, 7–15 (2015).
 65. Volpato, A. *et al.* Influence of rosemary, andiroba and copaiba essential oils on different stages of the biological cycle of the tick *Rhipicephalus microplus* *in vitro*. *J. Essent. Oil Res.* **27**, 244–250 (2015).
 66. Senhorini, G. A., Zawadzki, S. F., Farago, P. V., Zanin, S. M. W. &

- Marques, F. A. Microparticles of poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) loaded with andiroba oil: Preparation and characterization. *Mater. Sci. Eng. C* **32**, 1121–1126 (2012).
67. Viscosimetric Study of Andiroba Oil-based Polyols (Carapa Guianensis Aubl). doi:10.5935/1984-6835.20160067
68. Jesus, F. L. M. *et al.* Preparation of a Nanoemulsion with Carapa guianensis Aublet (Meliaceae) Oil by a Low-Energy/Solvent-Free Method and Evaluation of Its Preliminary Residual Larvicidal Activity. *Evidence-based Complement. Altern. Med.* **2017**, (2017).
69. Fortini, L. B. & Carter, D. R. The economic viability of smallholder timber production under expanding açai palm production in the Amazon Estuary. *J. For. Econ.* **20**, 223–235 (2014).
70. Gioda, A. Residential fuelwood consumption in Brazil: Environmental and social implications. *Biomass and Bioenergy* **120**, 367–375 (2019).
71. Ferro, F. S., Silva, D. A. L., Rocco Lahr, F. A., Argenton, M. & González-García, S. Environmental aspects of oriented strand boards production. A Brazilian case study. *J. Clean. Prod.* **183**, 710–719 (2018).
72. Ferro, F. S., Silva, D. A. L., Icimoto, F. H., Lahr, F. A. R. & González-García, S. Environmental Life Cycle Assessment of industrial pine roundwood production in Brazilian forests. *Sci. Total Environ.* **640–641**, 599–608 (2018).
73. Numazawa, C. T. D., Numazawa, S., Pacca, S. & John, V. M. Logging residues and CO₂ of Brazilian Amazon timber: Two case studies of forest harvesting. *Resour. Conserv. Recycl.* **122**, 280–285 (2017).
74. Industria Lippel: Soluções Integradas para Biomassa. Tipos de Resíduos. Disponível em: <http://www.lippel.com.br/br/tipos-de-residuos.html>. (Acesso em: 7 de Outubro de 2019)
75. Daian, G. & Ozarska, B. Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector. *J. Clean. Prod.* **17**, 1594–1602 (2009).
76. Mendoza Martinez, C. L., Sermyagina, E., de Cassia Oliveira Carneiro, A., Vakkilainen, E. & Cardoso, M. Production and characterization of coffee-pine wood residue briquettes as an alternative fuel for local firing systems in Brazil. *Biomass and Bioenergy* **123**, 70–77 (2019).

