



**UFAM**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E  
AMBIENTAIS**

**AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA AMAZÔNIA NA  
PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARA REVESTIMENTO DE PAREDE**

**MARCOS BRENO LOPES MARQUES**

**MANAUS – AM  
2020**

MARCOS BRENO LOPES MARQUES

**AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA AMAZÔNIA NA  
PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARA REVESTIMENTO DE PAREDE**

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Claudete Catanhede do Nascimento

Coorientador: Dr. Roberto Daniel de Araújo

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Ciências Agrárias e Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do título de mestre em ciências florestais e ambientais.

MANAUS - AM  
2020



**Poder Executivo**  
**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal do Amazonas**  
**Faculdade de Ciências Agrárias**  
**Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências**  
**Florestais e Ambientais - PPGCIFA**



Ata da Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do (a) "**MARCOS BRENO LOPES MARQUES**", aluno (a) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPGCIFA, Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas, dia 01 de junho de 2020.

Ao primeiro dia do mês de junho de 2020, às 09:00 horas, por meio de Transmissão por Vídeo Conferência, realizou-se a Defesa de Mestrado, intitulada "**AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA AMAZÔNIA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARA REVESTIMENTO DE PAREDE**", do(a) discente **MARCOS BRENO LOPES MARQUES**, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **MESTRE "Magister Scientia" EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS**, área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Doutor (a) Claudete Catanhede do Nascimento (INPA), Doutor (a) Antônio de Lima Mesquita (UEA), Doutor(a) Virgínia Mansanares Giacon (UFAM). Após o fim da apresentação e da arguição pelos membros da Banca Examinadora, esta se reuniu e decidiu pela:

( X ) **APROVAÇÃO**, devendo o(a) discente entregar a versão final no prazo de 30 dias sob pena de desligamento, conforme § 2º, § 3º e *caput*, Art.13, Res. nº 033/2014.

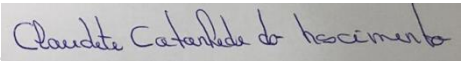
( ) **SUSPENSÃO DA SESSÃO**, devendo o(a) discente satisfazer, no prazo máximo de 60 dias, às exigências listadas na Folha de Modificação anexa ao Parecer, conforme §1º, art.13, Res. 033/ 2014.

( ) **NÃO APROVAÇÃO**, *caput* do art.13, Res. 033/2014.

A sessão foi encerrada e eu, Gillieny de Souza Rodrigues, Secretária do PPGCIFA, lavrei esta Ata que depois de lida e aprovada será assinada pelos membros da Banca Examinadora e pelo discente.


Manaus (AM), 01 de junho de 2020.

Banca Examinadora:

Doutor(a): .....  .....  
(Presidente – INPA)

Doutor(a): .....  .....  
(Membro Titular – UEA)

Doutor(a): .....  .....  
(Membro Titular – UFAM)

Ciência do Discente: .....  .....  
Assinatura

## Ficha Catalográfica

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

M357p	<p>Marques, Marcos Breno Lopes</p> <p>Avaliação de espécies arbóreas da Amazônia na produção de painéis para revestimento de parede / Marcos Breno Lopes Marques . 2020</p> <p>75 f.: il. color; 31 cm.</p> <p>Orientadora: Claudete Catanhede do Nascimento Coorientador: Roberto Daniel de Araújo</p> <p>Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.</p> <p>1. Resíduos madeireiros. 2. Painéis aglomerados. 3. Espécies amazônicas. 4. Propriedades físico-mecânicas. I. Nascimento, Claudete Catanhede do. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título</p>
-------	--

## RESUMO

Os resíduos de madeira resultantes das fases operacionais nas empresas do mercado florestal, normalmente são considerados subprodutos e, sendo assim, são descartados ou reutilizados de uma forma energética, no entanto, esse material apresenta um potencial maior, como a geração de novos produtos através de sua aglutinação, o que pode vir a gerar um novo comércio agregando competitividade entre produtos de espécies nativas e plantadas. Esta pesquisa teve como objetivo analisar a viabilidade do uso de resíduos sólidos para produção de painéis. As espécies estudadas foram: *Dinizia excelsa* Ducke e *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier e uma mistura de espécies comerciais de alta densidade. O delineamento experimental consistiu de cinco tratamentos tendo cinco repetições cada um deles. Foram produzidos painéis experimentais com densidade nominal de 0,80 g.cm<sup>3</sup>, utilizando a resina à base de óleo de mamona com percentuais de 10% e 15%. Os painéis foram prensados com pressão de 10 MPa, temperatura de 100°C e tempo de prensagem de dez minutos. As avaliações dos resultados obtidos foram comparadas com a norma ANSI A208.1 e com a literatura de painéis aglomerados de espécies tropicais. Os resultados obtidos indicam a viabilidade técnica da utilização dos resíduos provenientes do desdobro de espécies florestais para a produção de painéis de madeira aglomerada, com destaque para *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier que, de uma maneira geral, apresentou os melhores resultados da avaliação normativa, no entanto, todos os painéis apresentam potencial para industrialização.

Palavras-chaves: Resíduos madeireiros, painéis aglomerados, espécies amazônicas, propriedades físico-mecânicas

## ABSTRACT

The waste resulting from the operational phases in companies in the forestry market, are normally considered by-products and, therefore, they are discarded or reused in an energetic way, however, this material has a greater potential, such as the generation of new products through agglutination, which may generate a new trade adding competitiveness between products of native and planted species. This research aimed to analyze the feasibility of using wood residue for production particleboards. As studied species were: *Dinizia excelsa* Ducke and *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier and a mixture of high density commercial species. The experimental design consisted of five treatments with five replicates each. Experimental panels with nominal density of 0,80 g.cm<sup>3</sup> were used, using a castor oil-based resin with 10% and 15% percentages. The panels were pressed with a specific pressure of 10 MPa, a temperature of 100°C and a pressing time of ten minutes. The evaluations of the results obtained were compared with the ANSI A208.1 standard and the literature on particleboards of tropical species. The results obtained indicate the technical feasibility of using the residues from the forestry of amazon species for the production of particleboards, with emphasis on *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, which, in general, presented the best results of the normative evaluation, however, all panels have potential for industrialization.

Keywords: Wood residues, particleboards, Amazonian species, physical-mechanical properties

## 概要

林業市場の企業の運用段階から生じる廃棄物は、通常、副産物と考えられているため、廃棄されるか、エネルギーシユな方法で再利用されますが、この素材は新製品の生成など、大きな可能性を秘めています凝集により、在来種と植栽種の製品間の競争力を高める新たな貿易が生まれるかもしれません。この研究は、パーティクルボードの製造に木材残渣を使用する可能性を分析することを目的としています。調査した種は次のとおりでした : *Dinizia excelsa* Ducke および 高密度の市販種の混合物 および *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier。実験計画は、それぞれ 5 つの複製を含む 5 つの治療で構成されていました。密度が 10% および 15% のヒマシ油ベースの樹脂を使用して、公称密度 0.80g. cm<sup>3</sup> の実験用パネルを使用しました。パネルは、10MPa の比圧、100°C の温度、10 分間のプレス時間でプレスされました。得られた結果の評価は、ANSIA208.1 規格および熱帯種のパーティクルボードに関する文献と比較されました。得られた結果は、*Manilkara hubere* (Ducke) Chevalier に重点を置いて、アマゾン種の林業からの残渣を使用する技術的実行可能性を示しています。パネルなんでもには産業化の可能性がります。

キーワード : 木材残渣、パーティクルボード、アマゾン種、物理機械的特性

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradecer a Deus pelo dom da vida.

A Dr.<sup>a</sup> Claudete Catanhede do Nascimento, Dr. Roberto Daniel de Araújo e o doutorando Cristiano Souza do Nascimento pela orientação, apoio e confiança.

Aos colaboradores do Laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira, em especial ao Jean Dantas, e do Laboratório de Química da Madeira pela orientação, ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) / Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela formação científica e acadêmica.

A empresa Imperveg pela doação da resina para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Dr. Antônio de Lima Mesquita e a Dr.<sup>a</sup> Virginia Mansanares Giacon pela leitura da dissertação e pelas suas importantes considerações.

Aos meus pais, Marcos e Rose, e minha irmã Brenda, pelo apoio, carinho, incentivo, confiança e dedicação.

Aos professores do Curso de Engenharia Florestal e da Pós-Graduação, pelo incentivo a pesquisa.

A todos os demais amigos e àqueles a quem considero muito especiais e que prestaram sua colaboração nas diversas fases do curso e no desenvolvimento e finalização deste trabalho.

Muito obrigado a todos!



