UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

**JÉSSICA THAIS MÜZEL LIMA**

# UTILIZAÇÃO DE COROAS DE ABACAXI E DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DO BAMBU NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITO

**Botucatu**

**2025**

**JÉSSICA THAIS MÜZEL LIMA**

# UTILIZAÇÃO DE COROAS DE ABACAXI E DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DO BAMBU NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

Orientador(a): Profª Drª Elen Ap. Martines Morales

Coorientador(a): Profª Drª Maristela Gava

**Botucatu**

**2025**

M994u

Müzel Lima, Jéssica Thais
Utilização de coroas de abacaxi e de resíduos do processamento do bambu na produção de compósito / Jéssica Thais Müzel Lima. -- Botucatu, 2025
72 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientadora: Elen Ap. Martines Morales
Coorientadora: Maristela Gava

1. Abacaxi. 2. Pinus. 3. Bambu. 4. Compósitos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**Câmpus de Botucatu**

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: UTILIZAÇÃO DE COROAS DE ABACAXI E DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DO BAMBU NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITO

**AUTORA: JÉSSICA THAIS MÜZEL LIMA**
**ORIENTADORA: ELEN APARECIDA MARTINES MORALES**
**COORIENTADORA: MARISTELA GAVA**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciência Florestal, pela Comissão Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
ELEN APARECIDA MARTINES MORALES
Data: 15/09/2025 10:50:06-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Dr.ª ELEN APARECIDA MARTINES MORALES (Participaçao Virtual)
Ciencia e Tecnologia / UNESP Campus de Itapeva

gov.br Documento assinado digitalmente
MARIA FATIMA DO NASCIMENTO
Data: 05/09/2025 16:43:13-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Pesquisadora Dr.ª MARIA FÁTIMA DO NASCIMENTO (Participaçao Virtual)
Engenharias de Estruturas / Universidade de São Paulo

gov.br Documento assinado digitalmente
VICTOR ALMEIDA DE ARAUJO
Data: 04/09/2025 18:15:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. VICTOR ALMEIDA DE ARAUJO (Participaçao Virtual)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Botucatu, 03 de setembro de 2025

Dedico este trabalho à minha família, que sob
muito sol, fizeram-me chegar até aqui, na sombra.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, por estar sempre presente me dando sabedoria para ultrapassar os obstáculos ao longo desse trabalho.

Agradeço à minha mãe, por estar sempre ao meu lado me orientando com amor.

Aos meus queridos amigos, em especial, Juliano e a Gabriela que estiveram de perto acompanhando minha jornada, obrigada pela paciência e por escutar meus desabafos em momentos difíceis.

Agradeço também aos meus tios Gê e Valda, por estarem presentes e sempre disponíveis para mim quando precisei de transporte para outra cidade.

A Elen, minha querida orientadora e amiga, obrigada pela grande ajuda e pelos ensinamentos tão preciosos para a realização deste trabalho e também por me ajudar a crescer tanto profissionalmente quanto como pessoa, me dando ótimos conselhos.

Ao técnico Alex, pela sua indispensável ajuda na produção das chapas e nos ensaios.

Agradeço também a Laura, amiga de pesquisa, sua ajuda foi fundamental nesse trabalho.

A professora Maria Fátima (Fati), pela enorme disponibilidade e paciência em nos ajudar, seus ensinamentos na fabricação das chapas foram de extrema importância para o resultado final, sou muito grata.

E também agradeço a Professora Maristela Gava pela co-orientação, apoio e ensinamentos durante esse trabalho.

As amigas Jasmine e Carlla, que mesmo distantes foram companheiras constantes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

E por fim agradeço novamente a Deus por ter permitido todas estas pessoas em minha vida.

“Espera pelo Senhor, tem bom ânimo, e fortifique-se o teu coração; espera, pois, pelo Senhor.” (Salmos 27:14)

## RESUMO

Atualmente, a crescente demanda por materiais compósitos derivados de fibras vegetais tem ganhado destaque, impulsionada pela crescente conscientização sobre os impactos ambientais e a importância do desenvolvimento sustentável. A inovação nesse campo concentra-se na utilização de matérias-primas ecológicas, renováveis e de baixo impacto. Nesse contexto, este estudo visa avaliar o potencial de aproveitamento de resíduos do processamento de pinus, bambu e das folhas da coroa do abacaxi para a produção de compósitos. A resina escolhida para a matriz foi o adesivo poliuretano à base de mamona. O trabalho foi dividido na ensaios preliminares e etapa principal, sendo que os ensaios foram a produção de chapas com a finalidade de ajustes nas variáveis de produção. Após os ensaios preliminares, para a fabricação do compósito foram testadas quatro diferentes proporções (em massa) entre bambu, pinus e folhas de coroas de abacaxi: 50%/50%/0%, 25%/25%/50%, 0%/0%/100% e 70%/0%/30%. O desempenho das chapas foi avaliado por meio de ensaios físico-mecânicos, conforme as diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os resultados indicaram que, quando analisada isoladamente, a chapa produzida 100% com folhas da coroa de abacaxi demonstrou um desempenho superior, destacando-se como uma alternativa potencialmente promissora para novos estudos



**Palavras-chave**: abacaxi; pinus; bambu; compósitos; resíduos.

**ABSTRACT**

Currently, the growing demand for composite materials derived from plant fibers has gained prominence, driven by growing awareness of environmental impacts and the importance of sustainable development. Innovation in this field focuses on the use of ecological, renewable, and low-impact raw materials. In this context, this study aims to evaluate the potential for using waste from the processing of pine, bamboo, and pineapple crown leaves for the production of composites. The resin chosen for the matrix was a castor-oil-based polyurethane adhesive. The work was divided into preliminary tests and a main stage, with the tests involving the production of sheets for adjustments to production variables. After the preliminary tests, four different proportions (by mass) of bamboo, pine, and pineapple crown leaves were tested for the composite fabrication: 50%/50%/0%, 25%/25%/50%, 0%/0%/100%, and 70%/0%/30%. The performance of the sheets was evaluated through physical-mechanical tests, according to the guidelines of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). The results indicated that, when analyzed alone, the sheet made 100% from pineapple crown leaves demonstrated superior performance, standing out as a potentially promising alternative for further studies.

**Keywords**: pineapple; pine; bamboo; composites; waste.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura de um material compósito com diferentes arranjos das fibras ...30
Figura 2 - Colmo de um dos bambus utilizados ...34
Figura 3 - Componentes (A) e (B) da Resina Imperveg ...36
Figura 4 - Formato do bambu roliço (A), após picador (B) e moinho (C) ...37
Figura 5 - Coroas de abacaxi in natura (A), após secagem (B) e moinho (C) ...37
Figura 6 - Material em formato natural (A) e após moinho (B) ...38
Figura 7 - Aplicação da resina nas partículas ...39
Figura 8 – Pré - prensagem (A e B) e chapa final (C) ...40
Figura 9 - Tração perpendicular, MOR e MOE — estudos anteriores ...41
Figura 10 - Corpos de prova quadrados ...43
Figura 11 - Dispositivo pra a realização do ensaio ...43
Figura 12 - Ensaio de flexão estática ...46
Figura 13 - Ensaio de adesão interna: corpo de prova (a) e suporte de metal (b) ...48
Figura 14 - Diferentes peneiras usadas ...49
Figura 15 - Chapas testes ...50
Figura 16 - Chapa borda com vazios ...51
Figura 17 - Aparato da antiga pré-prensagem ...52
Figura 18 - Aparatos novos para prensagem ...53
Figura 19 - Nova configuração dos corpos de prova ...53
Figura 20 - Aspecto das chapas produzidas ...55
Figura 21 - Formação de bolhas ...61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química do Bambu .....26

Tabela 2 - Proporção dos materiais para formação dos compósitos.....38

Tabela 3 - Tipos de ensaio e número de corpos de prova por chapa.....41

Tabela 4 - Resultados ensaios físicos tratamento 2.....53

Tabela 5 - Resultados ensaios mecânicos tratamento 2 .....53

Tabela 6 - Resultados dos ensaios físicos - tratamento 1.....55

Tabela 7 - Resultados dos ensaios físicos - tratamento 3.....55

Tabela 8 - Resultados dos ensaios físicos - tratamento 4.....56

Tabela 9 - Resultados ensaios mecânicos tratamento 1.....56

Tabela 10 - Resultados ensaios mecânicos tratamento 3.....56

Tabela 11 - Resultados ensaios mecânicos tratamento 4.....57

Tabela 12 - Resultados da média dos ensaios físicos.....57

Tabela 13 - Resultados da média dos ensaios mecânicos.....57

Tabela 14 - Densidade de trabalhos com Bambu e Pinus.....58

Tabela 15 - Valores de AI, MOR e MOE de autores relacionados.....61

## LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| % | Porcentagem |
| PVA | Acetato de polivinila |
| FFA | Fibra da folha do abacaxizeiro |
| PALF | Pineapple leaf fiber |
| FCA | Fibras da coroa do abacaxi |
| MDF | Medium Density Fiberboard, |
| CBRC | China Banking Regulatory Commission |

**SUMÁRIO**


**1 INTRODUÇÃO.....23**

**2 REVISÃO DE LITERATURA.....25**

**2.1 PARTÍCULAS DE BAMBU**.....25

**2.2 FIBRAS DA COROA DO ABACAXI** .....27

**2.3 MADEIRA DE PINUS** .....28

**2.4 MATERIAIS COMPÓSITOS**.....29

**2.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS**.....30

**2.6 PRODUÇÃO DE PAINEIS DE PARTÍCULAS** .....31

**2.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS** .....32

**3 MATERIAL E MÉTODOS .....34**

**3.1 MATERIAIS**.....34

**3.2 PAINEL DE PARTÍCULAS**.....36

**3.3 MANUFATURA DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS**.....36

**4 RESULTADOS .....49**

**4.1 ENSAIOS PRELIMINARES** .....49

**5 DISCUSSÃO .....55**

**5.1 RESULTADOS PARA AS CHAPAS DOS QUATRO TRAÇOS DIFERENTES**.....55

**5.2 DENSIDADE (D)** .....59

**5.3 UMIDADE (U)**.....60

**5.4 INCHAMENTO E ABSORÇÃO DE ÁGUA**.....61

**5.5 PROPRIEDADES DE ADESÃO E FLEXÃO ESTÁTICA**.....61

**6 CONCLUSÕES.....65**

**REFERÊNCIAS .....67**

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a necessidade de desenvolver e comercializar materiais compósitos com base em constituintes de fibras vegetais tem crescido devido à facilidade de obtenção de recursos altamente renováveis e à maior conscientização com relação a questões relacionadas ao impacto ambiental e ao desenvolvimento sustentável. Essas fibras têm despertado interesse de vários setores como indústria de luminárias para ambientes frigoríficos, automobilística, construção civil entre outros, frequentemente visando à substituição de materiais convencionais.

O desenvolvimento de novos compósitos tem tido destaque com a utilização de matérias-primas mais sustentáveis e renováveis. Nesse sentido, os materiais de origem biológica (plantas, animais, microrganismos), florestais e lignocelulósicos, compostos por fibras, são uma opção interessante. Como exemplos, se incluem bagaço de cana-de-açúcar, casca de coco, casca de cereais como arroz e milho, madeira, bambu, sisal, juta, carauá, entre outros, os quais são exemplos de fontes de fibras naturais que têm sido estudadas para a produção de bio-compósitos.

O bambu é uma gramínea de ciclo de crescimento rápido que pode ter diversas utilizações sendo, dentre elas, na forma de painéis. É um material lignocelulósico de rápido crescimento, composto por fibras naturais de elevada resistência e apresenta-se como uma valiosa contribuição na produção de materiais alternativos e como reforço de matrizes (Khosrow, 2005).

No processo de laminação do bambu há a geração de quantidade significativa de resíduos. Tanto no Brasil quanto no exterior tem havido um crescimento na utilização do bambu na área de construções, conforme sugerem De Araujo *et al*. (2023) e assim, consequentemente, a geração dos resíduos de seu beneficiamento terá um aumento.

Como um país tropical, o Brasil tem alta produção e utilização de frutas, dentre elas, o abacaxi. O abacaxizeiro, originário das Américas, é cultivado na Ásia, na África e nas Américas (Norte, Central e Sul). A Tailândia, as Filipinas, o Brasil, a China e a Índia destacam-se como os principais países produtores (IBGE,

2023). Para o seu processamento, há a geração de resíduos como das folhas de sua coroa, que são fibrosas e, mesmo após sua secagem, apresentam certa resistência ao rompimento.