77. Marzi, T. Nanostructured materials for protection and reinforcement of timber structures: A review and future challenges. *Constr. Build. Mater.* **97**, 119–130 (2015).
78. Cetiner, I. & Shea, A. D. Wood waste as an alternative thermal insulation for buildings. *Energy Build.* **168**, 374–384 (2018).
79. Associação brasileira de normas técnicas. ABNT NBR 14810 - Painéis de partículas de média densidade Parte 1: Terminologia. 5 (2003). Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/ufam/norma.aspx?ID=307637>. (Acesso em: 7 de Outubro de 2019)
80. Rebelo, V. *et al.* Effects of mercerization in the chemical and morphological properties of amazon piassava. **29**, (2019).
81. Iwakiri, S., Vianez, B. F., Weber, C., Trianoski, R. & Almeida, V. C. Evaluation of the properties of particleboard made from sawmill waste of nine tropical wood species of Amazon. *Acta Amaz.* **42**, 59–64 (2012).
82. Torrell, R., Hillig, É., Corradi, G. M. & Iwakiri, S. Influência da adição de serragem nas propriedades tecnológicas de painéis de madeira aglomerada de Pinus taeda. *AMBIÊNCIA* **9**, 57–72 (2013).
83. Sanches, F. L., Hillig, É., Iwakiri, S. & Napoli, L. M. Resistência de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de espécies florestais tradicionais e não tradicionais. *Ciência Florest.* **26**, 559–569 (2016).
84. Birman, V. & Kardomateas, G. A. Review of current trends in research and applications of sandwich structures. *Composites Part B: Engineering* **142**, 221–240 (2018).
85. Fiorelli, J., Bueno, S. B. & Cabral, M. R. Assessment of multilayer particleboards produced with green coconut and sugarcane bagasse fibers. *Constr. Build. Mater.* **205**, 1–9 (2019).
86. Leandro Belini, U. *et al.* Painel multicamada com reforço de partículas de bambu. **42**, (2014).
87. Sulaiman, N. S. *et al.* Partial replacement of urea-formaldehyde with modified oil palm starch based adhesive to fabricate particleboard. *Int. J. Adhes. Adhes.* **84**, 1–8 (2018).
88. Marra, F. S. *Technology of wood bonding: principles in practice.* (1992).
89. Iwakiri, S., de Matos, J. L. M., Trianoski, R. & Prata, J. G. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de Melia Azedarach

- (Cinamomo) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. *Cerne* **18**, 465–470 (2012).
90. Maloney, T. M. The Family of Wood Composite Materials. *For. Prod. J.* **46**, 19–26 (1996).
 91. Salem, M. Z. M., Böhm, M., Srba, J. & Beránková, J. Evaluation of formaldehyde emission from different types of wood-based panels and flooring materials using different standard test methods. *Build. Environ.* **49**, 86–96 (2012).
 92. Dias, F. M. & Lahr, F. A. R. Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. *Mater. Res.* **7**, 413–420 (2004).
 93. CHIERICE, G. O. Estudos de caracterização química e síntese de resinas poliuretanas utilizadas em bloqueio e pressurização em cabos telefônicos. In: Encontro sobre materiais na indústria eletrônica e de telecomunicações Emiet. (1984).
 94. Ogunniyi, D. S. Castor oil: A vital industrial raw material. *Bioresour. Technol.* **97**, 1086–1091 (2006).
 95. PEREIRA, P. H. L. Estudo das propriedades físico-químicas da poliuretana derivada do óleo de mamona com potencial aplicação na área médica. 117 (2010).
 96. Negrão, W. H., Silva, S. A. M. da, Christoforo, A. L. & Lahr, F. A. R. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. *Ambient. Construído* **14**, 103–112 (2014).
 97. Nemli, G., Gezer, E. D., Yıldız, S., Temiz, A. & Aydın, A. Evaluation of the mechanical, physical properties and decay resistance of particleboard made from particles impregnated with *Pinus brutia* bark extractives. *Bioresour. Technol.* **97**, 2059–2064 (2006).
 98. Hashim, R., Boon, J. G., Sulaiman, O., Kawamura, F. & Lee, C. Y. Evaluation of the decay resistance properties of *Cerbera odollam* extracts and their influence on properties of particleboard. *Int. Biodeterior. Biodegradation* **63**, 1013–1017 (2009).
 99. Carvalho Araujo, C. K., De Campos, C. I., Camargo, S. K. de C. A. & Camargo, B. S. Caracterização mecânica de painéis particulados de média densidade produzidos a partir de resíduos de madeira. *Rev. Gestão Ind.*