## EPÍGRAFE

*“Da floresta, eu recebo força para trabalhar. Da floresta eu tenho tudo, tudo, tudo Deus me dá.”*

**Alfredo Gregório de Melo**

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Desenvolvimento do mercado de painéis de madeira.....	22
Tabela 2. Ambiente de uso do produto colado em função do tipo de adesivo...	29
Tabela 3. Espécies identificadas e utilizadas no estudo.....	35
Tabela 4. Composição da matéria prima.....	39
Tabela 5. Classificação, valores e uso recomendado de painéis pela norma ANSI A208. 1.....	48
Tabela 6. Notas aplicadas nas avaliações de peças nos ensaios de usinagem.....	49
Tabela 7. Quantitativo de compostos inorgânicos das espécies.....	51
Tabela 8. Valores médios da massa específica aparente dos painéis.....	53
Tabela 9. Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura.....	54
Tabela 10. Valores médios de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e resistência a tração perpendicular à superfície.....	57
Tabela 11. Resultados das avaliações das amostras após testes de usinagem.....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Face tangencial da espécie <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier.....	19
Figura 2. Face tangencial da espécie <i>Dinizia excelsa</i> Ducke.....	19
Figura 3. Variedades de painéis à base de madeira.....	22
Figura 4. Mapa de localização na empresa Mil Madeiras Preciosas.....	33
Figura 5. Resíduos das espécies <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier e <i>Dinizia excelsa</i> Ducke.....	34
Figura 6. Processo de confecção das partículas de madeira.....	36
Figura 7. Amostras dos resíduos de madeira utilizados para cálculo de umidade.....	37
Figura 8. Incineração das madeiras em forno Mufla.....	38
Figura 9. Resina a base de mamona utilizada na confecção dos painéis.....	40
Figura 10. Pesagem dos materiais.....	41
Figura 11. Processos de confecção.....	42
Figura 12. Finalização das placas.....	42
Figura 13. Esquadrejamento e corte realizado para retirada de amostras.....	43
Figura 14. Corte das bordas e do corpo de prova das placas.....	43
Figura 15. Corpos de prova das cinco placas.....	45
Figura 16. Ensaio de tração utilizando garras de aperto por parafuso na máquina AME – 5Kn.....	46
Figura 17. Ensaio de flexão utilizando dispositivo para flexão em 3 pontos na máquina AME – 5kN.....	47
Figura 18. Equipamentos para usinagem de furo.....	49
Figura 19. Bitola dos pregos utilizados para teste de fendilhamento.....	50
Figura 20. Placas de resíduos da madeira.....	52
Figura 21. Relação módulo de ruptura e deformação por repetição.....	56
Figura 22. Relação módulo de elasticidade e deformação por repetição.....	57
Figura 23. Disposição geral das amostras após testes de usinagem.....	59
Figura 24. Furação dos corpos de prova.....	60
Figura 25. Rachaduras nas bordas dos corpos de prova.....	61
Figura 26. Deformidades dos pregos no corpo de prova do tratamento de <i>Dinizia excelsa</i> Ducke (85%).....	61

Figura 27. Deformidades dos pregos no corpo de prova do tratamento de <i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i> (85%).....	62
Figura 28. Ensaio de tracção das amostras de <i>Dinizia excelsa</i> Ducke com 85% de resíduo.....	71
Figura 29. Ensaio de tracção das amostras de <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier com 85% de resíduo.....	71
Figura 30. Ensaio de tracção das amostras de <i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i> com 85% de resíduo.....	72
Figura 31. Ensaio de tracção das amostras de <i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i> com 90% de resíduo.....	72
Figura 32. Ensaio de tracção das amostras de variadas espécies comerciais de alta densidade da Amazônia com 85% de resíduo.....	73
Figura 33. Ensaio de flexão das amostras de <i>Dinizia excelsa</i> Ducke com 85% de resíduo.....	73
Figura 34. Ensaio de flexão das amostras de <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier com 85% de resíduo.....	74
Figura 35. Ensaio de flexão das amostras de <i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i> com 85% de resíduo.....	74
Figura 36. Ensaio de flexão das amostras de <i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i> com 90% de resíduo.....	75
Figura 37. Ensaio de flexão das amostras de variadas espécies comerciais de alta densidade da Amazônia com 85% de resíduo.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANSI - American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Padrões)
- ASTM - American Society For Testing And Materials (Associação Americana para Testes e Materiais)
- COTEI - Coordenação de Tecnologia e Inovação
- EN - European Standard (Comité Europeu de Normalização)
- HDF - High Density Fiberboard (Chapa de fibra de alta densidade)
- INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
- LAIM – Laboratório de Identificação de Madeira
- LaMAC - Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos
- LEAM – Laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira
- MDF - Medium-Density Fiberboard (Placa de fibra de média densidade)
- MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
- MDP - Medium Density Particleboard (Painel de Partícula de Média Densidade)
- OSB - Oriented Strand Board (Painel de tiras de madeira orientadas)
- SECEX - Secretária de Comércio Exterior
- UFAM – Universidade Federal do Amazonas

## SUMÁRIO

1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	18
2.1 ESPÉCIES TROPICAIS DE INTERESSE COMERCIAL.....	18
2.1.1 Maçaranduba ( <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier) .....	18
2.1.2 Angelim Vermelho ( <i>Dinizia excelsa</i> Ducke).....	19
2.2 RESÍDUOS NA INDÚSTRIA MADEIREIRA .....	20
2.3 PAINÉIS DE MADEIRA .....	21
2.4 VARIÁVEIS INERENTES A PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS	23
2.4.1 Massa específica.....	23
2.4.2 Geometria das partículas .....	24
2.4.3 Teor de umidade .....	24
2.4.4 pH.....	25
2.4.5 Parâmetros de processamento .....	26
2.4.6 Extrativos e teor de cinza .....	27
2.4.7 Adesivos.....	28
2.4.8 Adesivos mais utilizados .....	29
2.4.8.1 Melamina-formaldeído.....	29
2.4.8.2 Isocianeto ou MDI.....	30
2.4.8.3 Uréia-formaldeído (UF).....	30
2.4.8.4 Fenol-formaldeído (FF).....	30
2.4.8.5 Poliacetato de vinila (PVAc) .....	31
2.4.8.6 Adesivos bioderivados.....	31
2.4.8.7 Resina Poliuretana à Base de Óleo da Mamona.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.1 Área de estudo .....	32
3.2 Vegetação .....	33
3.3 Clima .....	33
3.4 Solo .....	34
3.5 Coleta da matéria prima .....	34
3.6 Identificação botânica das amostras .....	35
3.7 Obtenção das partículas.....	35
3.8 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DAS MADEIRAS.....	36
3.8.1 Teor de umidade .....	36
3.8.2 Densidade aparente .....	37

3.8.3 Determinação do teor de cinzas no resíduo de madeira (Norma ASTM D1102-84/2007) .....	38
3.8.4 Determinação do teor de sílica nas cinzas do resíduo de madeira .....	38
3.9 PROCEDIMENTOS PARA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	39
3.9.1 Delineamento experimental.....	39
3.9.2 Descrição da resina utilizada.....	40
4. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS .....	40
4.1 Densidade básica.....	43
4.2 Densidade aparente .....	44
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS .....	44
4.3.1 Inchamento.....	44
4.3.2 Absorção .....	45
4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....	45
4.4.1 Módulo de ruptura .....	46
4.4.2 Módulo de elasticidade à flexão .....	46
4.4.3 Resistência a tração perpendicular .....	47
5. TESTES DE USINAGEM .....	48
5.1 Teste de Furação .....	48
5.2 Teste de fendilhamento por pregos.....	49
6. ANÁLISE DOS DADOS.....	50
6.1 Análise de produção e utilização dos painéis.....	50
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
7.1 Teor de cinza e sílica das madeiras .....	50
7.2 Análise visual dos painéis produzidos .....	52
7.3 Densidade aparente dos painéis .....	52
7.4 Absorção e inchamento.....	53
7.5 Módulo de ruptura, Módulo de elasticidade e resistência a tração perpendicular.....	55
7.6 Testes de usinagem .....	58
7.7 Análise de produção e utilização dos painéis.....	62
8. CONCLUSÃO.....	62
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
8. ANEXOS .....	71

## 1.INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira representa uma área de aproximadamente 3,6 milhões de km<sup>2</sup>, o que equivale a 42% da área total do Brasil onde se estima que existam cerca de 6.000 espécies arbóreas, das quais aproximadamente 100 são utilizadas no comércio (Garcia *et al.* 2012). O consumo de madeira em grande escala pelos diversos setores da sociedade faz com que surjam discussões e questionamentos sobre os impactos dos resíduos madeireiros ao ecossistema, instigando a ciência florestal no desenvolvimento de pesquisas sobre soluções mitigadoras dos impactos ambientais gerados nos processos produtivos, onde a matéria-prima madeira é o principal componente (Weber & Iwakiri, 2015).

No Brasil, a geração de resíduos madeireiros é estimada em cerca de 85.000.000 m<sup>3</sup>/ano, somente na exploração e processamento mecânico nas serrarias. Já, na indústria, estima-se que seja em torno de 28.000 toneladas/ano de resíduos madeireiros, sendo grande o seu potencial de geração de impactos ambientais negativos, quando mal manejado (Pinto, 2011). Segundo Lopes (2009), grande parte do resíduo madeireiro é destinado à queima direta em sistema de cogeração de energia térmica (vapor para secadores de madeira) ou é queimado a céu aberto, ou ainda descartado em aterros, terrenos baldios, lixões ou cursos d'água.

O aproveitamento de resíduos na forma de costaneiras, refilos e aparas, provenientes de serrarias, para produção de painéis de madeira aglomerada, seria uma das alternativas, no sentido de se obter um produto de maior valor agregado (Iwakiri *et al.* 2000). Em uma pesquisa realizada em serraria que trabalha com certificação de cadeia de custódia na Amazônia, Andrade (2017) concluiu que no processo de desdobro das espécies o rendimento é inferior a 35%, sendo assim, pode-se inferir que cerca de 65% seria biomassa residual. Entre as espécies mais exploradas na região amazônica podemos citar: *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (Maçaranduba) e *Dinizia excelsa* Ducke (Angelim Vermelho), manejadas principalmente devido aos múltiplos usos de suas madeiras.

Em estudo desenvolvido por Mota (2018) em uma serraria de médio porte na região de Novo Aripuanã/AM, o rendimento médio encontrado destas espécies, respectivamente, foi de 40,05% com 59,95% de resíduos e 59,13%



com 40,87% de resíduos. Melo *et al.* (2012), verificou que uma tora de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (2,90 m<sup>3</sup>) rende aproximadamente 45% (1,30 m<sup>3</sup>) e os outros 55% são resíduos. Enquanto que Stragliotto (2019) ao estudar o rendimento de madeira serrada para exportação da espécie *Dinizia excelsa* Ducke, observou um aproveitamento de 40,18% com 59,82% de resíduos. Demonstrando assim que estas espécies apresentam potencial de resíduos promissor para a produção de painéis de madeira aglomerada.