A maioria das madeiras utilizadas como matéria-prima para a produção de painéis de partículas são oriundas de florestas plantadas, sendo a de *Pinus* a mais utilizada na produção dos painéis. No entanto, a crescente demanda do mercado por madeira, não segue o mesmo ritmo de sua oferta, sendo necessária a busca de matérias-primas alternativas, preferencialmente reutilizando algum tipo de resíduo (Cravo; Sartori; Fiorelli, 2017).

Paralelamente, um dos principais problemas verificados nas cidades é a disposição de resíduos sólidos urbanos. Em 2010, a Lei nº 12.305/10 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituiu o fim dos lixões nos municípios brasileiros até 2014 (Brasil, 2010).

Apesar dos resíduos do processamento do bambu, da madeira e do abacaxi serem do tipo orgânico e compostáveis, em grande quantidade, seu descarte indevido (sem ser compostado) pode contribuir com a lotação de lixões e aterros sanitários. Por outro lado, podem ser uma fonte de matéria-prima para a produção de compósitos de engenharia para várias utilizações e de maior valor agregado, contribuindo com o meio ambiente.

O objetivo desse trabalho é avaliar a utilização de resíduos do processamento do bambu, do pinus e das folhas da coroa do abacaxi para a produção de um painel de partícula, além de verificar o aproveitamento de resíduos da coroa do abacaxi para produzir um compósito, para fins de Engenharia e suas propriedades  físico-mecânicas dos painéis de partículas produzidos, em três diferentes traços de resíduos de madeira, bambu e folha da coroa de abacaxi.

# 2 REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1 PARTÍCULAS DE BAMBU

A fibra de bambu possui propriedades interessantes, como a ação bactericida. O bambu é considerado um recurso renovável, pois pode ser cultivado sem o uso de pesticidas ou fertilizantes químicos, apresenta rápido crescimento, alta produtividade e comercialização, além da possibilidade de colheita anual sem necessidade de replantio (Artacho, 2013).

Pertencente à família das gramíneas, o bambu é constituído por um sistema radicular denominado rizoma, responsável pelo crescimento dos colmos. Estes são compostos por 18 nós, separados por segmentos ocos chamados entrenós, cujas células se organizam na direção axial. No interior dos nós desenvolve-se o diafragma, enquanto, externamente, formam-se os ramos (Chaowana, Wisadsatorn, Chaowana, 2021).

Os colmos apresentam cavidade cilíndrica e superfície cerosa, características que auxiliam na retenção da umidade interna (Bui; Grillet; Tran, 2017). Em espécies gigantes, o bambu pode atingir até 30 metros de altura e 30 centímetros de diâmetro (Silva; Silva, 2020), possuindo a maior taxa de crescimento entre os vegetais, podendo crescer cerca de 60 cm por dia (BUI; Grillet; Tran, 2017).

Essa planta acompanha a trajetória humana há milênios, oferecendo múltiplos recursos. Estima-se que mais de 1 bilhão de pessoas dependam do bambu para sua subsistência, além de haver um crescente interesse em seu uso industrial (Farrely, 1984). Para muitas sociedades, o bambu é associado aos hábitos regionais e costumes folclóricos, o que o torna um biorrecurso utilitário, comestível, construtivo e, até mesmo, religioso (De Araujo *et al*., 2023).

Trata-se de uma planta predominantemente tropical, com crescimento mais rápido do que qualquer outra, podendo atingir sua altura máxima em apenas 3 a 6 meses. Esse desenvolvimento acelerado está relacionado à estrutura simples e organizada de seu colmo lenhoso. Devido à velocidade do crescimento e da diferenciação celular, seus tecidos apresentam estruturas simples e altamente eficientes. Segundo a *China Banking Regulatory Commission* – CBRC (2006), o

material lignocelulósico lenhoso presente nos colmos do bambu é composto por substâncias químicas orgânicas muito semelhantes às da madeira.

Na Tabela 1, se apresenta a composição química do bambu e da coroa do abacaxi, a qual se assemelha significativamente à da madeira.

**Tabela 1 - Composição Química do Bambu**

| | Celulose (%) | Lignina (%) | Hemicelulose (%) |
|---|---|---|---|
| **Bambu** | 55,00 | 25,00 | 20,00 |
| **Madeira de coníferas** | 50,00 | 25,00 | 25,00 |
| **Coroa do abacaxi** | 57,98 | 26.77 | 15,24 |

Fonte: Janssen (1981) e Silva (2018)

No Brasil, as espécies de bambu mais comuns incluem *Bambusa vulgaris*, *Bambusa vulgaris* variedade *vittata*, *Bambusa tuldoides*, *Dendrocalamus asper* e algumas espécies do gênero *Phyllostachys*. A espécie exótica *Bambusa vulgaris vittata* é popularmente conhecida como bambu comum, verde-amarelo, imperial ou brasileiro — esta última denominação atribuída em razão da coloração característica da planta. Essa variedade é encontrada com maior frequência nos estados do Acre, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (Salgado, 1994; Mota, 2017).

De acordo com Gauss (2019), os painéis de partículas de bambu são geralmente produzidos a partir de colmos e resíduos oriundos do processamento do bambu, o que garante um fornecimento abundante e economicamente viável de matéria-prima. A taxa de aproveitamento do material é elevada, e as tecnologias envolvidas na fabricação de partículas de bambu são similares às empregadas na produção de painéis de partículas de madeira.

A fabricação de painéis de partículas de bambu envolve, em geral, a mistura de partículas da planta (em tamanhos específicos) com um tipo de resina. Os adesivos comumente utilizados incluem ureia-formaldeído, fenol-formaldeído, poliuretano à base de óleo de mamona, resina acetato de polivinila (PVA), entre outros (Gauss, 2019).

## 2.2 FIBRAS DA COROA DO ABACAXI

A fruticultura configura-se como um importante gerador de fibras vegetais, especialmente nos países tropicais, onde o processamento industrial de frutas tende a ser elevado. Segundo Mendes (2013), o Brasil destaca-se como um produtor em potencial nesse segmento, o que intensifica as discussões sobre o manejo e o descarte adequado dos resíduos sólidos gerados por essa atividade, como cascas, coroas e folhas (Sousa, 2009).

Considerando o expressivo desempenho agrícola nacional, é notável a grande quantidade de fibras vegetais geradas a partir do descarte de resíduos da produção de frutas. Um exemplo representativo é o abacaxi (*Ananas comosus*), uma das frutas mais cultivadas e consumidas no Brasil, cuja coroa constitui um resíduo sem aplicação econômica direta.

O Brasil está entre os principais países produtores e exportadores de abacaxi, juntamente com China, Costa Rica, Filipinas, Havaí, Índia e Tailândia (Bengozi *et al*., 2007). Globalmente, a fruta é cultivada em diversos continentes, incluindo Ásia, África, Américas (Sul, Central e do Norte) e Europa, sendo amplamente consumida em todo o mundo.

A partir das características físicas das folhas do abacaxizeiro, diversos estudos nacionais e internacionais têm investigado suas propriedades físicas e mecânicas. As fibras extraídas dessas folhas são comumente denominadas fibras da folha do abacaxizeiro (FFA) ou *pineapple leaf fiber* (PALF). Além disso, a fibra da coroa do abacaxi (FCA) tem sido objeto de estudos desde as pesquisas de Devi *et al*. (1997) e Arib *et al*. (2006), que utilizaram, respectivamente, poliéster e polipropileno como matriz polimérica. Ambos observaram aumento significativo na resistência à tração, flexão e no módulo de Young dos compósitos formados, em função da proporção de fibras incorporadas à matriz.

Apesar das boas propriedades mecânicas, as fibras da coroa do abacaxi apresentam baixa compatibilidade com polímeros hidrofóbicos, devido à sua natureza higroscópica. A presença de uma camada cerosa natural em sua superfície reduz a tensão superficial e dificulta a adesão eficiente entre a fibra e a matriz polimérica (Marcon, 2009).

Luo *et al*. (1999) avaliaram compósitos formados por resina poli (3-hidroxibutirato-covalerato) reforçada com 20% e 30% de fibras de abacaxi, observando expressivos aumentos na resistência à tração e flexão em comparação com a resina pura. Resultados semelhantes foram obtidos por Arib *et al*. (2006) ao avaliarem compósitos de polipropileno reforçados com fibras de abacaxi, constatando aumento significativo das propriedades mecânicas em comparação com a matriz polimérica não modificada.

## 2.3 MADEIRA DE PINUS

Segundo Mirov (1967), o gênero *Pinus* é utilizado pelo ser humano desde tempos remotos, sendo composto por espécies que produzem madeiras classificadas como coníferas, pertencentes ao grupo das gimnospermas. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2020), esse gênero compreende mais de 100 espécies, apresentando características relevantes como a coloração clara da madeira (variando entre o branco e o amarelado), fibras longas, baixa densidade e potencial para extração de resina em escala comercial.

A madeira de *Pinus* é geralmente classificada como madeira de densidade média, com boa resistência à compressão e à flexão. Essas propriedades, aliadas à facilidade de processamento e ao baixo custo, fazem com que essa madeira seja amplamente utilizada em diversas indústrias, destacando-se especialmente nas cadeias produtivas de celulose e papel (Gustafsson *et al*., 2021). Ainda cabe ressaltar que, no Brasil, a maior parte da indústria da construção em madeira já utiliza intensamente essa madeira conífera, especialmente nas espécies de *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus taeda* (De Araujo *et al*. 2021).

Resíduos como serragem, cascas e aparas têm potencial de reutilização na produção de biocombustíveis, materiais para construção civil, além de aplicações na fabricação de painéis como MDF e painéis de partículas (Lima *et al*., 2020). A conversão desses resíduos em fontes de energia renovável, como briquetes e pellets, vem sendo amplamente investigada, destacando-se como uma alternativa viável e ambientalmente sustentável.

Atualmente, a maior parte da madeira utilizada como matéria-prima na produção de painéis de partículas provém de florestas plantadas, sendo a madeira de

*Pinus* a mais empregada nesse processo. Entretanto, a crescente demanda por madeira não tem sido acompanhada pela mesma taxa de crescimento da oferta, o que evidencia a necessidade de identificar fontes alternativas de matéria-prima, com preferência para aquelas oriundas do reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos (Cravo; Sartori; Fiorelli, 2017).

## 2.4 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos são definidos como sistemas multifásicos compostos por duas ou mais fases distintas, com o objetivo de combinar propriedades específicas que não seriam possíveis com os materiais isoladamente.

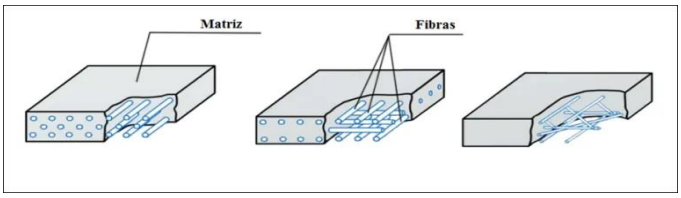
Essa combinação proporciona uma série de vantagens funcionais. Os compósitos tendem a apresentar desempenho superior em relação aos seus constituintes individuais em diversas propriedades, tais como resistência mecânica, rigidez, resistência à corrosão, à abrasão, leveza, durabilidade, desempenho térmico, condutividade térmica, isolamento acústico, entre outras (Araújo, 2015).

Os compósitos podem ser classificados em três categorias principais, conforme a natureza da fase dispersa e da matriz:

- **Compósitos reforçados com fibras**, nos quais fibras curtas ou contínuas, alinhadas ou aleatórias, são inseridas em uma matriz contínua;
- **Compósito de lâminas**, formados por múltiplas camadas de diferentes materiais empilhadas e ligadas entre si;
- **Compósitos de partículas**, onde partículas de determinado material estão dispersas em uma matriz (Jones, 1975).

Na Figura 1 é apresentada uma proposta esquemática da estrutura de um material compósito com diferentes arranjos de fibras, conforme proposta por Biscainho (2017), ilustrando a diversidade de configurações possíveis no desenvolvimento desses materiais.

**Figura 1 - Estrutura de um material compósito com diferentes arranjos das fibras**




Fonte: Biscainho (2017).