- 15**, 197–211 (2019).
100. Instituto brasileiro de árvores. Ibá - Histórico produção de painéis de madeira. (2018). Disponível em: <https://www.iba.org/historico-de-desempenho#paineis-1>. (Acesso em: 7 de Outubro de 2019)
 101. Indústria Brasileira de árvores. *Cenários ibá: Estatística do 4º trimestre de 2019*. (2019).
 102. González-García, S. *et al.* Cross-country comparison on environmental impacts of particleboard production in Brazil and Spain. *Resour. Conserv. Recycl.* **150**, 104434 (2019).
 103. Klímek, P., Wimmer, R., Meinschmidt, P. & Kúdela, J. Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. *Ind. Crops Prod.* **111**, 270–276 (2018).
 104. Qian, T., Dang, B., Chen, Y., Sun, Q. & Jin, C. Significantly improved mechanical properties of the self-assembled layered lignocelluloses material via grinding and hot pressing. *Mater. Chem. Phys.* **213**, 502–507 (2018).
 105. TAPPI. T. 204 cm-97: Solvent extractives of wood and pulp. (2004).
 106. Leão, M. A. Fibras de licuri: Um reforço alternativo de compósitos poliméricos. (Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008).
 107. TAPPI. T.211: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: Combustion at 525 °C. (2002).
 108. Zau, M. D. L., Vasconcelos, R. P. de, Giacon, V. M. & Lahr, F. A. R. Chemical, physical and mechanical properties of particleboard produced with Amazon wood waste – Cumaru (*Dipteryx Odorata*) and castor oil based polyurethane adhesive. *Polímeros.* **24**, 726–732 (2014).
 109. Farag, E., Alshebani, M., Elhrari, W., Klash, A. & Shebani, A. Production of particleboard using olive stone waste for interior design. *J. Build. Eng.* **29**, 101119 (2020).
 110. Andrade, N. C., Sabino, T. P. F., Terra, I. C. de C., Mendes, L. M. & Mendes, R. F. Painéis MDP produzidos com resíduos de extração de celulose. *Rev. Bras. Ciências Agrárias* **14**, 9 (2019).
 111. ASTM. ASTM D3801-20a: Standard Test Method for Measuring the Comparative Burning Characteristics of Solid Plastics in a Vertical Position. (2020).

112. Barbosa, A. de M., Rebelo, V. S. M., Martorano, L. G. & Giacon, V. M. Characterization of açai waste particles for civil construction use. *Matéria (Rio Janeiro)* **24**, (2019).
113. Wechsler, A. *et al.* Macadamia (*Macadamia integrifolia*) shell and castor (*Rícinos communis*) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard. *Mater. Des.* **50**, 117–123 (2013).
114. Fiorelli, J. *et al.* Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. *Ind. Crops Prod.* **40**, 69–75 (2012).
115. Bhatia, S. K. *et al.* Recent developments in pretreatment technologies on lignocellulosic biomass: Effect of key parameters, technological improvements, and challenges. *Bioresource Technology* **300**, (2020).
116. Collard, F. X. & Blin, J. A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **38**, 594–608 (2014).
117. Nemli, G., Kirci, H. & Temiz, A. Influence of impregnating wood particles with mimosa bark extract on some properties of particleboard. *Ind. Crops Prod.* **20**, 339–344 (2004).
118. Schuchardt, U. *et al.* Piassava fibers. (*Attalea funifera*) .1. Chemical analysis, extraction and reactivity of its lignin. *Web Sci.* (1995).
119. Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T. & Cardona, F. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Compos. Part B Eng.* **43**, 2883–2892 (2012).
120. Mesquita, R. G. de A. *Inclusão de materiais lignocelulósicos na produção de compósitos plásticos.* (2012).
121. Guimarães Júnior, M., Novack, K. M., Botaro, V. R. & Protásio, T. de P. Caracterização de polpas de bambu modificadas quimicamente visando melhorias em suas interações interfaciais para aplicações em compósitos. *Revista Iberoamericana de Polímeros* (2012).
122. Fernandes, L. A. *et al.* Fontes de potássio na produtividade, nutrição mineral e bromatologia do maxixe do reino. (2013).
123. Poletto, M. & Zattera, A. J. Materials Produced from Plant Biomass. Part