Além disso, Hillig *et al.* (2003) afirma que a mistura de madeira de diferentes espécies traz vantagens na qualidade dos painéis quando levadas em consideração todas as propriedades físicas e mecânicas desejadas. Diante da escassez de estudos do aproveitamento de resíduos na produção de painéis utilizando madeiras amazônicas, esta pesquisa surge como uma possibilidade de reduzir os impactos negativos na sua geração produzindo painéis individuais e com a mistura destas espécies, possibilitando a agregação de valor ao que se considera resíduo da indústria madeireira. A questão norteadora do trabalho foi pesquisar se os resíduos de madeira provenientes do processamento mecânico de uma ou de várias espécies da Amazônia são capazes de se aglutinar para formar um painel resistente.

### **Pressupostos**

Os resíduos de processamento mecânico de espécies arbóreas da Amazônia teriam condições para fabricação de painéis com características tecnológicas para uso em habitação.

A quantidade de resíduos gerados pode atender a demanda de produção de painéis.

### **1.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a viabilidade do uso de resíduos sólidos para produção de painéis.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar tecnologicamente (física e química) as espécies arbóreas utilizadas;
- Definir as configurações e composições dos painéis, em relação às variáveis adotadas em sua manufatura;
- Produzir painéis de acordo com as características das espécies;

- Avaliar a qualidade e definir classes dos painéis nas diferentes composições;
- Analisar a produção e utilização dos painéis

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 ESPÉCIES TROPICAIS DE INTERESSE COMERCIAL**

Na Floresta Amazônica há uma infinidade de espécies madeireiras, com uma grande amplitude de propriedades, cores e desenhos que permitem usos em diversos tipos de produtos, desde móveis até a construção civil (Uliana, 2010). A fim de diminuir a pressão sobre as essências florestais mais comerciais é importante que haja estudos sobre as características tecnológicas das madeiras que se pretende comercializar (Reis *et al.* 2019). De acordo com Adeodato *et al.* (2011), pesquisas sobre tecnologia da madeira e manejo florestal devem apresentar novos resultados para diversificar as opções de madeira e o seu uso.

#### **2.1.1 Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier)**

É uma espécie encontrada na América do Norte, Central e do Sul (Sampaio, 2000), apresentando uma distribuição do Para até a metade oriental do Amazonas, abrangendo o norte do Mato Grosso e nordeste do Maranhão até o Suriname. Também aparece nas proximidades do Atlântico até Roraima, Rondônia e Amapá (Loureiro *et al.* 1979).

Com cerca de 40-50 m de altura, é uma árvore de grande porte, nativa das regiões de terra firme da Amazônia, de até 700 m de altitude. Outras variações do seu nome vulgar são: maçaranduba amarela, maçaranduba de leite, maçaranduba mansa, maçaranduba preta, maçaranduba verdadeira e paraju (EMBRAPA, 2004).

Sua madeira apresenta cerne de cor vermelho-arroxeadado, com tendência a se tornar vermelho-escuro com o tempo, distinto do alburno que é castanho-claro. É classificada como muito pesada (densidade 1,04 g/cm<sup>3</sup>) apresentando alta retratibilidade volumétrica, resistência mecânica de média a alta e possui alta durabilidade natural (INPA, 1991). Sua aplicabilidade ocorre tanto na construção civil como na naval (Saddi, 1977).



Figura 1. Face tangencial da espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier

Fonte: Acervo de madeiras amazônicas - LEAM

### 2.1.2 Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke)

É uma espécie endêmica da região Amazônica (Dick *et al.* 2003). Ocorre no Brasil, nos estados do Acre, Rondônia, Amazonas, Pará, Roraima, Amapá e Maranhão. A única coleta registrada fora do território brasileiro foi no sul da Guiana. (Ferreira *et al.* 2004a).

A árvore de *D. excelsa* é emergente, uma das maiores da região amazônica. A altura média do dossel da floresta fica entre 35 e 40 m de altura, mas pode alcançar até 60 m de altura (20 m acima da média) e mais de 2 m de diâmetro (Loureiro *et al.* 1979; SUDAM 1979). Outras variações do seu nome vulgar são: angelim-pedra, angelim-pedra-verdadeiro, angelim, angelim-falso, angelim-ferro, faveira, faveira-dura, faveira-ferro, faveira-grande, faveira-carvão, faveira-preta (Brasil); Kuraru, parakwa (Guiana) (Mesquita *et al.* 2009).

Sua madeira apresenta cor com cerne castanho-avermelhado e albarno cinza-avermelhado a castanho róseo (EMBRAPA, 2004). É classificada como muito pesada (0,95-1,15 g/cm<sup>3</sup>), tem alta durabilidade natural, resistente ao ataque de xilófagos (Loureiro *et al.* 1979), sendo empregada na construção civil e naval, dormentes, postes e peças torneadas (Souza; Magliano; Camargos, 1997).



Figura 2. Face tangencial da espécie *Dinizia excelsa* Ducke

Fonte: Acervo de madeiras amazônicas – LEAM

## 2.2 RESÍDUOS NA INDÚSTRIA MADEIREIRA

O termo resíduo de madeira, por muitas vezes é associado à palavra problema, pois geralmente sua disposição ou utilização adequada gera custos altos o que muitas vezes deseja-se evitar. Porém, o conhecimento da quantidade, da qualidade e das possibilidades de uso deste material pode gerar uma alternativa de uso que viabilize o seu manuseio (Feitosa, 2012). Os problemas relacionados às questões ambientais como a poluição e a geração de resíduos e suas consequências, estão, em muitos casos, associados aos processos produtivos. O melhor aproveitamento da matéria-prima, por meio de processos que incorporem os princípios de gestão ambiental, vem ganhando importância nas indústrias e instituições de pesquisas, pois, além dos benefícios ambientais e sociais, trazem vantagens econômicas às empresas (Weber & Iwakiri, 2015).

Atualmente no Brasil, devido ao crescimento da geração de resíduos, evidencia-se o desenvolvimento de propostas que objetivam minimizar a poluição no meio ambiente. Entretanto, de modo geral, os resíduos são utilizados para produção de energia, e as indústrias brasileiras estão limitadas à utilização de tecnologia para processamento de madeira de pinus e eucalipto na produção de painéis aglomerados e painéis de fibra (SILVA *et al.* 2012). Para que haja um avanço no setor é necessário que exista um processo de classificação dos resíduos em relação a suas dimensões, especificidade das espécies, qualidade, entre outros, a fim de viabilizar e otimizar a real aplicação dos mesmos (Pereira *et al.* 2011). O aproveitamento de resíduos na forma de costaneiras, refilos e aparas, provenientes de serrarias, para produção de painéis de madeira aglomerada, seria uma das alternativas, no sentido de se obter um produto de maior valor agregado (Iwakiri *et al.* 2000).

Desta maneira será possível introduzir a ideia de produção com o máximo aproveitamento possível, transformando o que atualmente é denominado resíduo em produtos com alto valor agregado, ampliando e maximizando as possibilidades de aproveitamento dos recursos madeiráveis de nossas florestas (Pereira *et al.* 2011). A alternativa de seu aproveitamento na produção de novos painéis é uma ideia que vem ao encontro do apelo social atual, favorável à

adoção de materiais que provoquem o mínimo impacto ambiental ao ecossistema (Weber & Iwakiri, 2015).

### 2.3 PAINÉIS DE MADEIRA

Os painéis de madeira são estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação que, aglutinadas pela ação de pressão, de temperatura e da utilização de resinas, são novamente agregadas visando à manufatura (Biazus *et al.* 2010). O Brasil está entre os principais produtores de painéis de madeira no mundo, com exportações que trazem inegável contribuição para a balança comercial e geram muitos empregos e renda em todo o País (IBÁ, 2017). Estes surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça (Mattos *et al.* 2008).

De maneira geral, os painéis são classificados de acordo com o processo de fabricação e utilização da madeira, sendo classificados como: (i) painéis de madeira maciça: painel colado lateralmente, compensado e os de (ii) madeira reconstituída: - painéis de partículas: aglomerado, OSB (*Oriented Strand Board*), MDP (*Medium Density Particleboard*), *waferboards*; – painéis de fibra: MDF (*Medium-Density Fiberboard*), chapas duras e HDF (*High Density Fiberboard*) (Figura 3). A diferença entre os tipos de painéis de madeira está em suas propriedades físicas e mecânicas, as quais permitem aplicações diferenciadas na construção civil e indústria moveleira. Tais características envolvem resistência, uso interior ou exterior, uniformidade da superfície, tolerância a usinagem, resistência à fixação de parafusos, entre outros o que permite a substituição da madeira maciça (ABIMCI, 2009; Brito, 2015).

Além dos fatores relacionados às características da madeira de cada espécie e sua massa específica, a produção de painéis aglomerados depende de vários fatores que estão relacionados entre si, com maior e menor importância, que de forma direta ou indireta, influenciam em suas propriedades físicas e mecânicas. As variáveis de processo como a geometria de partículas, teor de umidade, tipo e quantidade de resina e ciclo de prensagem, devem ser consideradas dentro dos critérios e padrões recomendados industrialmente (Iwakiri *et al.* 2001).

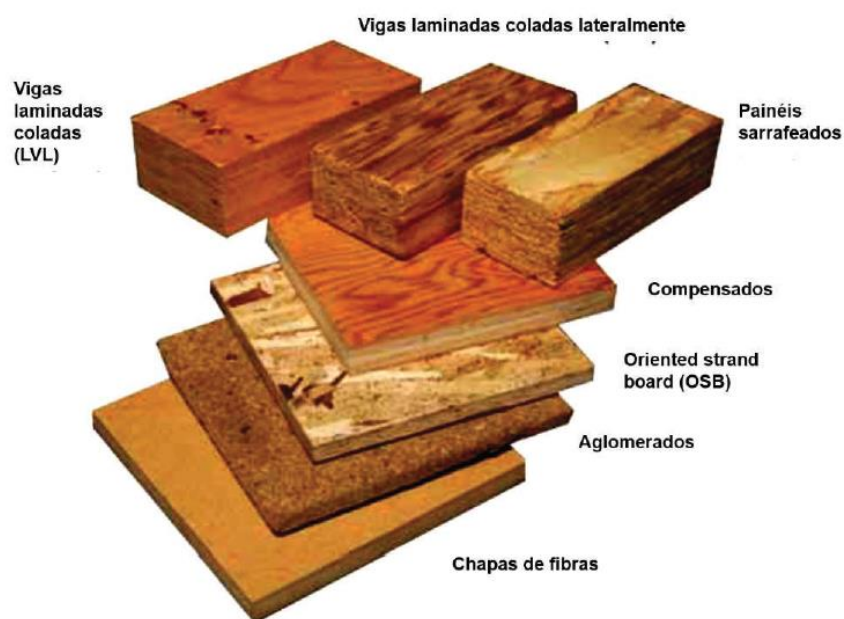


Figura 3. Variedades de painéis à base de madeira. Adaptado de (Bergman *et al.* 2010; Brito, 2015).