Visando a reciclagem dos materiais, podem ser utilizados polímeros diversos para produzir os compósitos; entretanto, destaca-se o polietileno como matriz polimérica principal por apresentar maior resistência à fratura, ao impacto e à tensão (Levi neto e Pardini, 2006).

## 2.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

As fibras naturais, amplamente obtidas a partir de fontes animais ou vegetais, são compostas majoritariamente por celulose, hemicelulose e lignina. A celulose, um homopolímero de cadeia linear, é o principal componente responsável pelas propriedades de resistência mecânica das fibras (Sawpan *et al*, 2012).

De acordo com Yousif *et al*. (2012), essas fibras apresentam-se como alternativas viáveis — ainda que parcialmente — às fibras sintéticas, especialmente em setores industriais como o automobilístico, aeronáutico, aeroespacial, de construção civil e mecânica. Tal viabilidade decorre das boas propriedades mecânicas que exibem, notadamente em relação à resistência à tração e ao módulo de elasticidade.

Na indústria automobilística, por exemplo, há crescente interesse na incorporação de fibras naturais em componentes de revestimento interno de veículos, como painéis, forros de teto e laterais, com o objetivo de proporcionar maior conforto e contribuir para o acabamento estético (Zah *et al*., 2007).

Estudos comparativos entre fibras naturais — como juta, sisal, coco e abacaxi — e fibras sintéticas evidenciam que, em muitos casos, as fibras vegetais apresentam comportamento mecânico similar ao da fibra de vidro. Assim, os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais emergem como alternativas promissoras,

capazes de substituir as fibras sintéticas em determinadas aplicações. Além das propriedades mecânicas satisfatórias, esses materiais oferecem vantagens adicionais como baixa densidade, elevada flexibilidade e menor custo de produção (WANBUA; IVENS; VERPOEST, 2003; SOBCZAK; LANG; HAIDER, 2012).

Outro fator relevante que favorece o uso de fibras naturais como reforço renovável é a crescente busca por soluções sustentáveis, que incluem a redução no consumo de energia, o menor peso dos componentes, bem como a recuperação e reaproveitamento de matérias-primas ao fim do ciclo de vida útil do produto.

## 2.6 PRODUÇÃO DE PAINEIS DE PARTÍCULAS

Painéis de partículas podem ser definidos como produtos fabricados a partir de materiais lignocelulósicos na forma particulada, associados a resinas sintéticas ou outros agentes ligantes apropriados. Esses componentes são unidos sob condições específicas de temperatura e pressão em prensas aquecidas, processo no qual a coesão entre as partículas ocorre exclusivamente pela ação do adesivo adicionado (Maloney, 1993).

Conforme discutido por Yano e Silva (2020), a utilização intensiva da madeira ao longo da história contribuiu para a exploração desordenada das florestas naturais, sem a devida preocupação com a reposição dos recursos para as futuras gerações. Nesse contexto, uma alternativa relevante para mitigar a escassez de madeira causada pelo desmatamento de espécies nativas no Brasil é o incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento de soluções sustentáveis, que envolvam, em nível ambiental, o aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como matéria-prima (Shirosaki *et al*., 2019; Winckler *et al*., 2022).

O processo produtivo dos painéis de madeira reconstituída inicia-se com a coleta de árvores provenientes de florestas plantadas. Após a remoção da casca, o material é triturado, classificado, seco e, posteriormente, submetido à prensagem juntamente com resinas termofixas. A prensagem é realizada sob condições controladas de tempo, pressão e temperatura, permitindo ainda a adição de componentes químicos que promovam melhorias no desempenho do material final (Alves *et al*., 2014).

Os adesivos, que atuam como matriz ligante, exercem papel fundamental na coesão das partículas durante a fabricação dos painéis. Dentre os adesivos mais utilizados em pesquisas, destaca-se o poliuretano à base de óleo de mamona (PU-mamona), desenvolvido pelo Instituto de Química de São Carlos (USP), no estado de São Paulo, Brasil.

Esse adesivo representa uma alternativa nacional de origem renovável, com características biodegradáveis, não tóxicas e derivadas de biomassa, o que o torna alinhado com os princípios da sustentabilidade ambiental (Oliveira *et al*., 2021; Macedo *et al*., 2016). Sua matéria-prima principal é a mamona, planta pertencente à família das Euforbiáceas, amplamente distribuída no território brasileiro em virtude de sua adaptabilidade às regiões tropicais e subtropicais. Dessa forma, o uso do PU-mamona configura-se como uma estratégia promissora para a substituição de adesivos sintéticos convencionais e para a valorização de recursos naturais locais

## 2.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O uso de partículas de fontes lignocelulósicas — como bambu, madeira de Pinus e de folhas da coroa do abacaxi — para a produção de painéis e compósitos vem crescendo por duas razões principais:

- Disponibilidade crescente de resíduos agrícolas/industriais;
- Demanda por alternativas mais sustentáveis.

Nesse cenário, a novidade do presente estudo consiste na proposição de painéis produzidos a partir da combinação de partículas de bambu, madeira de Pinus e fibras de folhas da coroa do abacaxi, com a utilização de adesivo poliuretano à base de óleo de mamona como adesivo alternativo e sustentável.

Essa abordagem contempla simultaneamente três aspectos ainda pouco explorados na literatura: (i) a análise de sinergias entre diferentes resíduos lignocelulósicos, integrando materiais de origem agrícola e florestal; (ii) a aplicação de adesivo de base renovável, biodegradável e de menor impacto ambiental em comparação aos sistemas petroquímicos convencionais; e (iii) a investigação das propriedades físico-mecânicas resultantes dessa composição híbrida, visando ampliar

as possibilidades de aproveitamento de resíduos e reduzir a pressão sobre as florestas plantadas.

Dessa forma, a pesquisa contribui não apenas para a inovação tecnológica no campo dos painéis lignocelulósicos, mas também para a construção de estratégias alinhadas aos princípios da economia circular e da sustentabilidade.

# 3 MATERIAL E MÉTODOS

Todo o procedimento experimental para preparação e realização dos compósitos foi realizado nos laboratórios do Instituto de Ciências e Engenharia (ICE) – UNESP, Campus de Itapeva, São Paulo.

Os materiais descritos nos itens subsequentes foram utilizados na produção dos compósitos.

## 3.1 MATERIAIS

### 3.1.1 Bambu

O resíduo de bambu da espécie *Dendrocalamus asper*, popularmente conhecida como bambu gigante, foi escolhido para este projeto por apresentar ótimos resultados das propriedades mecânicas, além de paredes mais grossas, com intuito de geração de maior quantidade de partículas (Saurabh, 2016). O bambu foi obtido de colmos (Figura 2) na forma de resíduos, no Laboratório de Mobiliário e Construção, do Instituto de Ciências e Engenharia (ICE), UNESP, Campus de Itapeva.

**Figura 2 - Colmo de um dos bambus utilizados**




### 3.1.2 Coroa de abacaxi

Na escolha da variedade do abacaxi levou-se em consideração o destino da produção (consumo "*in natura*" ou indústria). De acordo com a Embrapa (2024), os

cultivares mais conhecidos no Brasil são: Pérola ou Branco de Pernambuco, *Smooth Cayenne* e Jupi.

Para produção das chapas foi utilizada uma mistura desses três cultivares fornecidos por mercados, feiras e restaurantes, da cidade de Itapeva, São Paulo.

### 3.1.3 Resíduo da madeira *Pinus sp*

Foi escolhido agregar na produção das chapas o resíduo de *Pinus*, pois já que o gênero contribui para a redução do impacto ambiental do setor florestal, uma vez que o processo de reciclagem de resíduos para a fabricação de novos produtos minimiza a geração de resíduos sólidos e emissões de gases poluentes. Além disso, o uso de resíduos de madeira ajuda a reduzir a dependência de madeira de florestas naturais, o que diminui a pressão sobre ecossistemas nativos e favorece o manejo florestal sustentável, conforme justificado por Gustafsson *et al*. (2021).

A madeira *Pinus* sp foi obtida de resíduos da usinagem de peças nas dependências do Instituto de Ciências e Engenharia (ICE), da UNESP, Campus de Itapeva.

### 3.1.4 Resina aglutinante

A resina utilizada foi o adesivo poliuretano à base de mamona pois, segundo Jesus (2000), a mamona é facilmente encontrada na maioria das regiões do país, principalmente no estado nativo, além de ser um recurso natural e renovável, sendo também utilizada por autores como Dias (2005) na fabricação de painéis aglomerados.

Sua fórmula contém 75% de matéria-prima de fonte natural e renovável e é isenta de solventes. Substitui adesivos provenientes do petróleo e agride menos a natureza. É um aglomerante de poliuretano que substitui formaldeído provendo maior performance, resistência e impermeabilidade.

Na Figura 3 se apresentam os componentes da resina, sendo o mais claro o componente A (pré-polímero) e, o mais escuro, o componente B (poliol). Com a junção desses componentes se formam polímeros com características excepcionais para adesão e aglomeração.

**Figura 3 - Componentes (A) e (B) da Resina Imperveg**




## 3.2 Painel de partículas

Foram manufaturados 4 painéis compósitos com a resina à base de óleo de mamona, testando quatro variações de proporção (em massa e granulometria) entre partículas de bambu, madeira e de folhas da coroa de abacaxi pois, segundo Moroz (2023), ambas as quantidades podem ser relativamente altas, tendo em vista a otimização do aproveitamento dos resíduos considerados neste trabalho.

O total da massa seca utilizada em todos os compósitos foi de 1400g, com a proporção de resina de 15%, sendo o tempo de prensagem de 10 minutos, com temperatura de 100°C, pressão de 4,0 MPa e dois “momentos” de degasagem.

## 3.3 Manufatura dos painéis de partículas

### 3.3.1 Preparo das partículas de bambu

O bambu foi usinado à partir de seu formato natural, ou seja, roliço. O material foi cortado entre os nós, com auxílio de uma serra circular de bancada e um facão agrícola, obtendo-se as menores seções possíveis que, posteriormente eram submetidas a um picador da marca Marconi e, em seguida, a um moinho peneira de 4mm (Figuras 4A, 4B e 4C)

**Figura 4 - Formato do bambu roliço (A), após picador (B) e moinho (C)**



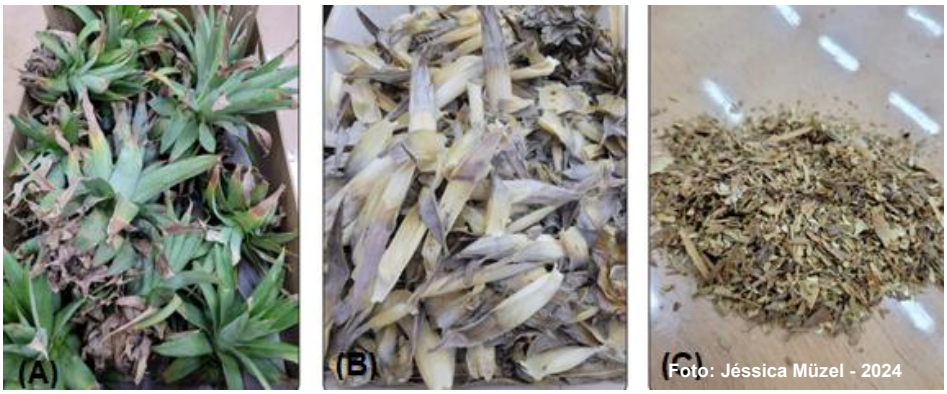

Finalmente, o material foi mantido em ambiente climatizado, buscando alcançar o teor de umidade necessário abaixo de 3%.

### 3.3.2 Preparo das folhas das coroas de abacaxi

As folhas das coroas de abacaxi foram higienizadas para tirar as impurezas e pré-secas em estufa de circulação de ar durante 24h, à temperatura de 103°C. Após a secagem, foram separadas uma por uma e, novamente, secas em estufa por 24h à 103°C.

Após a segunda etapa de secagem utilizou-se um moinho de facas com peneira 4mm, seguindo a mesma granulometria utilizada para as partículas de bambu e *Pinus* sp, conforme apresentado na Figura 5.

**Figura 5 - Coroas de abacaxi in natura (A), após secagem (B) e moinho (C)**




Em seguida o material foi mantido em ambiente climatizado para alcançar um teor de umidade necessário abaixo de 3%.