- III: Degradation Kinetics and Hydrogen Bonding in Lignin. (2013). doi:10.1590/S1516-14392013005000112
124. Deboni, T. L., Simioni, F. J., Brand, M. A. & Lopes, G. P. Evolution of the quality of forest biomass for energy generation in a cogeneration plant. *Renew. Energy* **135**, 1291–1302 (2019).
125. Li, F. *et al.* Exploration of potassium migration behavior in straw ashes under reducing atmosphere and its modification by additives. *Renew. Energy* **145**, 2286–2295 (2020).
126. Silveira, Luiz vaz de arruda R. *Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de eucalyptus grandis w. Hill ex maiden cultivadas em solução nutritiva.* (2000).
127. Rebelo, V. S. M. Efeitos da mercerização em fibras de Piaçava Amazônica (Leopoldinia piassaba) para produção de painéis de partículas de média densidade. (Universidade Federal do Amazonas, 2016).
128. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H. & Zheng, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel* **86**, 1781–1788 (2007).
129. Henrique, M. A., Silvério, H. A., Flauzino Neto, W. P. & Pasquini, D. Valorization of an agro-industrial waste, mango seed, by the extraction and characterization of its cellulose nanocrystals. *J. Environ. Manage.* **121**, 202–209 (2013).
130. Long, J. *et al.* Simultaneous delignification and selective catalytic transformation of agricultural lignocellulose in cooperative ionic liquid pairs. *Green Chem.* **14**, 1935 (2012).
131. Wang, Y., Liu, W., Zhang, L. & Hou, Q. Characterization and comparison of lignin derived from corncob residuesto better understand its potential applications. *Int. J. Biol. Macromol.* **134**, 20–27 (2019).
132. Albuquerque, M. L. S., Guedes, I., Alcantara, P. & Moreira, S. G. C. Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. *Vib. Spectrosc.* **33**, 127–131 (2003).
133. Rego, F., Dias, A. P. S. D., Casquilho, M., Rosa, F. C. & Rodrigues, A. Fast determination of lignocellulosic composition of poplar biomass by thermogravimetry. *Biomass and Bioenergy* **122**, 375–380 (2019).
134. Lei, Z. *et al.* Thermal pyrolysis characteristics and kinetics of hemicellulose

- isolated from *Camellia Oleifera* Shell. *Bioresour. Technol.* **282**, 228–235 (2019).
135. Bispo-Jr, A. G. *et al.* Red-light-emitting polymer composite based on PVDF membranes and Europium phosphor using Buriti Oil as plasticizer. *Mater. Chem. Phys.* **217**, 160–167 (2018).
 136. Sawpan, M. A. Polyurethanes from vegetable oils and applications: a review. *Journal of Polymer Research* **25**, 1–15 (2018).
 137. Izani, M. N., Paridah, M., Nor, M. M. & Anwar, U. Properties of medium-density fibreboard (mdf) made from treated empty fruit bunch of oil palm. *J. Trop. For. Sci.* **2**, 175–183 (2013).
 138. Jumhuri, N. *et al.* Effect of treated particles on the properties of particleboard made from oil palm trunk. *Mater. Des.* **64**, 769–774 (2014).
 139. Kim, N. K., Dutta, S. & Bhattacharyya, D. A review of flammability of natural fibre reinforced polymeric composites. *Composites Science and Technology* **162**, 64–78 (2018).
 140. Price, D., Anthony, G. & Carty, P. Introduction: polymer combustion, condensed phase pyrolysis and smoke formation. in *Fire Retardant Materials* 1–30 (Elsevier, 2001). doi:10.1533/9781855737464.1
 141. Chai, M. W., Bickerton, S., Bhattacharyya, D. & Das, R. Influence of natural fibre reinforcements on the flammability of bio-derived composite materials. *Compos. Part B Eng.* **43**, 2867–2874 (2012).
 142. Helwig, M. & Paukszta, D. Flammability of composites based on polypropylene and flax fibers. *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. Technol. Sect. A Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **354**, 373–380 (2000).
 143. Kalali, E. N., Zhang, L., Shabestari, M. E., Croyal, J. & Wang, D. Y. Flame-retardant wood polymer composites (WPCs) as potential fire safe bio-based materials for building products: Preparation, flammability and mechanical properties. *Fire Saf. J.* **107**, 210–216 (2019).