O mercado de painéis no Brasil ainda não pode ser considerado maduro. Apesar de o compensado, o aglomerado (MDP) e as chapas de fibra já terem longo histórico de fabricação nacional, o MDF começou a ser fabricado em 1997 e o OSB somente em 2001, onde a introdução desses painéis ocasionou a modificação da estrutura do mercado (Mattos *et al.* 2008). No entanto, dados divulgados pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), por meio da Secretária de Comércio Exterior (SECEX) (Tabela 1), demonstram a evolução em metros cúbicos dos últimos dois anos em relação ao consumo de painéis no país e a potencialidade deste material.

Tabela 1: Desenvolvimento do mercado de painéis de madeira

Painéis de Madeira	Nov			Jan - Nov		
	2017	2018	Var. %	2017	2018	Var. %
Vendas Domésticas	614	620	1,0	5.959	6.218	4,3
Exportações (1)	93	111	19,4	1.155	1.236	7,0
Importações (1)	1	1	0,0	4	5	25,0
Consumo Aparente	615	621	1,0	5.963	6.223	4,4

Fonte: (1) SECEX/MDIC; IBÁ (2018)

## **2.4 VARIÁVEIS INERENTES A PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS**

As propriedades da madeira estão intrinsecamente relacionadas às propriedades dos produtos obtidos a partir desta, como os painéis aglomerados. Dentre as propriedades da madeira que afetam as propriedades dos painéis aglomerados podemos citar: espécie, massa específica, geometria das partículas, teor de umidade, pH e extrativos (Iwakiri, 2005).

### **2.4.1 Massa específica**

A massa específica consiste na variável mais importante para a escolha da espécie a ser empregada na produção de painéis (Maloney, 1993). As propriedades físicas e mecânicas dos painéis, assim como e os parâmetros do processo, são afetados por esta variável (Kelly, 1977; Moslemi, 1974; Maloney, 1993). Partículas de espécies de madeiras mais densas, produzem uma baixa razão de compactação, sendo necessário então alterar outras variáveis do processamento, como aumentar a proporção de resina, o que acarreta também no aumento do custo de produção (Mendes, 2001).

Segundo Maloney (1993) as espécies com massa específica de até 0,55 g/cm<sup>3</sup> são as mais adequadas para produção de painéis de partículas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 a 1,6, considerada a faixa ideal para o processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final. Kelly (1977) afirma que, para painéis de mesma massa específica, produzidos com madeiras de baixa massa específica, as propriedades mecânicas serão superiores, entretanto, a sua estabilidade dimensional será inferior em comparação aos painéis produzidos com madeira de maior massa específica.

De acordo com o mesmo autor, as propriedades mecânicas dos painéis apresentam relação direta com a razão de compactação, mas as propriedades físicas exibem uma relação inversamente proporcional. Para amenizar esse problema, madeiras de maior massa específica básica podem ser misturadas com madeiras de menor massa específica básica, possibilitando a produção de painéis com razão de compactação dentro da faixa adequada. Dessa forma, a mistura de espécies na composição de painéis aglomerados pode ser a resposta parcial para a utilização de espécies tropicais para essa finalidade (Moslemi, 1974).

#### **2.4.2 Geometria das partículas**

A geometria de partículas é um parâmetro importante no processo de produção de painéis aglomerados. O comprimento, largura e espessura das partículas são controlados no processo produtivo, visando a homogeneidade das dimensões que irão influenciar na área superficial específica e, conseqüentemente, no consumo de resina e propriedades dos painéis (Kelly, 1977). Segundo Iwakiri (2005) a geometria das partículas apresenta interação direta com duas variáveis do processo: a área de contato entre as partículas e o consumo relativo de resina (disponibilidade de resina por unidade de área das partículas). Matos (1988) também comenta que a geometria das partículas afeta a transferência de calor através da espessura do painel submetido à prensagem.

De acordo com Maloney (1993) e Moslemi (1974), partículas com dimensões menores requerem maior consumo de resina, tendo em vista a maior área superficial específica para a distribuição adequada do adesivo nas partículas. Com a aplicação de mesma quantidade de resina, o painel produzido com partículas maiores, apresentará maior ligação interna, tendo em vista sua menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de resina por unidade de área (Maloney, 1993). Para a maioria das propriedades, as partículas longas e finas são melhores. No entanto, para a melhor qualidade da superfície, as partículas pequenas são melhores. É por isso que a maioria dos fabricantes usam as partículas finas para as camadas superficiais e as partículas maiores para o núcleo do painel (Irle *et al.* 2010).

De maneira geral, partículas longas e finas resultam em painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional, já painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular (Haselein *et al.* 2002).

#### **2.4.3 Teor de umidade**

O teor de umidade das partículas que são utilizadas como matéria prima para a produção do painel influencia no seu processo produtivo, pois alterações não previstas dessa propriedade geram mudanças nas características da madeira que está sendo empregada, exercendo assim influências sobre a cura da resina, tempo de prensagem e pressão necessária para a consolidação do painel (Iwakiri, 2005).



O teor de umidade do colchão é responsável pela migração do calor entre as partículas de madeira da superfície para o centro do painel, desempenhando um papel importante, também, para a cura da resina. Quando a umidade das camadas superficiais do painel é vaporizada, pelo contato com os pratos aquecidos da prensa, este vapor migra para o miolo do painel e, desta forma, a resina reage mais facilmente. No caso da formação de painéis aglomerados, a principal transferência de calor se faz pela convecção, que consiste na movimentação do vapor aquecido, seguido pela condução, que se resume na transmissão de calor pelo contato entre as partículas de madeira. (Strickler, 1959 apud Albuquerque, 2002).

Quando o teor de umidade é elevado ocorre: aumento no ciclo de prensagem; presença de “bolhas” de vapor; partículas mais flexíveis, requerendo um menor tempo para atingir uma determinada espessura (Albuquerque, 2002). Enquanto isso, baixos teores de umidade da madeira podem resultar em: riscos de incêndio em secadores; descargas eletrostáticas em tubulações; aumento do pó na indústria e; painéis com bordas deficientes (Pratt, 1997).

A importância do teor de umidade da madeira durante o ciclo de prensagem relaciona-se a influência que este exerce sobre a resistência da madeira para compressão. A umidade juntamente com a temperatura proporciona uma maior plasticidade da madeira que oferecerá menor resistência à compactação, além de favorecer a transferência de calor desde a superfície até o miolo (Matos & Keinert, 1988). O teor de umidade das partículas utilizadas para a produção de painéis aglomerados varia entre 3 e 6% (Moslemi, 1974; Kollmann, *et al.* 1975; Iwakiri, 1989; Tsoumis, 1991; Vital, 1992; Maloney, 1993). Para Irle *et al.* (2010) a umidade pode estar entre 2 e 8%.

#### **2.4.4 pH**

O pH da madeira é conhecido por variar entre 3 a 6 na maioria dos casos, e segundo Albin (1975) o pH é uma variável importante na produção de painéis. Em termos de processamento e aproveitamento da madeira, o pH influi na fixação de preservantes químicos, na aplicação de tintas e vernizes, e na cura de resinas. Para Irle *et al.* (2010) espécies de pH neutro podem não curar a resina suficientemente, enquanto espécies mais ácidas podem acarretar em uma pré-cura da resina quando trabalhando com resinas à base de formaldeído.

Neste caso, o painel pode ficar fraco e quebradiço, isto porque a cura do adesivo ocorre antes das partículas serem comprimidas e, no momento da prensa fechar, as ligações da resina são quebradas.

O pH da matéria-prima geralmente não é um problema se permanecer razoavelmente constante, mas se houver variações, as quantidades de endurecedores e tampões adicionados aos adesivos deverão ser continuamente alteradas para se adequar à madeira utilizada. As diferenças ocorrem entre as espécies, dentro das espécies, dependendo de onde a árvore cresceu e dentro da árvore (principalmente a diferença entre cerne e alborno). Além disso, o pH e a capacidade tampão da madeira podem mudar com o tempo e as condições de armazenamento (Elias e Irle, 1996).

Cada espécie produz um tipo diferente de matéria-prima, pois existe a interação com todas as outras variáveis no processo de produção de painéis (Maloney, 1993). Além disso, as espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura anatômica: arranjo dos tecidos; ocorrência dos elementos anatômicos em diferentes proporções; dimensões dos elementos celulares (Tsoumis, 1991). As resinas de base ureia-formaldeído, usadas na maioria da produção mundial de aglomerados, são muito dependentes do pH do ambiente no qual curam. (Albin, 1975).

#### **2.4.5 Parâmetros de processamento**

O ciclo de prensagem dos painéis para a indústria gera as mais instáveis condições no processo de fabricação dos painéis, pois regula o fluxo de produção e o consumo de energia (Matos & Keinert, 1988). Para pesquisa, a prensagem dos painéis, é uma das áreas mais exploradas pois envolve muitas variáveis, e é uma das etapas mais críticas da produção. Portanto, é um campo abrangente para testar as variáveis do processo e estimular resultados que atendam as mais variadas demandas de produtos finais (Matos & Keinert, 1988; Trianoski, 2010). Durante a prensagem diversos parâmetros deverão ser considerados: o tempo, a temperatura, a pressão, a velocidade de fechamento da prensa e o teor de umidade do colchão. (Moslemi, 1974; Kollmann; Kenzi; Stamm, 1975; Matos, 1988; Iwakiri, 1989; Maloney, 1993).