### 3.3.3 Preparo dos resíduos de *Pinus* sp

O preparo para a produção das partículas de *Pinus* sp foi semelhante ao realizado com o bambu. O material foi cortado com auxílio de uma serra circular de bancada, obtendo-se pequenos pedaços de madeira (Figura 6a). Posteriormente, esses pedaços de madeira passaram por um picador da marca Marconi e, em seguida, por um moinho com peneira de 4mm (Figura 6b).

**Figura 6 - Material em formato natural (A) e após moinho (B)**




### 3.3.4 Processo de colagem

Kollmann *et al*. (1975) e Moslemi (1974) citam que o teor de umidade (TU) indicado para as partículas, para a produção de painéis deve estar entre 3 e 6%.

O controle deste parâmetro é necessário, pois as variações maiores que 2% do TU desejada pode gerar excesso de vapor, causando bolhas e explosões nas chapas durante a presagem e TU cerca de 2% abaixo do desejado podem causar deficiência nas ligações entre particulas e adesivo, podendo influenciar na redução das propriedades mecânicas conforme observado por Bowyer *et al*., (2003).

Portanto, os resíduos de bambu, de madeira de Pinus e de folha de coroa do abacaxi foram secos até atingirem tal umidade. Em seguida, foram produzidas 4 chapas, sendo uma para cada um dos traços (T1, T2, T3 e T4), conforme mostrado na Tabela 2, constituíndo o T1, o grupo controle.

**Tabela 2 - Proporção dos materiais para formação dos compósitos**

| | Partículas de pinus (%) | Partículas de bambu (%) | Partículas de folhas de coroas de abacaxi (%) |
|---|---|---|---|
| **T 1** | 50 | 50 | 0 |
| **T 2** | 25 | 25 | 50 |
| **T 3** | 0 | 0 | 100 |
| **T 4** | 35 | 35 | 30 |

Fonte: (Autor)

A resina poliuretana à base de mamona foi aplicada manualmente e gradualmente, sendo incorporado à massa seca primeiro o componente A e depois o componente B, mantendo a uniforminade da resina em contato com o material, garantindo o máximo possível, a inexistência de grumos (Figura 7).

Importante destacar que o tempo de mistura foi aproximadamente 5 minutos para cada componente, respeitando o tempo de cura do adesivo.

**Figura 7 - Aplicação da resina nas partículas**




### 3.3.5 Condições de prensagem dos compósitos

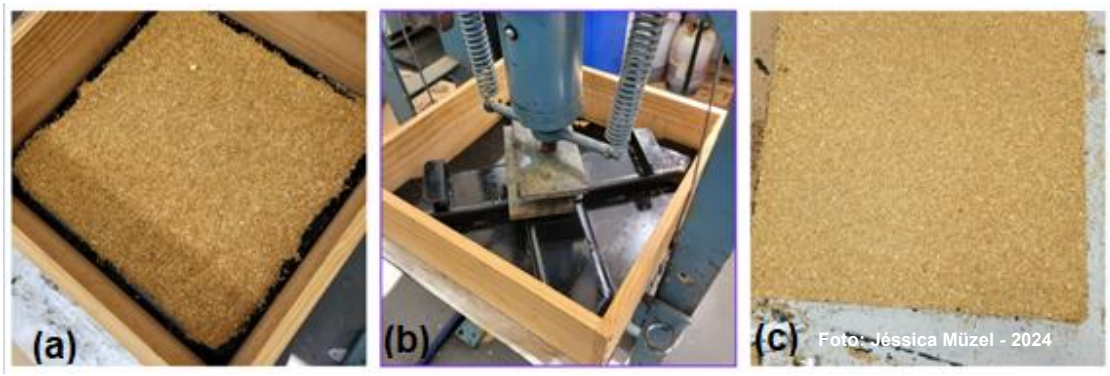
Após a aplicação da resina, a mistura foi acondicionada em um delimitador de 12 mm de altura na forma de quadro (Figura 8a) e foi pré-prensada com aplicação de carga de 5 toneladas por 5 minutos (Figura 8b), com o objetivo de compactar a

mistura de forma mais homogênea possível. Este tempo foi determinado em função do período de cura do adesivo ser curto, 25 minutos aproximadamente.

Em seguida os colchões pré-prensados foram levados à prensa hidráulica, da marca Hidral-Mac modelo PHH 80T, previamente aquecida, gerando o painel, conforme a Figura 8c.

Os compósitos foram prensados a temperatura de 100°C, com pressão de 4,0MPa, com 2 momentos de defasagem,  parâmetros esses definidos para haver a cura da resina, resultando em chapas de dimensões nominais iguais a 42 x 42 cm e espessura de 12 mm.

**Figura 8 – Pré - prensagem (A e B) e chapa final (C)**



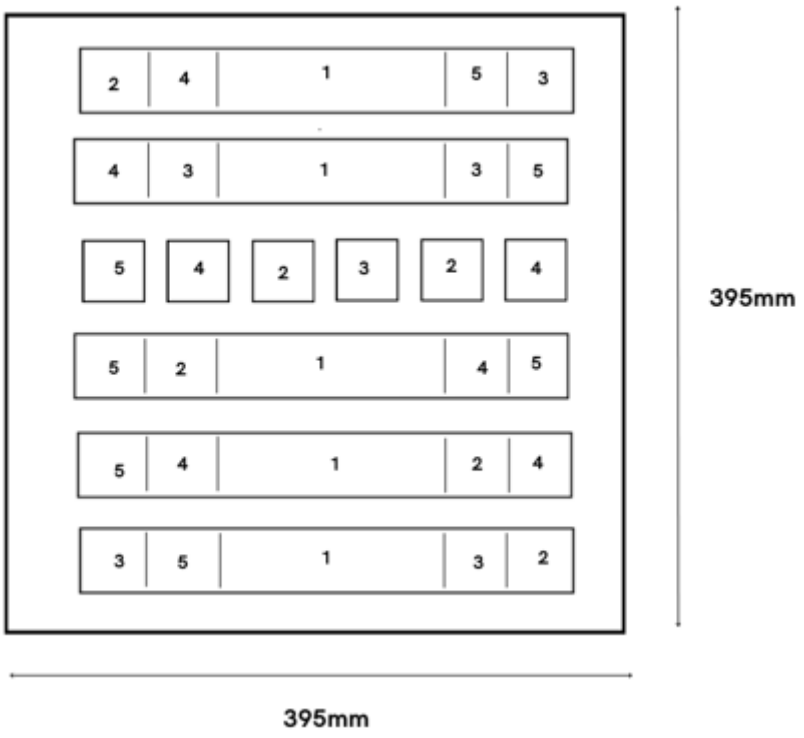

A degasagem da prensa hidráulica é o processo de remoção de gases ou bolhas de ar que podem estar presentes no sistema hidráulico da prensa. Esses gases podem ser resultado de contaminação do fluido hidráulico ou de ar aprisionado durante o processo de montagem ou operação da máquina. Quando não removidos, esses gases podem comprometer o desempenho do sistema hidráulico, causar falhas no funcionamento da prensa e reduzir a eficiência da operação na produção dos painéis.

### 3.3.6 Retirada e condicionamento dos corpos de prova

Após a produção, as chapas foram acondicionadas por um período de 72h, para haver total consolidação da cura da resina, quando foram refiladas retirando-se cerca de 2,5cm da borda nos seus quatro lados.

Em seguida foram retirados corpos de prova para os diferentes tipos de ensaios físico-mecânicos, das diversas regiões da chapa (conforme a Figura 9), indicando-se 1 para determinação dos módulos de ruptura e de elasticidade na flexão estática, 2 para a determinação da resistência à adesão interna, 3 para determinar o inchamento em espessura e a absorção de água, 4 para determinar o perfil de densidade e 5, para determinar o teor de umidade, com dimensões de acordo com as prescrições da ABNT NBR 14810-2/2024.

**Figura 9 - Tração perpendicular, MOR e MOE — estudos anteriores**




Os corpos de prova obtidos das chapas foram acondicionados em câmara climatizada a temperatura de 20°C e umidade relativa de 65% até atingirem peso constante para posteriormente serem realizados os ensaios previstos.

### 3.3.7 Ensaios Físico-Mecânicos dos compósitos

Os ensaios de caracterização das propriedades físico-mecânicas das chapas foram realizados segundo as prescrições do documento normativo ABNT NBR 14810-2/2024, que estabelece uma quantidade mínima de dez corpos de prova de cada

propriedade por chapa comercial. Porém, devido à limitação das dimensões da pré-prensa, essa quantidade foi reduzida e adaptada a nível laboratorial.

Os tipos de ensaios físico-mecânicos considerados para as chapas e o número de corpos de prova para cada propriedade analisada são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Tipos de ensaio e número de corpos de prova por chapa**

| Propriedades | Número de corpos de prova |
|---|---|
| Flexão estática | 5 |
| Adesão interna | 6 |
| Inchamento em espessura e absorção de água | 6 |
| Densidade | 7 |
| Umidade | 7 |

Fonte: (Autor)

### 3.3.8 Ensaio para a determinação da densidade

A determinação da densidade dos compósitos foi realizada conforme preconiza a ABNT NBR 14810-2/2024, com corpos de prova quadrados, com dimensões nominais de 50 ± 1 mm de aresta (Figura 10). Estes foram acondicionados até atingirem peso constante, em câmara climatizada à 20°C e 65% de umidade relativa. Posteriormente determinou-se sua espessura no ponto de interseção das diagonais (precisão de 0,05 mm) e a sua massa, juntamente com 2 medidas paralelas às bordas, ortogonais, que passem por seu centro (precisão de 0,1 mm).

A densidade foi determinada segundo a Equação 1.

$$D = \frac{m}{b1\ x\ b2\ x\ E}\ x\ 10^6 \qquad (1)$$

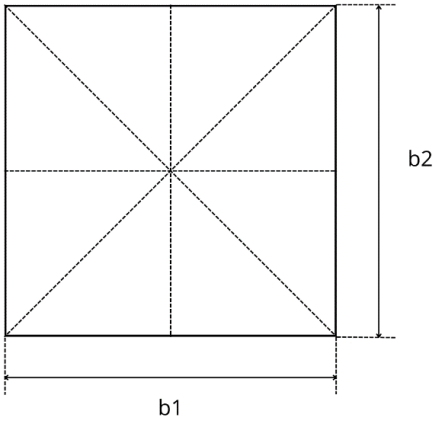
Onde:

D = densidade (kg/mm$^3$);

m = massa (kg);

$b_1$ e $b_2$ = medidas ortogonais dos lados (mm);
E = média aritmética da espessura do corpo de prova (mm).

**Figura 10 - Corpos de prova quadrados**




### 3.3.9 Ensaio de inchamento em espessura e absorção de água

O ensaio de determinação de inchamento durante 24 horas foi realizado conforme o que preconiza a ABNT NBR 14810-2/2024, utilizando um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, um recipiente com água com temperatura de 20 ± 1°C, um termômetro e um dispositivo para manter os corpos de prova submersos, conforme Figura 11.

**Figura 11 - Dispositivo pra a realização do ensaio**



Os corpos de prova medindo 50 x 50 mm tiveram sua espessura medida no ponto de intersecção das diagonais. Um recipiente foi enchido com água a 20 ± 1°C de modo que o nível ficasse 25 mm acima da superfície superior dos corpos de prova e, então, os corpos de prova foram colocados no recipiente.

Após 24 horas, os corpos de prova foram retirados do recipiente e realizou-se a medição das espessuras, do mesmo modo que foram realizadas antes da imersão, com resolução de 0,01 mm, anotando-se os valores e o tempo de imersão.

O resultado foi calculado segundo a Equação 2 a seguir:

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} X\ 100 \qquad (2)$$

Onde:
I = Inchamento do corpo de prova em %;
$E_1$ = Espessura do corpo de prova em mm após a imersão;
$E_0$ = Espessura do corpo de prova em mm antes da imersão.

O resultado do ensaio é a média dos resultados de cada corpo de prova com precisão de 0,1%. O inchamento máximo permitido pela NBR 14810-2 (ABNT, 2024) é de 18%.

Para o ensaio de absorção de água, foi medida a massa dos mesmos corpos de prova descritos anteriormente, antes e após a imersão em água. A absorção de água foi determinada pela Equação 3.

$$A_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \qquad (3)$$

Onde:
$A_m$ = absorção (%);
$m_1$ = massa inicial (g);
$m_2$ = massa final (g).

### 3.3.10 Ensaio para a determinação do teor de umidade

Neste ensaio foram utilizados os mesmos 10 corpos de prova de 50 x 50 mm do ensaio anterior, conforme preconiza a ABNT NBR 14810-2/2024. Após a retirada dos corpos de prova das chapas e sem a inclusão dos mesmos na câmara climática, registrou-se a massa como sendo a “massa úmida”.

Assim, cada corpo de prova foi pesado individualmente, já identificado, para obtenção do valor da massa úmida e, em seguida, eles foram levados à estufa com temperatura de 103ºC ± 2ºC até obtenção de massa constante. Considera-se massa constante quando a mesma não varia mais do que 0,1% passadas 4 horas na estufa.

Após a retirada da estufa, os corpos de prova foram pesados novamente, sendo esta classificada como “massa seca”. Para o cálculo da porcentagem do teor de umidade foi utilizada a Equação 4:

$$TU = \frac{M_U - M_S}{M_S} X\ 100 \quad (4)$$

Onde:

$TU$ = umidade residual do corpo de prova, em porcentagem;

$M_u$= massa úmida do corpo de prova, em gramas;

$M_s$ = massa seca do corpo de prova, em gramas.

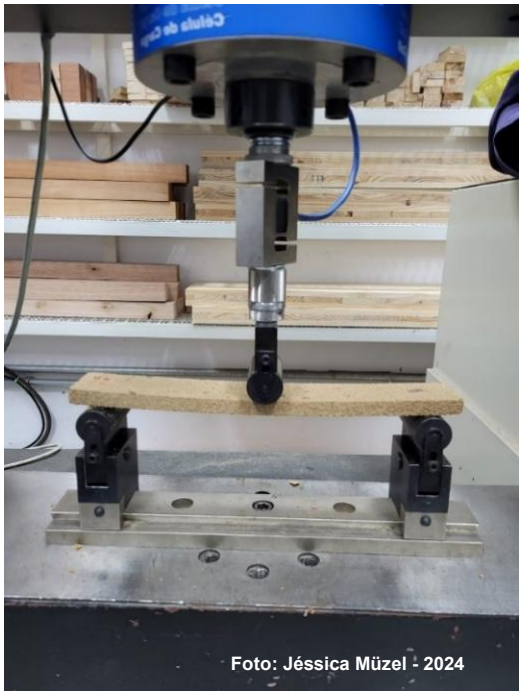
A média dos resultados obtidos constitui o teor de umidade, com precisão de 0,1%. Para todos os tipos de painéis, a NBR 14810-2 (ABNT, 2024) determina que o valor permaneça entre 5 e 13%.

### 3.3.11 Ensaio de flexão estática

O ensaio de flexão estática nas chapas foi realizado com o objetivo de se obter os módulos de ruptura e de elasticidade na flexão estática. O ensaio foi feito em corpos de prova com dimensões nominais iguais a 20 vezes a espessura mais 50 mm, bi-apoiados, com aplicação de carga no ponto central, conforme as

prescrições da ABNT NBR 14810-3/2024, em uma Máquina Universal de Ensaios com capacidade de 30 ton., da marca EMIC, (Figura 12).

**Figura 12 - Ensaio de flexão estática**




No decorrer do ensaio a carga foi sendo aplicada, com velocidade constante de 6mm/min, até que houvesse o rompimento do corpo de prova e, assim, os valores de carga de ruptura e deformação pudessem ser coletados pelo *software* da máquina de ensaio. Para o cálculo dos Módulos de Ruptura (MOR) e de Elasticidade (MOE) na flexão estática foram utilizadas, respectivamente, as Equações 5 e 6.

$$MOR = \frac{1{,}5 \times P \times D}{B \times E^2} \quad (5)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura, em MPa;

P = carga de ruptura, em N;

D = distância entre apoios, em milímetros;

B = largura do corpo de prova, em milímetros;

E = espessura do corpo de prova, em milímetros.

$$MOE = \frac{P_1 \times D^3}{d.4.B.E^3} \quad (6)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade, em MPa;

$P_1$ = carga no limite proporcional, em N;

d = deflexão correspondente à carga $P_1$, em milímetros.

### 3.3.12 Ensaio de adesão interna

O ensaio de adesão interna, para a determinação da resistência à tração perpendicular às faces do painel, foi realizado de acordo com as prescrições do documento normativo ABNT NBR 14810-3/2024, que indica as dimensões nominais dos corpos de prova como iguais a 50 ± 1 mm de arestas.

Nas 2 faces do corpo de prova são colados suportes de madeira mais resistentes que a cola, tracionados posteriormente em direções opostas, de forma que o mesmo se rompa (Figura 13), em uma Máquina Universal de Ensaios, com capacidade de 30 ton., da marca EMIC.

A resistência de adesão interna foi calculada segundo a equação 7.

$$AI = \frac{F_{max}}{a * b} \quad (7)$$

Onde:

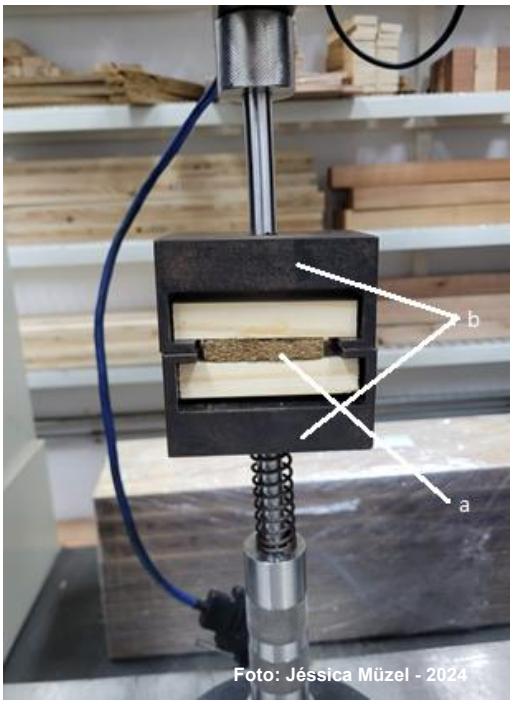
AI = adesão interna (Pa);

$F_{max}$ = carga máxima (N);

a = comprimento do corpo de prova (m);

b = largura do corpo de prova (m).

**Figura 13 - Ensaio de adesão interna: corpo de prova (a) e suporte de metal (b)**



# 4 RESULTADOS

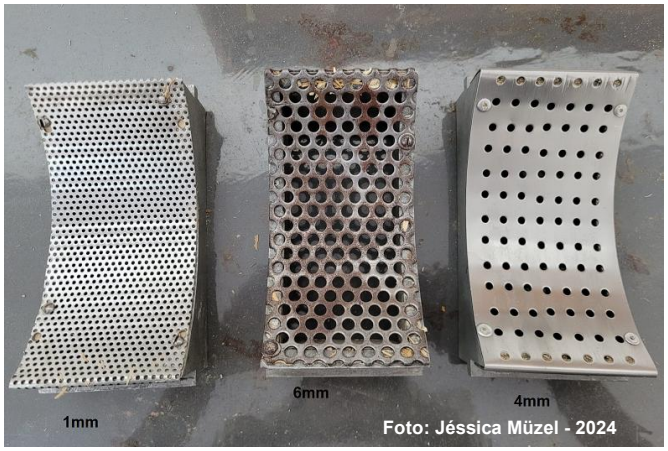
A seguir apresentam-se os resultados determinados nas chapas produzidas em duas etapas, sendo uma preliminar, para se determinar cada variável na produção, como tamanho das partículas, granulometria, quantidade de adesivo e de partículas, bem como o aperfeiçoamento de aparatos para o processo produtivo, e uma etapa principal, utilizando as variáveis mais adequadas determinadas na etapa preliminar.

## 4.1 Ensaios Preliminares

Inicialmente foram realizados ensaios buscando entender o comportamento dos materiais que seriam empregados na pesquisa, bem como os equipamentos disponíveis e as adaptações que seriam necessárias para a produção dos compósitos.

Foram produzidas chapas com material de diferentes granulometrias, utilizando peneiras com aberturas entre 1 a 6 mm (Figura 14) buscando, assim, uma melhor aderência do adesivo e a diminuição dos vazios nas mesmas

**Figura 14 - Diferentes peneiras usadas**




Observou-se que as chapas produzidas com partículas peneiradas em malha de 1 mm apresentaram grande fragilidade, ficando muito finas e com aspecto de pó. Esse fator gerou painéis cheios de espaços vazios e com pouca resistência, a ponto de alguns se quebrarem ainda no manuseio, antes mesmo da realização dos ensaios mecânicos.

Já as chapas produzidas com partículas retidas na peneira de 6 mm apresentaram partículas muito grossas, o que também resultou na presença de vazios. Nessa condição, o adesivo não se espalhou de forma uniforme, o que

comprometeu a união entre as partículas e, consequentemente, a qualidade final do painel.

Até se determinar a peneira de *mash* ideal para esse trabalho (4mm) – (Figura 14), foram produzidas diversas chapas defeituosas e quebradiças, para as quais não foi possível a obtenção de resultados relevantes (Figura 15).

Após a determinação da granulometria ideal dos resíduos, as chapas continuavam com os resultados de ensaios físico-mecânicos muito abaixo dos descritos na literatura.

**Figura 15 - Chapas testes**




Inicialmente, o material destinado à produção das chapas era submetido à secagem em estufa por um período de 48 horas antes do processo de prensagem, com o objetivo de reduzir a umidade das partículas para valores inferiores a 3%. Essa etapa visava garantir melhores condições de adesão entre as partículas e a resina, uma vez que o excesso de umidade pode comprometer a eficiência da colagem e a estabilidade dimensional do produto final.

No entanto, observou-se que a resina estava sendo incorporada às partículas ainda quentes, logo após a retirada da estufa. Essa prática possivelmente interferia de forma negativa no processo de cura do adesivo, pois a temperatura elevada das partículas poderia acelerar a reação da resina de forma inadequada, comprometendo a homogeneidade da mistura e, consequentemente, a resistência das chapas formadas.

Como resultado, os corpos de prova produzidos nessa condição apresentaram desempenho nos ensaios físico-mecânicos significativamente inferior aos valores reportados na literatura para materiais de composição semelhante.

Essa variável foi posteriormente controlada por meio da etapa de ambientação climática das partículas antes da prensagem, permitindo que atingissem uma umidade mais próxima da ideal para o processo de colagem.

Apesar dessa correção ter contribuído para uma leve melhora na uniformidade das chapas, os resultados ainda não corresponderam plenamente às expectativas, sugerindo que outros fatores, como a distribuição das partículas, a quantidade de resina e as condições de prensagem, também podem estar influenciando o desempenho final.

Além disso, observou-se a presença de diversos vazios nas bordas das chapas (Figura 16), indicando possíveis falhas na compactação ou na dispersão da resina, aspectos que demandam ajustes adicionais nos parâmetros de fabricação para obtenção de um produto mais homogêneo e com propriedades físico-mecânicas satisfatórias.

**Figura 16 - Chapa borda com vazios**




Com todas as variáveis do processo produtivo das chapas avaliados estando de acordo com muitos trabalhos da literatura, notou-se um problema nos equipamentos da pré-prensagem.

A pré-prensagem tem como finalidade principal preparar o material para a prensagem final, facilitando o carregamento da prensa principal e conferindo menor tempo e melhor qualidade de colagem ao produto final (Abimci, 2004b). Para Iwakiri (2005) a pré-prensagem além de facilitar o carregamento da prensa, também auxilia

na transferência e distribuição do adesivo entre as partículas, aumenta a qualidade da colagem e a produtividade, e reduz os defeitos de fabricação.

A carga necessária para a pré-prensagem que deveria estar sendo distribuída em toda a área da chapa, estava sendo aplicada apenas pontualmente, no seu centro (Figura 17).