A aplicação de pressão do processo de formação do painel é responsável pela consolidação e densificação do material, até atingir a espessura pré-

determinada para o produto final (Iwakiri, 2005). A temperatura da prensagem é fundamental na produção de painéis de madeira pois normalmente o adesivo utilizado é de cura a quente, portanto, o calor emitido pelos pratos da prensa tem a função de promover a polimerização e a cura da resina, além de plasticização da madeira. A temperatura dos pratos é controlada, pois altas temperaturas podem causar um dos mais comuns defeitos na produção de painéis, o selamento superficial do painel, que resulta na impossibilidade da umidade da camada interna ser liberada através do vapor, como resultado do alto teor de umidade da camada interna do painel podem surgir bolhas ou até estouros de painéis (Matos & Keinert, 1988; Iwakiri, 2005a; Trianoski, 2010).

O tempo de prensagem é definido em função da espessura da chapa, da umidade do colchão e da temperatura de prensagem (Iwakiri, 2005). Exercendo influências significativas sobre as propriedades dos painéis, controle de espessura e qualidade de superfície do painel (Marra, 1992). De acordo com Iwakiri (1989), quanto mais elevada a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de vapor. Isto impacta na melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, o que resulta em resistência mais elevada em ligação interna, mas uma reduzida resistência em flexão estática. Uma maior temperatura da prensa também resultará em um menor tempo de prensagem.

#### **2.4.6 Extrativos e teor de cinza**

Pesquisas têm mostrado que os extrativos na superfície da madeira são os principais contribuidores para a inativação da superfície, gerando assim um pobre umedecimento do adesivo (Albino *et al.* 2012). A influência destes componentes químicos da madeira na formação e desempenho da ligação adesiva está relacionada, principalmente à exposição de áreas de maior ou menor concentração de extrativos na superfície da madeira a ser colada (Iwakiri, 2005).

De acordo com Sjöström (1981) e Klock (2000); são considerados extrativos, substâncias químicas que não fazem parte da parede celular ou lamela média, com baixa massa molecular, geralmente constituídos de materiais orgânicos como graxas, óleos, gorduras, taninos, carboidratos, ácidos gomas e resina. Estes materiais são produzidos durante a formação do cerne e seus

efeitos predominantes, estão relacionados à redução da higroscopicidade e da permeabilidade/porosidade da madeira.

Segundo Lima *et al.* (2008), em função da quantidade e do tipo de extrativo presente na madeira, pode ocorrer uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo influenciando conseqüentemente a qualidade de colagem. Em relação as cinzas, Iwakiri (2005) afirma que, o seu conteúdo na madeira encontra-se geralmente abaixo de 0,5% e não afeta diretamente o desempenho da ligação adesiva. No entanto, poderá afetar o pH ou as características de usinabilidade da madeira, devido à presença de minerais como a sílica e seu efeito quanto ao desgaste excessivo das ferramentas de corte.

#### **2.4.7 Adesivos**

Segundo Wellons (1997), os adesivos podem ser entendidos como sendo substâncias com propriedades de aderir fortemente a um substrato, mantendo vários substratos de um mesmo material ou materiais diferentes unidos por meio de uma ligação superficial. Esta propriedade, não é intrínseca à substância e desenvolve-se sob algumas condições enquanto interage com a superfície do aderente. Os aderentes são os materiais sólidos ligados pelo adesivo; também podem ser chamados de substratos.

A colagem é uma etapa fundamental para a moderna indústria de produtos da madeira, promovendo um aproveitamento mais racional da matéria-prima e que ultimamente vem se tornando uma necessidade, tanto pela tecnologia desenvolvida quanto pela escassez de madeira sólida (Lima *et al.* 2008).

A atual revolução tecnológica alcançada pelo setor moveleiro e madeireiro, proporciona uma diversificação nas opções de uso de adesivos através da abertura de múltiplas possibilidades de eficácia e produtividade que, somadas ao crescente número de usos específicos, exigem conhecimento altamente especializado para a escolha dos produtos e processos mais adequados às operações de colagem (REMADE, 2007). Segundo Vick (1999), a escolha do adesivo está em função do ambiente no qual o produto colado será utilizado, como é possível se notar pela Tabela 2.

Tabela 2. Ambiente de uso do produto colado em função do tipo de adesivo

Classificação de adesivo	Ambiente de Uso	Tipo de adesivo
Estrutural	Exterior	Melamina-formaldeído (MF)
		Emulsão polímero/isocianato
		Fenol-formaldeído (FF)
		Resorcinol-formaldeído (RF)
Estrutural	Exterior Limitado	Fenol-resorcinol-formaldeído (FRF)
		Epóxi
		Melamina-uréia-formaldeído (MUF)
Estrutural	Interior	Isocianato
		Uréia-formaldeído (UF)
		Caseína
Semi-estrutural	Exterior Limitado	Poliuretano
		Polivinil acetato "crosslinking"
		Acetato de polivinila (PVAc) "Hot-melt"
Não Estrutural	Interior	Animal
		Amido
		Soybean

Fonte: PRATA (2010), traduzido de Forestry Product Laboratory, (1999).

#### 2.4.8 Adesivos mais utilizados

Os principais tipos de resina usados na fabricação de produtos reconstituídos de madeira, são apresentados a seguir (Vick, 1999; Razera, 2006):

##### 2.4.8.1 Melamina-formaldeído

A melamina-formaldeído (MF), é uma resina classificada como de uso intermediário entre as uréias-formaldeído e do fenol-formaldeído (MR – moisture resistente, BR – boil resistente). Apresenta coloração branca leitosa, e com as vantagens de ter maior resistência a umidade em relação à resina UF e cura mais rápida em relação a resina FF. No processo de fabricação do pré-condensado de melamina-formaldeído, o pH situa-se em torno de 9, com a finalidade de não acelerar demasiadamente a reação de condensação. Porém, a cura final ocorre no meio ácido, com a utilização de mesmos catalisadores da uréia formaldeído. A temperatura de cura é na faixa de 65 a 130°C, sendo que na temperatura de 130°C, não é necessário o uso de catalisador. Foi uma resina usada primeiramente para laminados decorativos. São mais caras que as FF. A resina MF pode ser misturada com a resina UF para certas aplicações, sendo comercializada como resina melamina-uréia-formol (MUF).

#### **2.4.8.2 Isocianeto ou MDI**

É uma resina de uso mais recente (comparada com a fenol-formaldeído e uréia-formaldeído) que ganha parte do mercado em função do interesse público sobre problemas de emissões de formaldeído livre. O MDI é usado na maioria das fábricas de “oriented strand board” (OSB). É uma resina muito eficiente e apresenta alta performance em painéis de partículas estruturais. Uma desvantagem se refere à habilidade de aderir a superfícies metálicas durante a prensagem. MDI tem seu custo mais elevado do que as resinas a base de formaldeído.

#### **2.4.8.3 Uréia-formaldeído (UF)**

Sua composição é baseada na uréia e formaldeído. A uréia é produzida pela reação de dióxido de carbono e amônia. O formaldeído é obtido pela oxidação do metanol preparado a partir de monóxido de carbono e hidrogênio, ou de petróleo. Mais de 90% das indústrias de painéis de madeira utiliza resina (UF), tendo em vista o seu baixo custo. Sua desvantagem consiste na susceptibilidade à degradação hidrolítica na presença de umidade e/ou ácidos, especialmente em temperaturas moderadas e elevadas.

#### **2.4.8.4 Fenol-formaldeído (FF)**

É uma resina de coloração vermelha escura, e sua temperatura de cura é na faixa de 130 a 150°C. As resinas fenólicas são obtidas por meio de reações químicas de fenóis com o formaldeído. São usadas principalmente em painéis resistentes à prova d’água tais como compensados estruturais, aglomerados estruturais “waferboard” e “OSB”. A FF apresenta como característica principal alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior. Embora o formaldeído esteja presente em ambos os tipos de resinas, as madeiras coladas com a resina FF emitem geralmente o formaldeído em taxas consideravelmente mais baixas do que aqueles colados com a resina UF. O custo da resina fenol-formaldeído é relativamente alto, sendo em torno de 2,5 vezes mais que o da resina uréia-formaldeído.

#### **2.4.8.5 Poliacetato de vinila (PVAc)**

Comercializada na forma de emulsão aquosa ou crosslinking, é uma resina termoplástica mais utilizada pelas indústrias de painéis e artefatos de madeira. A cura da resina PVAc – termoplástica se processa à temperatura ambiente. As características técnicas da resina PVAc podem variar em função da adequação à finalidade de uso, sendo normalmente de baixa resistência à umidade. Porém existem fórmulas desenvolvidas especialmente para ser aplicado onde se requeira alta resistência térmica e alta resistência à água, (resistência à água nível “D-4” conforme “EN-204:2001”), pelo processo de prensagem a frio, a quente e alta frequência. É um produto sem características tóxicas com relação à manipulação ou inalação. Utilizado em colagens de painéis e laminados plásticos e materiais porosos em geral.

#### **2.4.8.6 Adesivos bioderivados**

De acordo Pizzi (2006) o termo adesivo bioderivado refere-se aos materiais de origem natural, não mineral, que podem ser utilizados após simples modificações na sua composição química, com performance semelhante aos adesivos sintéticos. Dentre os principais adesivos bioderivados pesquisados pode-se citar os com base em tanino, lignina, proteínas e carboidratos.

O interesse no desenvolvimento de adesivos bioderivados relaciona-se à crescente e atual conscientização da sociedade sobre questões referentes à conservação do meio ambiente. Por influência desta preocupação, o setor governamental vem regulando e restringindo o uso de adesivos sintéticos, e o setor privado criando certificações ambientais para produtos derivados de madeira que visem a redução do uso de adesivos sintéticos com algum nível de toxicidade (Nakamura, 2018).