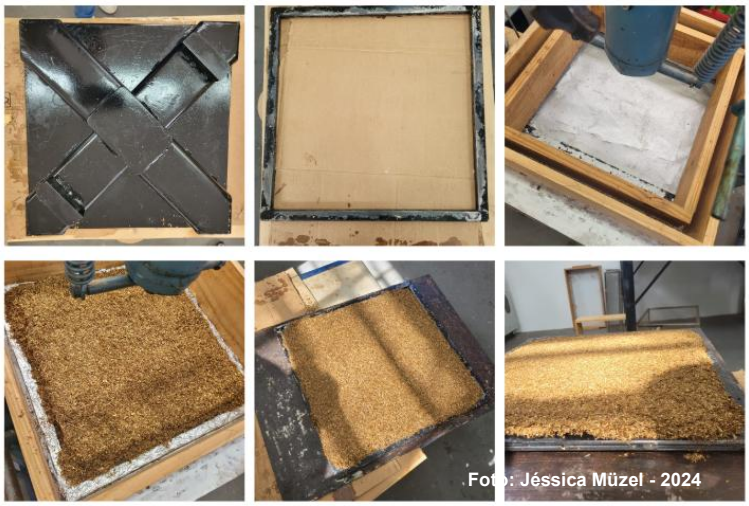
Além disso, o limitador para a conformação da espessura das chapas só estava sendo usado em dois dos seus lados, o que permitia que o material durante a prensagem escapasse para os outros dois lados, deformando então o produto final, já que as chapas não ficavam com a sua espessura uniforme.

**Figura 17 - Aparato da antiga pré-prensagem**



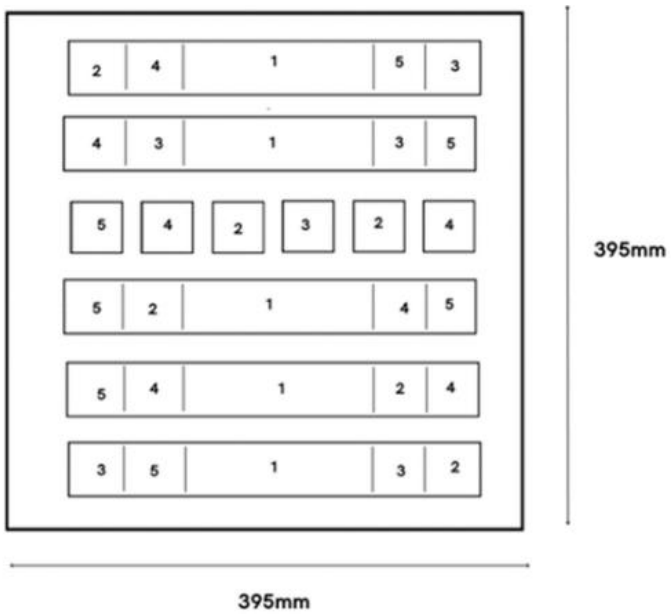

Com isso, foram feitas mudanças nos aparatos para a pré-prensagem, para que toda a área da chapa fosse prensada com carga distribuída de forma uniforme, com o formato de cruz, bem como para o limitador ser num formato de quadro, não permitindo que o material fosse espalhado ou desperdiçado. (Figura 18).

**Figura 18 - Aparatos novos para prensagem**




Outra mudança que ocorreu em comparação com a Figura 9 foi a adição de mais um corpo de prova de flexão e, em consequência, o acréscimo de mais quatro corpos de prova para os demais ensaios físicos e mecânicos (Figura 19) Essa nova configuração possui uma terceira linha de corpos de prova na extremidade inferior, uma a mais que a configuração inicial com cinco.

**Figura 19 - Nova configuração dos corpos de prova**




Para cada propriedade avaliada, os corpos de prova foram relacionados aos números 1 para determinação dos módulos de ruptura e de elasticidade na flexão estática, 2 para a determinação da resistência à adesão interna, 3 para determinar o inchamento em espessura e a absorção de água, 4 para determinar o perfil de

densidade e 5, para determinar a umidade, com dimensões de acordo com as prescrições da ABNT NBR 14810-2/2024.

Os valores médios de propriedades fisico-mecânicas encontrados na chapa dessa fase preliminar estão mostrados nas Tabelas 4 e 5, onde os valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação, em porcentagem. Observando-se resultados mais adequados, foi possivel passar para a fase principal.

**Tabela 4 - Resultados ensaios físicos tratamento 2**

| T2 | D (Kg/m$^3$) | U (%) | I (%) | AA (%) |
|---|---|---|---|---|
| Chapa 1 | 920 (2,2) | 7,9 (10,5) | 8,63 (36,07) | 28,63 (18,32) |

Fonte: (Autor)

**Tabela 5 - Resultados ensaios mecânicos tratamento 2**

| T2 | AI (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|---|---|---|---|
| Chapa 1 | 0,32 (28,04) | 9,38 (38,3) | 1591 (28,44) |

Fonte: (Autor)

# 5 DISCUSSÃO

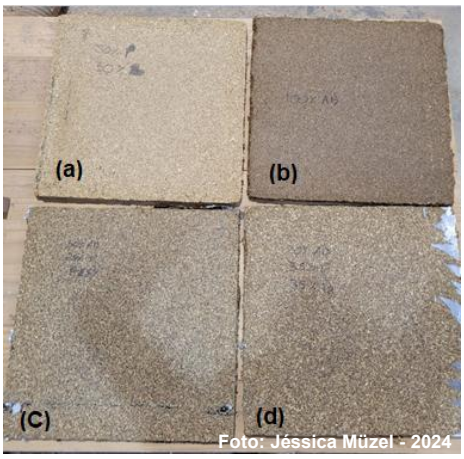
Após as mudanças apresentadas, foi possível se obter chapas com características de acordo com o indicado na literatura e, assim, partiu-se para a etapa principal da pesquisa.

Foram produzidas 9 chapas, sendo 3 chapas referentes aos traços T1, T3 e T4, e uma somente para o traço T2 devido à falta de material de folhas de coroas de abacaxi. A cada chapa acrescentou-se mais 200g de massa seca à mistura em todas as chapas.

A Figura (20a) apresenta uma chapa produzida somente com 50% Pinus e 50% Bambu, com aspecto rígido e coloração mais clara. Já a Figura (20b) mostra uma chapa constituída por 100% de folhas de coroa de abacaxi, com a coloração mais escura e igualmente rígida.

A Figura (20c) refere-se a uma chapa constituída por 50% de folhas de coroa de abacaxi, 25% de bambu e 25% de pinus e, por fim, uma chapa com 30% de folhas coroa de abacaxi, 35% de pinus e 35% de bambu é ilustrada na Figura (20d). Todas as chapas tiveram uma boa aparência e superfícies regulares.

**Figura 20 - Aspecto das chapas produzidas**




## 5.1 Resultados para as chapas dos quatro traços diferentes

Os resultados obtidos dos ensaios físico-mecânicos das chapas produzidas foram dispostos em tabelas e figuras apresentadas a seguir.

Primeiramente, serão apresentados os valores médios obtidos nos ensaios físicos e mecânicos, por painel, respectivamente, e posteriormente, a média das chapas para cada tratamento.

Os valores entre parênteses das tabelas são referentes ao Coeficiente de Variação (CV) de cada chapa expresso em porcentagem.

É importante destacar que esses valores são médios dos resultados obtidos nos corpos de prova de cada chapa, e como é possível verificar em algumas situações, os coeficientes de variação são altos.

Isso significa que as chapas não ficaram homogêneas, sendo que corpos de prova das bordas, por exemplo, resultaram em valores abaixo do esperado, já nos localizados no centro foram obtidos ótimos resultados, e isso fez com que houvesse muita variação.

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios físicos das chapas referentes ao Traço 1, com 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de pinus.

**Tabela 6 - Resultados dos ensaios físicos - tratamento 1**

| T1 | D (Kg/m$^3$) | U (%) | I (%) | AA (%) |
|---|---|---|---|---|
| Chapa 1 | 930 (0,96) | 8,3 (11,96) | 4,89 (13,12) | 24,89 (10,18) |
| Chapa 2 | 920 (2,20) | 8,9 (10,05) | 5,63 (36,07) | 26,63 (18,32) |
| Chapa 3 | 920 (1,09) | 8,4 (10,43) | 4,63 (15,96) | 23,41 (09,87) |

Fonte: (Autor)

A tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios físicos das chapas referentes ao traço 3, com 100% das partículas de abacaxi.

**Tabela 7 - Resultados dos ensaios físicos - tratamento 3**

| T3 | D (Kg/m$^3$) | U (%) | I (%) | AA (%) |
|---|---|---|---|---|
| Chapa 1 | 920 (1,10) | 8,1 (10,03) | 7,44 (19,95) | 27,44 (20,42) |
| Chapa 2 | 930 (1,90) | 8,2 (11,45) | 7,08 (16,15) | 31,96 (16,24) |
| Chapa 3 | 920 (1,09) | 8,7 (8,34) | 7,63 (16,69) | 29,4 (18,78) |

Fonte: (Autor)

A tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios físicos para as chapas do traço 4, com 35% de partículas de bambu, 35% de partículas de pinus e 30% das partículas de abacaxi.

**Tabela 8 - Resultados dos ensaios físicos - tratamento 4**

| T4 | D (Kg/m$^3$) | U (%) | I (%) | AA (%) |
|---|---|---|---|---|
| Chapa 1 | 970 (2,0) | 8,5 (10,4) | 6,41 (41,17) | 26,41 (15,68) |
| Chapa 2 | 973 (1,57) | 8,7 (10,9) | 6,64 (20,47) | 30,41 (14,68) |
| Chapa 3 | 970 (1,14) | 8,5 (10,1) | 6,29 (18,54) | 29,14 (13,86) |

Fonte: (Autor)

A tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos das chapas do traço 1, com 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de pinus.

**Tabela 9- Resultados dos ensaios mecânicos - tratamento 1**

| T1 | AI (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|---|---|---|---|
| Chapa 1 | 0,44 (43,75) | 16,07 (35,28) | 2249 (31,91) |
| Chapa 2 | 1,00 (43,75) | 15,57 (6,07) | 2150 (31,91) |
| Chapa 3 | 0,96 (36,98) | 15,63 (14,82) | 2321 (31,87) |

Fonte: (Autor)

A tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos das chapas do traço 3, com 100% das partículas de abacaxi.

**Tabela 10 - Resultados dos ensaios mecânicos - tratamento 3**

| T3 | AI (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|---|---|---|---|
| Chapa 1 | 0,75 (15,46) | 13,29 (35,73) | 1860 (37,47) |
| Chapa 2 | 0,96 (15,46) | 15,36 (29,73) | 2052 (16,85) |
| Chapa 3 | 0,80 (14,98) | 15,23 (28,24) | 1952 (18,78) |

A tabela 11 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos das chapas do traço 4, com 35% de partículas de bambu e 35% de partículas de pinus e 30% das partículas de abacaxi.

**Tabela 11 - Resultados dos ensaios mecânicos - tratamento 4**

| T4 | AI (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|---|---|---|---|
| Chapa 1 | 0,62 (19,05) | 9,59 (20,56) | 1308 (16,85) |
| Chapa 2 | 0,89 (19,05) | 12,42 (20,56) | 1987 (16,85) |
| Chapa 3 | 0,84 (19,89) | 11,63 (20,42) | 1525 (16,87) |

Fonte: (Autor)

Os resultados médios obtidos nas chapas, por tratamento, dos ensaios de densidade (D), umidade (U), adesão interna (AI), módulo de ruptura (MOR) e de elasticidade na flexão estática (MOE), inchamento em espessura (I) e absorção de água após imersão por 24 h em água (AA), são apresentados, nas Tabelas 12 e 13.

**Tabela 12 - Resultados da média dos ensaios físicos**

| Tratamento | D (Kg/m$^3$) | U (%) | I (%) | AA (%) |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 923 (0,51) | 8,53 (3,08) | 5,05 (8,39) | 24,98 (5,26) |
| T2 | 920 (2,20) | 7,90 (10,50) | 8,63 (36,07) | 28,63 (18,32) |
| T3 | 923 (0,51) | 8,33 (3,15) | 7,38 (3,09) | 29,60 (6,25) |
| T4 | 971 (1,15) | 8,57 (1,10) | 6,45 (2,25) | 28,75 (5,83) |

Fonte: (Autor)

**Tabela 13 - Resultados da média dos ensaios mecânicos**

| Tratamento | AI (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|---|---|---|---|
| T1 | 0,80 (31,89) | 15,76 (1,41) | 2240 (3,13) |
| T2 | 0,32 (28,04) | 9,38 (38,3) | 1591 (28,44) |
| T3 | 0,83 (10,70) | 14,63 (6,47) | 1954 (4,01) |
| T4 | 0,78 (15,00) | 11,21 (10,63) | 1606 (17,62) |

Fonte: (Autor)

## 5.2 Densidade (D)

A Tabela 14 apresenta os valores de densidade de chapas obtidas no trabalho de outros autores relacionados com compósitos de resíduos com bambu e madeira para comparação ao obtido no atual estudo.