#### **2.4.8.7 Resina Poliuretana à Base de Óleo da Mamona**

Desenvolvido no século XX, pelo professor Gilberto Orivaldo Chierice, do Instituto de Química de São Carlos, na Universidade de São Paulo – USP, o PU à base do óleo de mamona surge com o objetivo de se obter um material com baixo risco à saúde e ao meio ambiente (Chierice, 1984).

Extraído da planta da mamona (*Ricinus communis*), que é abundantemente encontrada nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil, este componente é feito a partir da mistura do óleo (poliol) e o diisocianato derivado do petróleo (pré-polímero), originando uma resina de poliuretano capaz de realizar o processo de polimerização (Dias, 2005).

Além de ser um adesivo que possui boa resistência à água e aos raios ultravioleta, boa resistência mecânica, não é agressivo ao meio ambiente e ao ser humano, o seu preço tende a ser razoável devido à sua grande disponibilidade no mercado, bem como do seu manuseio e cura à temperatura ambiente (Dias; Lahr, 2004).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada em cinco fases distintas: 1) Apresentação da proposta para os dirigentes da empresa; 2) Coleta das amostras para identificação científica das espécies; 3) Análise química das madeiras; 4) Produção de painéis; 5) Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis e 6) Avaliação dos painéis.

#### **3.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado na empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda., vinculada ao grupo Precious Wood Amazon (PWA), localizada no município de Itacoatiara (Figura 4) distante cerca de 227 km da cidade de Manaus- AM (02°43'S e 58°31'-58°57'O). As fazendas onde se concentram as atividades da empresa, todas em regime de Manejo Florestal certificado (escopo da certificação), somam uma área de 248.058,94 hectares, entre os municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga (Precious Woods Amazon, 2018).



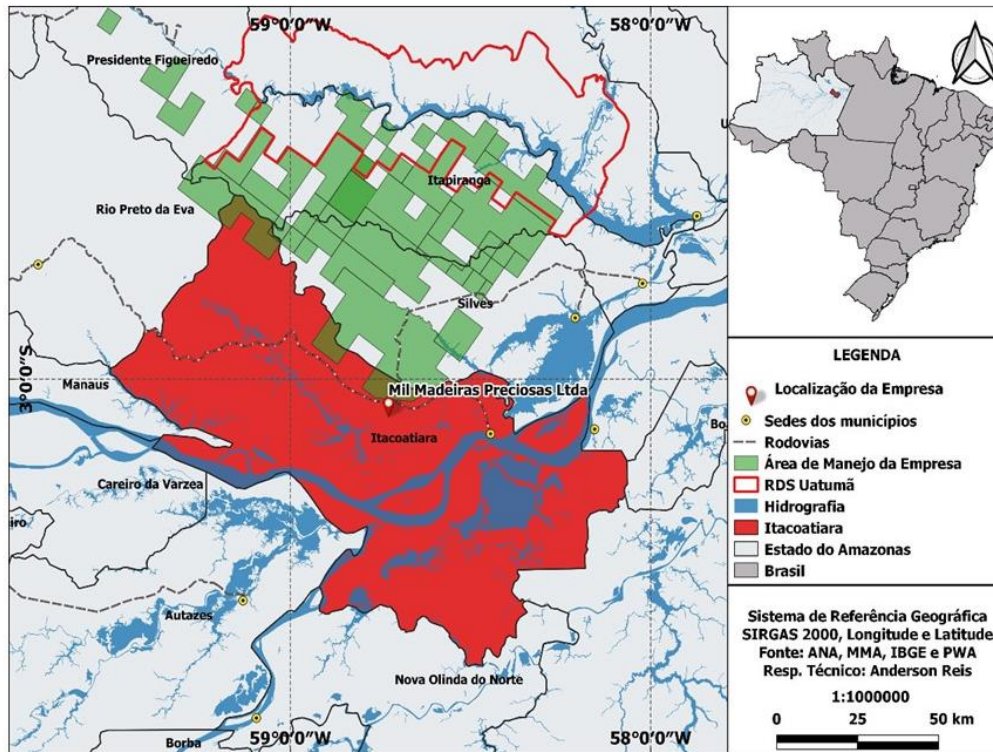


Figura 4. Mapa de localização na empresa Mil Madeiras Preciosas.

### 3.2 Vegetação

Segundo RADAM BRASIL (1978), a vegetação do local se classifica como Floresta Tropical Fechada de Terras Baixas da sub-região de baixos platôs da Bacia Amazônica. A tipologia vegetal predominante na área é de florestas de terra firme, com altura do dossel entre 30 e 50 m e sub-bosque dominado por palmeiras (Rankin de Merona *et al.* 1992). As espécies comerciais estão localizadas nas áreas de terra firme, constituída por Floresta Ombrófila Densa, entretanto também podem ser encontradas as formações vegetais de Floresta de Alagadiço (Igapó) e Campinarana (Precious Woods Amazon/ PMFS, 2013).

### 3.3 Clima

O clima do local está classificado, segundo Koppen, como Grupo Climático A (Clima Tropical Chuvoso), abrangendo o tipo e variedade climática Amw (chuvas do tipo monções), representando uma variedade do tipo Am, possuindo todas as características, diferindo apenas por apresentar as maiores quedas pluviométricas durante o outono. A precipitação pluviométrica anual é de cerca de 2200 mm, com menor volume mensal entre agosto e outubro. A

temperatura média é de 26° C e a umidade relativa do ar é de 80% (RADAM BRASIL, 1978).

### 3.4 Solo

O local possui relevo ondulado e os solos são classificados como Latossolo Amarelo Distrófico, de acordo com o Mapa Geral de Solos do Brasil (RADAM BRASIL, 1978). Estando inserida na microrregião do Médio Amazonas, a área possui baixa fertilidade natural, textura argilosa e alta toxidez de alumínio (Mendonça, 2003).

### 3.5 Coleta da matéria prima

Com aprovação da empresa foram identificadas duas espécies arbóreas (Maçaranduba e Angelim Vermelho) com maior índice de comercialização e rejeição no momento do desdobro no banco de dados da própria empresa.

Pela dificuldade da coleta das partículas durante o processo de desdobro das madeiras, em razão de não ficarem separadas por espécies no setor do processamento mecânico, foram solicitadas amostras de resíduos sólidos das duas espécies da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda. (Figura 5). As amostras foram coletadas após secagem em estufa convencional da empresa

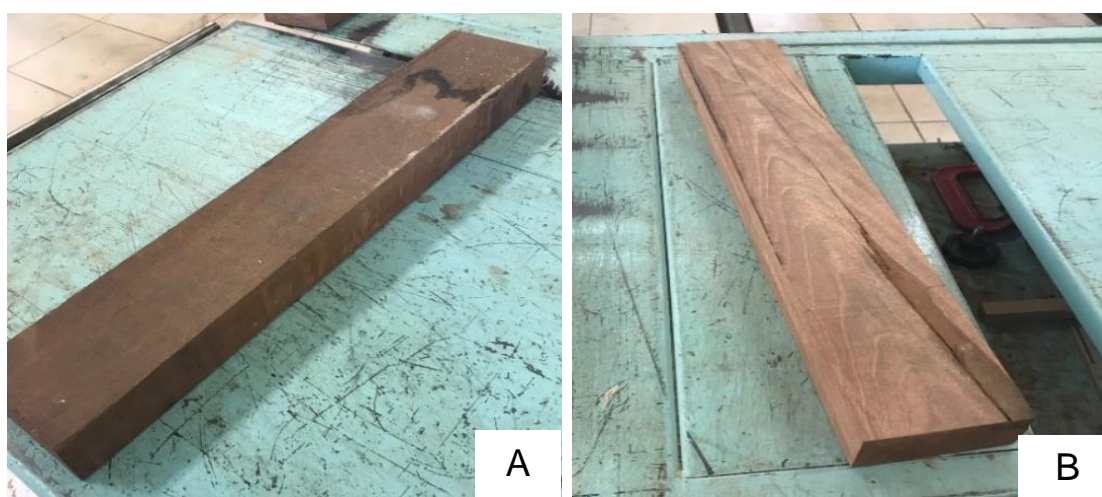


Figura 5. Resíduos das espécies *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (A) e *Dinizia excelsa* Ducke (B).

Após coletas as amostras foram levadas para o Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira – LEAM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA da Coordenação de Tecnologia e Inovação – COTEI para identificação científicas das amostras, caracterização físico-química e processamento.

### 3.6 Identificação botânica das amostras

Das amostras obtidas no item 3.5 foram confeccionados corpos de prova orientados no sentido tangencial e radial para serem identificadas no Laboratório de Identificação de Madeira (LAIM) da Coordenação de Tecnologia e Inovação (COTEI), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). As identificações foram realizadas com o auxílio de uma lupa de aumento (10X) para a análise macroscópica e pela comparação das amostras catalogadas na xiloteca desta coordenação. Sendo identificadas as duas espécies conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Espécies identificadas e utilizadas no estudo

Nome Popular	Espécies	Família Botânica
Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	Sapotaceae
Angelim Vermelho	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Fabaceae

### 3.7 Obtenção das partículas

Para a obtenção das partículas as amostras foram transformadas em ripas no Laboratório de Engenharia da Madeira – LEAM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, (Figura 6) sendo estas cortadas em pedaços menores e trituradas em moinho mecânico para a obtenção das partículas.



Figura 6. Processo de confecção das partículas de madeira: A) Ripas de *Dinizia excelsa* Ducke e *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier; B) Filetes de madeira; C) Trituração dos filetes de madeira em moinho mecânico; D) Partículas e ripas de madeira aguardando o processo de corte em filete.

As amostras de cada espécie foram caracterizadas identificando gênero, espécie, família, conteúdo de umidade e densidade básica, cinzas e sílica.

### 3.8 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DAS MADEIRAS

#### 3.8.1 Teor de umidade

O teor de umidade foi determinado por dupla pesagem de serragem (60 mesh) das espécies (Figura 7), onde foi realizada uma primeira quantificação em balança de precisão e posteriormente após o processo de secagem em estufa a 105°C, a segunda pesagem, com o intuito de se alcançar o peso constante, para ser determinada pela Equação:

$$(U) = \left( \frac{P_i - P_f}{V_f} \right) \times 100 \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

U = umidade (%);

P<sub>i</sub> = peso inicial – úmido (g); e

P<sub>f</sub> = peso final – seco em estufa (g).



Figura 7. Amostras dos resíduos de madeira utilizados para cálculo de umidade

### 3.8.2 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada pelo método estequiométrico com umidade da madeira de 12%, sendo realizada no Laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira (LEAM). As duas madeiras utilizadas para confecção dos painéis foram pesadas e medidas utilizando uma balança digital de precisão 0,01 g e paquímetro digital marca Starrett, Série 799, onde a massa aparente foi determinada pela fórmula:

$$(\rho) = \frac{P}{V} \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

$\rho$  = densidade (g.cm<sup>-3</sup>)

P= peso do corpo de prova a 12%

V= volume do corpo de prova a 12% (cm<sup>3</sup>)

### 3.8.3 Determinação do teor de cinzas no resíduo de madeira (Norma ASTM D1102-84/2007)

Nesta etapa foram pesados 1 (um) grama de serragem (60 mesh) e colocados em cadinhos de platina, sendo levados à estufa (103 ± 2 °C) por uma hora para retirada de umidade, em seguida, os cadinhos foram levados à mufla (Figura 8) para incineração, iniciando um aquecimento gradativo até 600 °C. Depois de 15 minutos os cadinhos foram retirados da mufla e acondicionados em dissecador para resfriamento seguindo de pesagem. Posteriormente, colocou-se o cadinho na mufla (600°C) por mais um período de 15 minutos, repetindo o processo de pesagem até o peso constante. Finalizando o teor de cinzas sendo calculado pela seguinte forma:

$$\% \text{Cinzas} = \left( \frac{P_{\text{cinzas}}}{P_s} \right) \times 100 \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

$P_{\text{cinzas}}$  = Peso de cinzas (g)

$P_s$  = Peso de serragem (g)



Figura 8. Incineração das madeiras em forno Mufla.

### 3.8.4 Determinação do teor de sílica nas cinzas do resíduo de madeira

A determinação da sílica nas cinzas foi realizada conforme VOGEL (1981). Calculada pela fórmula:

$$\% S_i = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_0} \right) \times 100 \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

$P_1$  = cadinho com amostra ( $H_2SO_4$  a  $85^\circ C$ ) – peso do cadinho seco (g)

$P_2$  = cadinho com amostra ( $H_2SO_4 + HF$  a  $85^\circ C$ ) – peso do cadinho seco (g)

$P_0$  = amostra inicial (menor peso do cadinho + amostra a  $100^\circ C$  – peso do cadinho seco a  $600^\circ C$ ) (g).

### 3.9 PROCEDIMENTOS PARA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

A metodologia utilizada para a produção dos painéis segue as especificações da NBR 14810-1 (ABNT, 2013) para painéis de partículas de média densidade com adaptações. Foi formatado que os painéis a serem desenvolvidos deveriam possuir dimensões  $40 \times 40 \times 1,5$  (cm) com densidade de  $0,80 g/cm^3$ . O volume da matéria a ser utilizado na produção foi calculado pela equação, onde:

$$(\rho) = \frac{P}{V} \text{ (Equação 5)}$$

Em que:

$\rho$  = densidade ( $g \cdot cm^{-3}$ )

P= peso do corpo (g)

V= volume do corpo ( $cm^3$ )

#### 3.9.1 Delineamento experimental

Os painéis foram desenvolvidos de acordo com as composições pré-estabelecidas para madeira e resina, considerando as quatro combinações (Maçaranduba, Angelim Vermelho, Angelim Vermelho + Maçaranduba e Aleatório) em duas diferentes proporções 85 e 90% (Tabela 1). O aleatório (NI) foi coletado na oficina do LEAM no momento do processo de acabamento de espécies provenientes da empresa pertencente a outro projeto.

Tabela 4. Composição da matéria prima

Espécies	Tratamentos	Composição (%)	
		Madeira	Resina
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	1	85	15
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	1	85	15
<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	1	85	15

<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	1	90	10
NI	1	85	15

NI = Mistura de espécies amazônicas comerciais de alta densidade

### 3.9.2 Descrição da resina utilizada

Foi utilizada a resina IMPERVEG AGT 1315 doada pela empresa IMPERVEG Polímeros Indústria e Comércio Ltda, sua composição é a base de poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona), bi-componente, 100% sólido (isento de solventes) não liberando vapores tóxicos, formulado pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um polioliol (componente B) (Figura 9), resultando em polímeros com diferentes características, proporcionando estabilidade físico-química, de elasticidade e impermeabilidade.



Figura 9. Resina a base de mamona utilizada na confecção dos painéis

## 4. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

Os painéis foram produzidos no Laboratório de Ensaio Físico-Químicos da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), sendo adotadas como referências metodológicas os trabalhos realizados por Lima (2012), Silva *et al.* (2013) e Silva (2019).

A princípio, foram pesadas as partículas de madeira em balança digital (Figura 10) para separação dos componentes de acordo com a Tabela 4 em embalagens plásticas individuais, um dia antes a preparação dos painéis. No dia da elaboração das placas, foram pesados os componentes A (pré-polímero) e B



(poliol) em balança digital presente no Laboratório de Ensaio Físico-Químicos da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas.

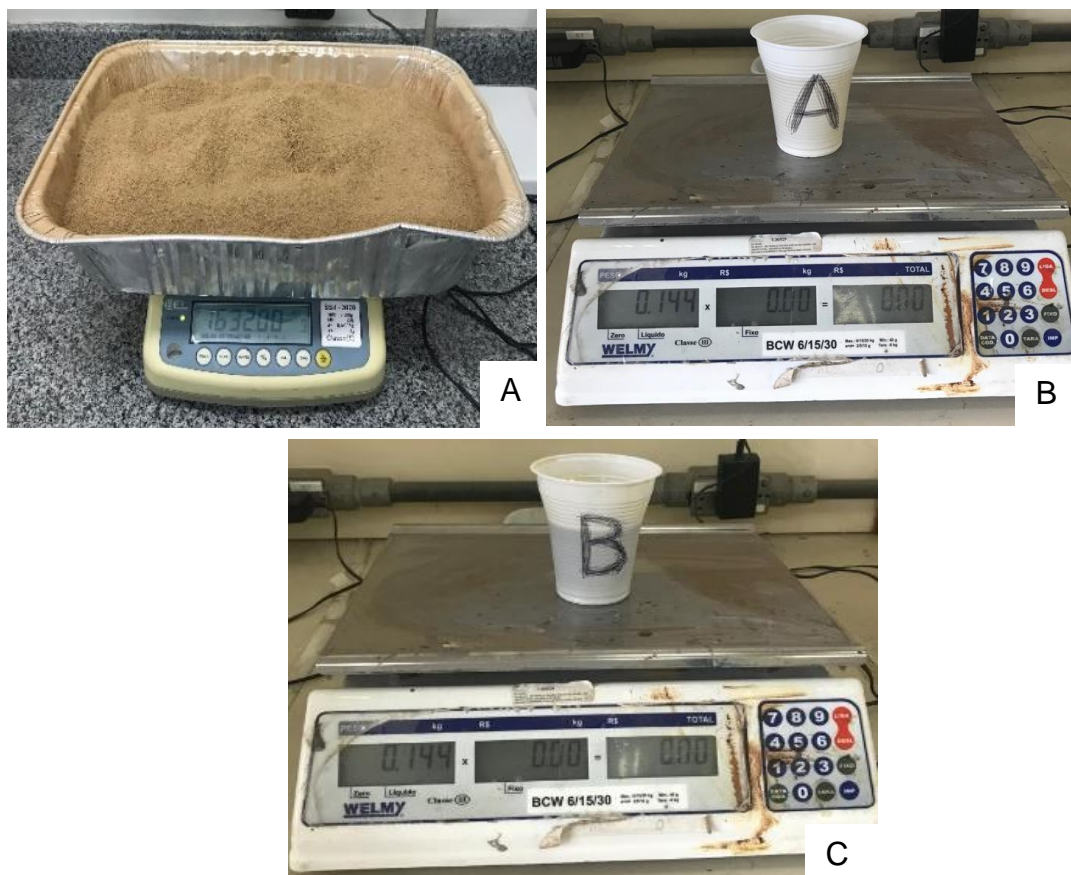


Figura 10. Pesagem dos materiais: A) Resíduos de madeira; B) Resina pré-polímero; C) Resina poliol.

Em seguida, misturou-se as resinas com as partículas de madeira por um período de 10 minutos até a homogeneização do material. Subsequentemente, este material foi colocado em um molde e compactado manualmente (Figura 11) sendo prontamente colocado em uma prensa a quente, PHH 100T, da Hidralmac, a uma temperatura de aproximadamente 100 °C, pressão de 10 MPa, por 10 min.