**Tabela 14 - Densidade de chapas de trabalhos com Bambu e Pinus**

| Autores | Composição | Resina | Densidade ($Kg/m^3$) |
|---|---|---|---|
| Arruda (2011) | Bambu 100% | UF (8%) PF (8%) | 650 |
| Sampaio *et al*. (2008) | Bambu 100% | UF | <1000 |
| Laemlaksakul (2010) | Bambu 100% | UF (13%) | 600 |
| Zaia *et al* (2015) | Bambu 100% | Mamona | <1000 |
| Mendes *et al* (2002) | *Pinus oocarpa* 100% | FF | 430 |
| Dias (2005) | *Pinus elliottii* e *Eucalyptus urophila* | Mamona | 800 |
| Este estudo (2025) | *Pinus e bambu (50%/50%)* | Mamona | 923 |
| Este estudo (2025) | *Coroa de abacax (100%)* | Mamona | 923 |
| Este estudo (2025) | *Pinus, bambu e coroa de abacaxi (35%/35%/30%)* | Mamona | 971 |

Fonte: (Autor)

Pesquisas realizadas em laboratórios normalmente trabalham com valores de densidades dos painéis próximos a 700 $kg/m^3$ (TOSTES *et al*., 2004; BELINI; TOMAZELLO FILHO; CHAGAS, 2009), assim como nas indústrias, sendo raramente encontrados painéis com densidade inferiores a 500 $kg/m^3$.

Segundo Moslemi (1974), essa variação das densidades ocorre em decorrência do tempo de fechamento da prensa e diferenças na transferência de temperatura das camadas externas para a camada interna do painel durante o estágio de compressão das partículas do colchão até atingir a espessura final.

## 5.3 Umidade (U)

A NBR 14810-2 2018 determina que o valor da umidade de um painel de partículas esteja entre 5 e 13%. As 4 chapas produzidas com as diferentes composições de resíduos propostas apresentaram o valor do teor de umidade dentro da faixa indicada.

Os números obtidos nesta pesquisa estão próximos dos valores encontrados por Dias (2005), igual a 9% de umidade em seus painéis de madeira compensada e aglomerada, produzidos com a resina poliuretana à base de mamona.

Segundo Weber (2011), a variação do teor de umidade dos compósitos ocorre devido inicialmente às partículas serem secadas e, posteriormente, serem submetidas a altas temperaturas durante o processo produtivo, ocasionando danos à estrutura anatômica, levando a perda de água de constituição.

Segundo Bellini (2012), se a umidade do material estiver com valores altos ocorre formação de bolhas na chapa, com uma pressão elevada de vapor no centro do painel, muitas vezes ocorrendo o rompimento do painel na superfície, que vem da ocorrência de tempo, temperaturas e pressão muito alta no início da prensagem.

Esse comportamento foi notado em uma chapa produzida com partículas de 100% de folhas de coroa de abacaxi (Figura 21), devido ao teor da umidade das partículas estar superior à recomendada, em um dia chuvoso. Essa chapa então foi descartada, sendo imprópria para o uso nos ensaios.

**Figura 21 - Formação de bolhas**




A umidade tem um impacto significativo na performance dos painéis de partículas, especialmente no que se refere a suas propriedades físico- mecânicas, além da sua durabilidade. Com o controle adequado da umidade é possível minimizar esses efeitos e aumentar a vida útil do material, garantindo sua eficácia em diferentes aplicações.

## 5.4 Inchamento e Absorção de água

Para o ensaio de inchamento após 24 horas, a NBR 14810-2 define 8,5% como sendo o inchamento máximo para painéis, observando-se que com exceção do T2, os outros 3 atenderam ao que o documento normativo estabelece.

As três chapas ensaiadas apresentaram resultados de inchamento e absorção de água semelhantemente próximos aos referenciados em literatura.

Em trabalho realizado com painéis OSB de *Eucalyptus grandis* com 8% de adesivo fenol-formaldeído, Okino *et al*. (2008), observaram inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão igual a 14,6 e 26,8%, respectivamente.

## 5.5 Propriedades de adesão e flexão estática

A Tabela 15 apresenta os valores de resistência à tração perpendicular às faces, de MOR e de MOE obtidos nos trabalhos de outros autores relacionados com chapas produzidas com partículas de bambu e madeira, para comparação com o atual estudo.

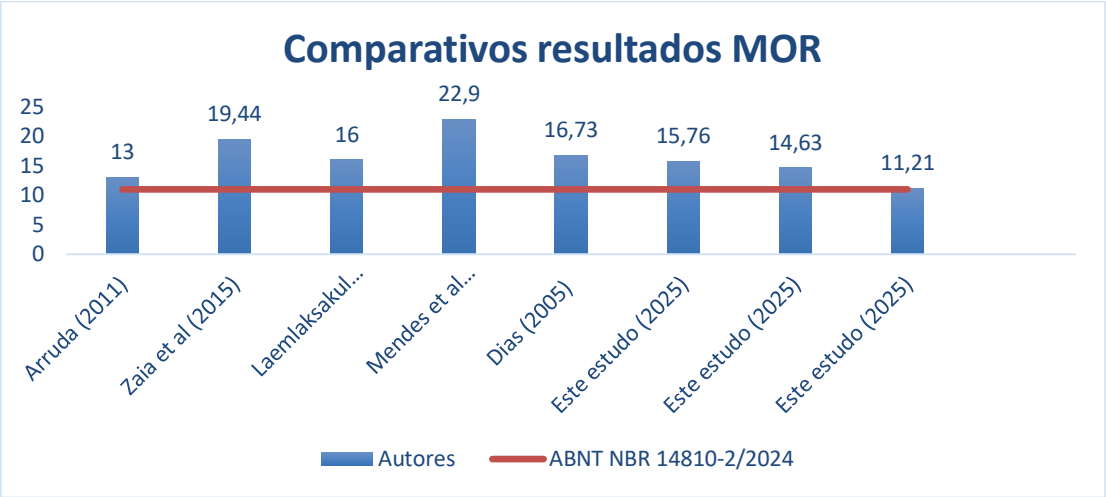
**Tabela 15 - Valores de AI, MOR e MOE de autores relacionados**

| Autores | Composição | Resina | AI (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| Arruda (2011) | Bambu 100% | UF (8%) | 0,26 | 13 | 1819 |
| | | PF (8%) | 0,22 | 14 | 1722 |
| Zaia *et al* (2015) | Bambu 100% | Mamona | 0,45 | 19,44 | 1789 |
| Laemlaksakul (2010) | Bambu 100% | UF (13%) | 0,19 | 16 | 1541 |
| Mendes *et al* (2002) | *Pinus oocarpa* 100% | FF | - | 22,9 | 1274 |
| Dias (2005) | *Pinus elliottii* e *Eucalyptus urophila* | Mamona | - | 16,73 | 2282 |
| Este estudo (2025) | *Pinus e bambu* | Mamona | 0,8 | 15,76 | 2240 |
| Este estudo (2025) | *Folha de Coroa de abacaxi* | Mamona | 0,83 | 14,63 | 1954 |
| Este estudo (2025) | *Pinus, bambu e folha de coroa de abacaxi* | Mamona | 0,78 | 11,21 | 1606 |

A NBR 14810 - 2024 apresenta um valor mínimo de MOR na flexão estática igual a 11 MPa para painéis não estruturais (uso interno em condições secas), MOR de 15 MPa para painéis não estruturais (condições úmidas – TIPO 3) e para painéis para uso estrutural com condições secas MOR de 16 MPa.

Para uma melhor visualização e principalmente comparação com os valores indicados neste documento normativo para painéis não estruturais (linha vermelha), o Gráfico 1 mostra o quão próximo os valores obtidos nesta pesquisa são do valor indicado pelo documento normativo e de trabalhos semelhantes.

**Figura 22 - Comparativo de valores de MOR**




Fonte: (Autor)

Os resultados de MOR obtidos mostram que todos os traços avaliados atingiram o valor mínimo estabelecido ABNT NBR 14810-2/2024 para painéis estruturais de uso interno tipo 2, que estipula 11 MPa como limite inferior para essa propriedade.

Entre os traços, observa-se que as chapas compostas exclusivamente por partículas de folhas de coroa de abacaxi (T3) e aquelas constituídas por 50% de partículas de Pinus e 50% de partículas de Bambu apresentaram valores acima de 11 MPa, situando-se também em patamares semelhantes aos relatados em trabalhos anteriores que exploraram matérias-primas alternativas na produção de painéis lignocelulósicos.

Esses resultados sugerem que tanto o uso isolado da folha da coroa de abacaxi quanto a combinação de Pinus e Bambu podem ser considerados caminhos promissores para o aproveitamento desses resíduos vegetais.

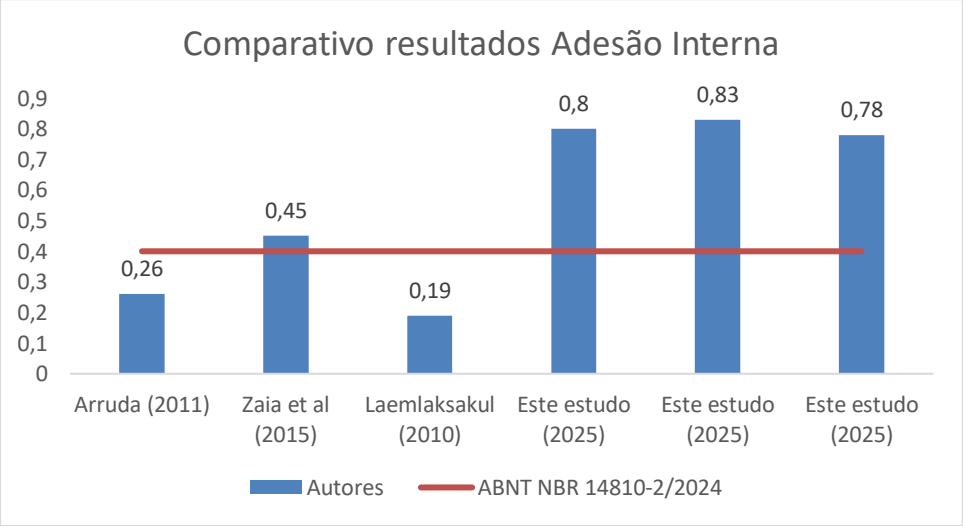
Por outro lado, as chapas produzidas a partir da mistura de partículas de Bambu, Pinus e folhas de coroa de abacaxi apresentaram desempenho inferior, ainda que dentro do limite normativo. Essa queda de resistência pode estar relacionada à heterogeneidade da matriz formada, uma vez que diferentes densidades e características anatômicas das partículas podem ter prejudicado a formação de ligações coesas e homogêneas com o adesivo. Esse comportamento reforça a ideia

de que a compatibilidade entre os resíduos é fator determinante no desempenho final das chapas.

Um ponto de destaque é que, quando analisadas isoladamente, as partículas de folhas de coroa de abacaxi mostraram maior potencial de uso, uma vez que as chapas produzidas com esse resíduo apresentaram resultados não apenas compatíveis com o mínimo exigido pela ABNT NBR 14810-2/2024, mas também superiores à chapa controle. Tal desempenho pode ser atribuído à estrutura fibrosa e à composição química desse resíduo, que possivelmente favorecem a interação com o adesivo e a distribuição das tensões na matriz do painel.

O Gráfico 2 apresenta uma melhor visualização dos valores obtidos em relação ao indicado pelo documento normativo e trabalhos semelhantes, evidenciando que as três chapas com diferentes proporções de materiais obtiveram um ótimo resultado.

**Figura 23 - Comparativo de valores de AI**




Fonte: (Autor)

No caso dos resultados encontrados no ensaio de Adesão Interna, segundo a NBR 14810-2018, para chapas com espessuras entre 8 e 13mm, o valor mínimo é 0,40 MPa, que foi atingido pelas chapas de todos os traços, com destaque para os tratamentos T1 e T3.

# 6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados neste estudo, conclui-se que é viável produzir compósitos a partir das folhas da coroa do abacaxi, combinadas com partículas de pinus e de bambu. Todos os traços utilizados atingiram o valor mínimo de MOR exigido pela ABNT NBR 14810-2/2024 para painéis estruturais de uso interno tipo 2 (11 MPa).

Os materiais utilizados na produção das partículas, incluindo bambu, madeira de pinus e folhas de coroas de abacaxi apresentam variáveis significativas que influenciam o desempenho das chapas, sendo a pré-prensagem um fator crítico que afeta diretamente as propriedades físico-mecânicas.

A análise dos resultados mostrou que a combinação das três matérias-primas utilizadas constitui uma alternativa promissora, embora o desempenho varie de acordo com a composição. Em particular, a chapa produzida exclusivamente com partículas de folhas de coroa de abacaxi (T3) apresentou os melhores resultados gerais, destacando-se nas propriedades físico-mecânicas avaliadas.

Embora todos os traços tenham alcançado os requisitos normativos, fatores como o tamanho reduzido das chapas (42 × 42 cm), a retirada de corpos de prova das bordas e a possibilidade de defeitos relacionados a orifícios nas placas da prensa podem ter influenciado os valores obtidos para MOR e MOE. Tais aspectos devem ser considerados em estudos futuros, incluindo análises químicas detalhadas, imagens de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e a produção de chapas com maiores dimensões, a fim de otimizar o desempenho e validar os resultados em condições mais próximas da escala industrial.

No conjunto, os resultados indicam que o uso de resíduos agroindustriais, como folhas de coroa de abacaxi e bambu, associados à madeira de pinus, constitui uma alternativa sustentável e tecnicamente viável, de acordo com a literatura e atendendo ao documento normativo vigente, contribuindo para o aproveitamento de resíduos, bem como a proporção entre os tipos de matérias-primas avaliadas.

## REFERÊNCIAS

ALVES, S. *et al*. Study of the Feasibility of "mix" of Species from Sawmill Waste and Limiting for Particleboard. **International Journal of Composite Materials**, v. 1, n. 4, p. 30-37, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Fluxograma de produção de compensado de madeira.** Curitiba, n.20, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR14810-3: Chapas de madeira aglomerada**. Rio de Janeiro. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007-3: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT *NBR 14810-2: Painéis de partículas de madeira - Requisitos***. Rio de Janeiro, 2018.

ARAUJO, E. O que é um material compósito?. **ESSS**, 2015. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/o-que-e-material-composito/>. Acesso em 15 de agosto de 2023.

ARIB, R. M. N. *et al*. Mechanical properties of pineapple leaf fiber reinforced polypropylene composites**. Materials & Design**, v. 27, n. 5, p. 391-396. 2006.

ARTACHO, V. F; ESPINACÉ, M. A. S. Caracterização de fibras de bambu e propriedade bactericida em compostos poliméricos. In: Simpósio de Pesquisa do Grande ABC, 3., 2013, ABC. **Anais**... ABC: UNIMEP, 2013. p. 1-2.

BENGOZI, F. J. *et al*. Análise do mercado do abacaxi comercializado na CEAGESP – São Paulo. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 494-499, 2007.

BENÍTEZ, A. N. *et al*. Treatment of banana fiber for use in the reinforcement of polymeric matrices. **Measurement**, v. 46, n. 3, p. 1065-1073, 2013.

BISCAINHO C. A. **Materiais compósitos: um dos maiores avanços.** IFP School. França. 2017. Disponível em < www.betaeq.com.br >. Acessado em outubro de 2023.

Bowyer, J. L.; Shmulsky, R.; Haygreen, J. G**. *Forest Products and Wood Science: An Introduction*.** 5. ed. Iowa: Blackwell Publishing, 2003.

BUI, Q. B.; GRILLET, A. C.; TRAN, H.D. A Bamboo Treatment Procedure: Effects on the Durability and Mechanical Performance. **Sustainability**, Chambéry, v.9, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

Carbonari, G., Silva Junior, N., Pedrosa, N. H., Abe, C. H., Scholtz, M. F., Acosta, C. C. V., & carbonari, luana toralles. (2017). BAMBU – O AÇO VEGETAL. *IX **Sustentável**, 3*(1), 17–25

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CHAOWANA, K.; Wisadsatorn, S.; Chaowana, P. Bamboo as a Sustainable Building Material—Culm Characteristics and Properties. **Sustainability** 2021, *13*, 7376.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. I.; FIORELLI, J. Agro-industrial waste composites as components for rural buildings**. Lignocellulosic Fiber And Biomass-based Composite Materials**, [s. l.], p. 13-25, 2017.

DE ARAUJO, V.; VASCONCELOS, J.; GAVA, M.; CHRISTOFORO, A.; LAHR, F.; GARCIA, J. What does Brazil know abut the origin and uses of tree species employed in the housing sector? Perspectives on available species, origin and current challenges. **International Forestry Review**, v.23, n.3, p.392-404, 2021.

DE ARAUJO, V. A.; COLAUTO, L. R.; ABEL, L. G. C.; DO ROSÁRIO, F. S.; VASCONCELOS, J. S.; MORALES, E. A. M.; BARBOSA, J. C.; GAVA, M.; CHRISTOFORO, A. L. Bamboo construction: main building techniques and their resources, sustainability, history, uses, and classification. In: PALOMBINI, F. L.; NOGUEIRA, F. M. **Bamboo and sustainable construction**. 1. ed. Cingapura: Springer-Nature Singapore, p. 25-60, 2023.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 178 f. Dissertação (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade São Paulo, São Carlos, 2005.

EMBRAPA. **Manual de editoração da Embrapa**. 4. ed. rev., atual. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2024. Disponível em: <https://abrir.link/QrZQg>.Acesso em 07 de agosto de 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Embrapa Florestas. **O Pinus**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-detecnologia/pinus. Acesso em: 18 nov. 2024.

FARRELLY, D. **The Book of Bamboo.** São Francisco: Sierra Club Books, 1984. 202 p.

FERREIRA, B. S. **Avaliação do desempenho de compensados de Pinus taeda submetidos a tratamento térmico e químico**. 2017. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

GAUSS, C. *et al*. Bamboo particleboards: recent developments. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 49, e55081, 2019.

Gustafsson, A.; Anderson, B.; Smith, C. Sustainability of Pinus monocultures in forestry practices. **Environmental Science & Technology**, v. 55, n. 4, p. 1234-1245, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados de safra de abacaxi no Brasil**. Brasília, DF: IBGE, 2023.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. 125 f. Dissertação (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais)– Universidade São Paulo, São Carlos, 2005.

JONES, R. M. **Mechanics of composite materials**. Nova Iorque: McGraw-Hill Company, 1975. p.368

Kollmann, F. F. P.; Côté, W. A.; Ruel, J. P. Principles of Wood Science and Technology. Vol. 1: Solid Wood. **Springer-Verlag**, 1975.

KU, H. *et al*. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. **Composites**, p. 856-873, 2011.

KHOSROW, G.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient**., v. 9, n.1, p.107, 2005.

LEVI NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 313 p.

LIMA, S. M., *et al*. (2020). Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Pinus para construção civil. **Revista Brasileira de Engenharia de Construção**. , v. 75, n. 3, p. 55-68, 2020.

LUO, S.; NETRAVALI, A. N. Interfacial and mechanical properties of environment-friendly “green” composites made from pineapple fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin. **Journal of Materials Science**, v. 34, p.3709-3719, 1999.

MARCON, J. *et al*. Estudo da modificação da fibra proveniente da coroa de abacaxi para a formação de compósitos poliméricos. In: Congresso Brasileiro de Polímeros Unesp, 10., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais**... Foz do Iguaçu: ABPol, 2009. p. 1-7.

MENDES, B. A. B. **Obtenção, caracterização e aplicação de farinha das cascas de abacaxi e manga**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2013.

MENDES, L.M., *et al*. Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, 2002

MIROV, N. T. **The Genus Pinus.** New York: Ronald Press Company, p. 602, 1967.

MOSLEMI, A. A. *Wood Composites*. **Van Nostrand Reinhold**, 1974.

MOTA, I. O. *et al*. Estudo das propriedades físicas e mecânicas do bambu brasileiro (*Bambusa vulgaris vittata*) para aplicação na construção de sistemas hidráulicos alternativos de distribuição de água à baixa pressão, **REA – Revista de estudos ambientais (Online)**, v.19, n. 1, p.18-26, 2017.

MOROZ, I. **Desenvolvimento de compósitos formulados com polipropileno e componentes de cigarros industrializados**. 2023. 148 f. Dissertação (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp Botucatu.

MULINARI, D. R. *et al*. Sugarcane bagasse cellulose/HDPE composites obtained by extrusion. **Composites Science and Technology**, v.69, n. 2, p. 214-219, 2009.

PANTASTICO, E. R. Structure of fruits and vegetables. In: PANTASTICO, E. B. ed. **Postharvest physiology handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables**. Westport: The AVI Publishing, p. 1-24. 1975.

PRADO, K. S.; SPINACÉ, M. A. S. Characterization of fibers from pineapples crown, rice husks and cotton textile residues. **MaterialsResearch**, v. 18, n. 3, p. 530-537, 2015.

SALGADO, A. L. B. *et al*. **Instruções técnicas sobre o bambu**. Boletim Técnico No. 143 do Instituto Agronômico, 43 p., Campinas, São Paulo, 1994.

SAWPAN, A, M.; PICKERING, K, L.; FERNYHOUGH, A. Flexural properties of hemp fibre reinforced polylactide and unsaturated. **Composites: Part A,** v. 43, n. 3, p.519-526, 2012.

SILVA, G. A.; SILVA, J. V. M. **Sistema Construtivo em Bambu – Calfitice**. XVIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, 2020.

SILVA, Jumelice dos S. *et al*. Hidrólise enzimática, fermentação e produção de biocombustíveis através da coroa de *Ananas comosus*. ***Química Nova***, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 482-489, 2018. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br/pdf/AR20180184. Acesso em: 26 mar. 2025.

SHIROSAKI, R. K.; ALMEIDA, T. H. de; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Caracterização de painéis de partículas de média densidade feitos com resina poliuretana mono componente à base de mamona. **Ambiente Construído**, [s.l], v.19, n.1, p. 37-43, Jan/ mar. 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p674-679

SOBCZAK, L.; LANG, R. W.; HAIDER, A. Polypropylene composites with natural fibers and wood – General mechanical property profiles. **Composites Science and Technology**, v. 72, n. 5, p.550-557, 2012.

SOUSA, B. A. A. **Funcionalidade dos extratos fenólicos obtidos pelo cultivo semi-sólido de resíduos de abacaxi (Ananascomosus L.) e goiaba (Psidiumguajava L.)**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SAURABH, C. K.; HUSSIN, M. H.; AKH, P. S. Green composites made of bamboo fabric and poly (lactic) acid for packaging applications - a review. **Materials**, v. 9, n. 6, 2016.

OLIVEIRAA, R. C.; BISPOA, R. A.; TREVISANA, M. F.; GILIOA, C. G.; RODRIGUESA, F. R.; SILVA, S. A. M. Influence of Leather Fiber on Modulus of Elasticity in Bending Test and of Bend Strength of Particleboards. **Materials Research,** [s.l], v.24, ago. 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1980- 5373-MR-2021-0287

OSTES, A. S. *et al*. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréiaformaldeído (UF) modificado com tanino da casca de Eucalyptus pellita F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 14-19, 2004.

VALARELLI, I. D. Physical and mechanical properties of particleboard bamboo waste bonded with urea formaldehyde and castor oil based adhesive. **Revista Matéria**, v. 19, n. 1, p. 1-6, 2014

WANBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics? **Composites Science and Technology**, v. 63, n. 9, p.1259-1264, 2003.

YANO, B. B. R.; SILVA, S. A. M. da. Produção e avaliação físico-mecânica de painéis de média e alta densidade com resíduos. **Ambiente Construído**, [s.l], v.20, n.4, p. 329-345, out/dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000400476

YOUSIF, B., F. *et al*. Flexural properties of treated and untreated kenaf/epoxy composites**. Materials and Design**, v. 40, p. 378-385, 2012.

ZAH, R. *et al*. Curauá fibers in the automobile industry, a sustainability assessment. **Journal of Clear Production**, v. 15, n. 11-12, p. 1032-1040, 2007.

ZAIA *et al*. “Particleboard reinforcement,” **BioResources,** 10(1), 1424-1433, 2015.