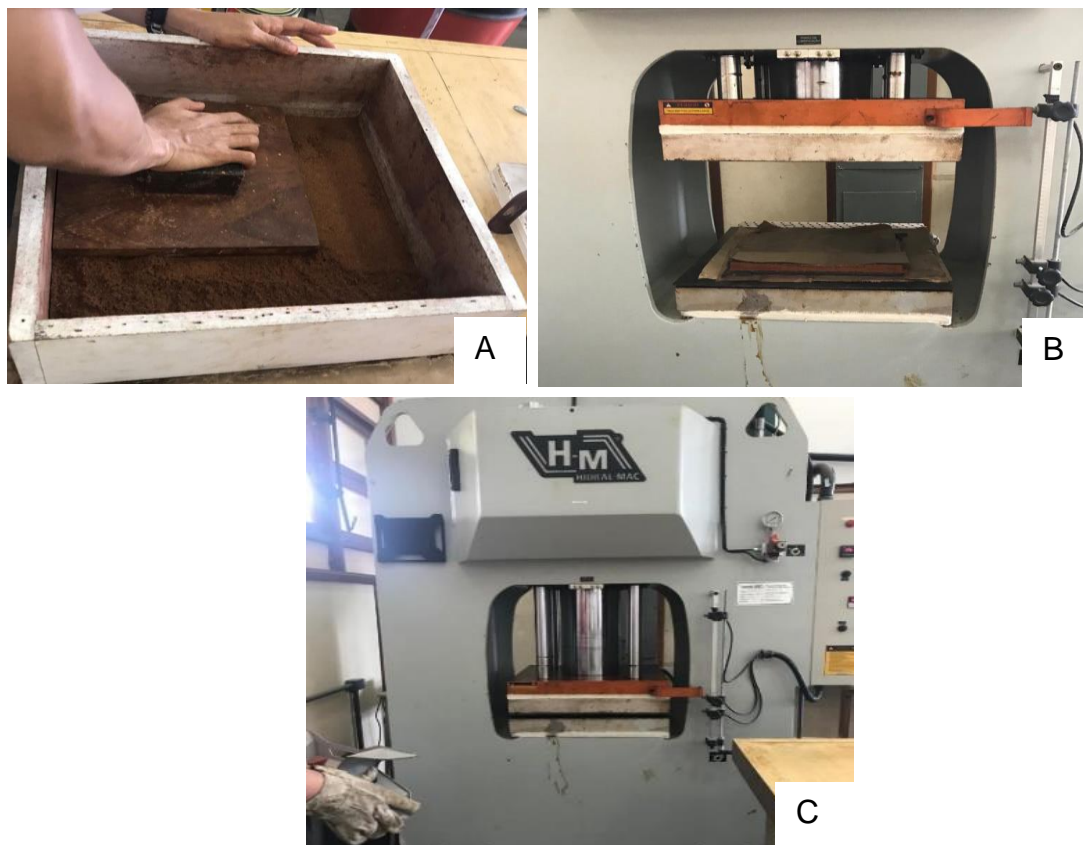


Figura 11. Processos de confecção: A) Moldagem e compactação manual do material; B) Disposição do molde com revestimento em papel teflon para prensagem a quente; C) Prensagem a quente do painel na prensa hidráulica PHH 100T, da Hidral-mac.

Após o processo de prensagem (Figura 12) é necessário um tempo de cura das placas que varia de 48 a 72 horas, onde estas foram armazenadas em temperatura ambiente no LEAM, assim cumprindo esta etapa, as placas receberam acabamentos e foram cortadas para ensaios.

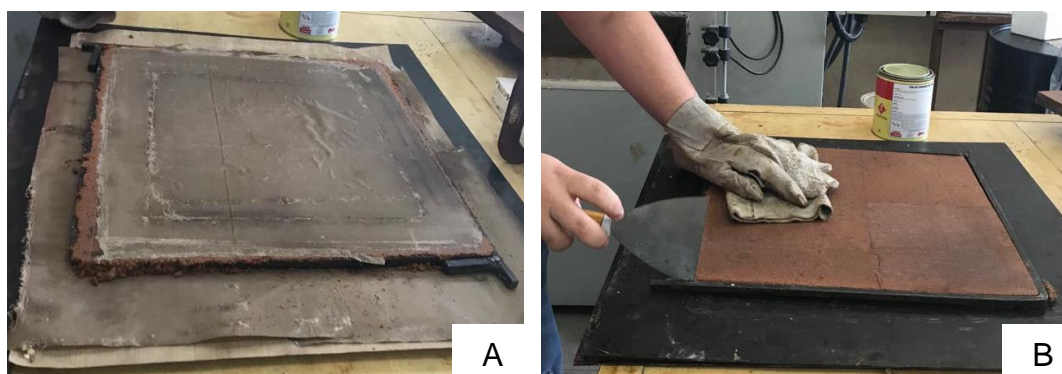


Figura 12. Finalização das placas: A) Resfriamento de placa depois da prensagem quente; B) Retirada da placa da superfície metálica com auxílio de espátula.

O esquadrejamento ficou conforme a Figura 13, sendo as placas cortadas com seprra circular na serraria do LEAM (Figura 14).

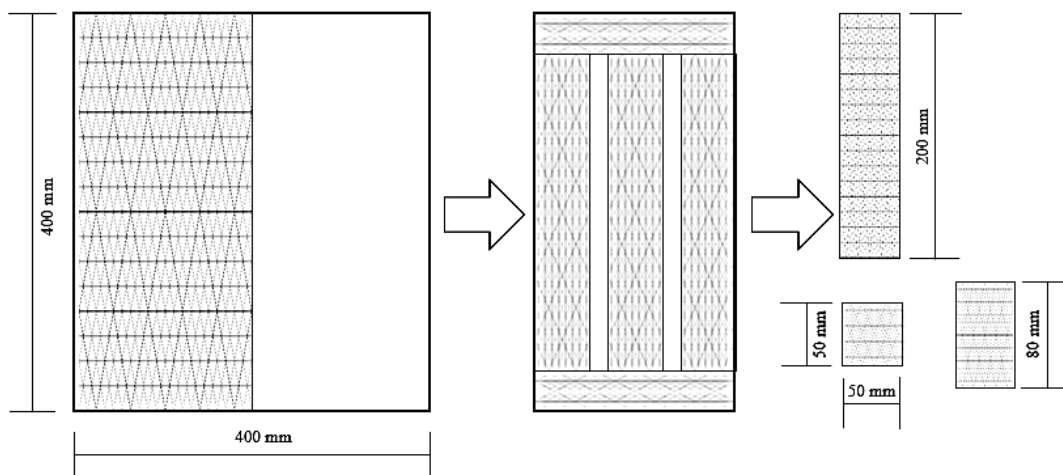


Figura 13. Esquadrejamento e corte realizado para retirada de amostras



Figura 14. Corte das bordas e do corpo de prova das placas

#### 4.1 Densidade básica

Para cada tratamento foram confeccionados cinco corpos de prova nas dimensões 50x50x10 (mm), a seguir, estes foram saturados para obter o volume verde determinado pelo método do deslocamento de líquido, onde houve

medição de suas dimensões (2 e 24 horas) depois da imersão, determinando a densidade básica pela relação do peso com volume dado g/cm<sup>3</sup>.

$$D_b = \left( \frac{P_s}{V_s} \right) \times 100 \text{ (Equação 6)}$$

Em que:

$D_b$  = densidade básica (g.cm<sup>-3</sup>)

$P_s$  = peso seco do corpo de prova a 12%

$V_s$  = volume saturado do corpo de prova (cm<sup>3</sup>)

## 4.2 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada pelo método estequiométrico com umidade dos painéis de 12%, sendo realizada no Laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira (LEAM). Os corpos de prova dos painéis foram pesados e medidas utilizando uma balança digital de precisão 0,01 g e paquímetro digital marca Starrett, Série 799, onde a massa aparente foi determinada pela fórmula:

$$(\rho) = \frac{P}{V} \text{ (Equação 7)}$$

Em que:

$\rho$  = densidade (g.cm<sup>-3</sup>)

$P$  = peso do corpo de prova a 12%

$V$  = volume do corpo de prova a 12% (cm<sup>3</sup>)

## 4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS

### 4.3.1 Inchamento

O ensaio foi realizado no LEAM, conforme especificações da NBR 14810-2 (ABNT, 2018), com cinco corpos de provas nas dimensões de 50x50 mm e 10 mm de espessura. Os corpos de prova dos painéis foram medidos utilizando uma balança digital de precisão 0,01 g e paquímetro digital marca Starrett, Série 799.

Logo após a determinação da espessura, cada corpo de prova foi submerso em um Becker com água corrente (Figura 15), utilizando um Becker menor cheio de água como peso para manter as amostras submersas.



Figura 15. Corpos de prova das cinco placas

Depois de 2 h de imersão, os corpos de prova foram retirados do Becker e então foi realizada a medição de suas dimensões e peso. Sendo o mesmo procedimento realizado após 24h de imersão. O cálculo para a obtenção de inchamento foi realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$I = \left( \frac{E_1 - E_0}{E_0} \right) \times 100 \text{ (Equação 8)}$$

Onde,

I = Inchamento em espessura (%);

$E_0$  = Espessura do corpo de prova antes da imersão (mm);

$E_1$  = Espessura do corpo de prova após o período de imersão de 2 e 24 h (mm).

#### 4.3.2 Absorção

O procedimento consistiu em pesagem dos corpos de prova dos painéis, onde foram pesados utilizando uma balança digital de precisão 0,01 g e paquímetro digital marca Starrett, Série 799. O cálculo para a absorção foi realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$A = \left( \frac{M_1 - M_0}{M_0} \right) \times 100 \text{ (Equação 9)}$$

Onde,

A = Absorção de água (%);

$M_0$  = Massa do corpo de prova antes da imersão (mm);

$M_1$  = Massa do corpo de prova após o período de imersão de 2 e 24 h (mm).

#### 4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos (LaMAC – UFAM) conforme os parâmetros da NBR 14810-2 (ABNT,

2018), na máquina de ensaio mecânico universal AME – 5kN, com controle pelo software DynaView Standard/Pro M, no qual realiza cálculos e gera relatórios automaticamente, com velocidade de ensaio de 5mm/min no ensaio de flexão.

#### 4.4.1 Módulo de ruptura

Para determinar o módulo de ruptura (equação 1), utilizou-se cinco corpos de prova retangulares de cada placa nas dimensões 80x50x15mm (Figura 16).



Figura 16. Ensaio de tração utilizando garras de aperto por parafuso na máquina AME – 5kN.

A realização dos cálculos foi utilizada a fórmula, conforme Mesquita (2013):

$$\text{MOR} = 1,5 * \frac{(P * D)}{B * (E)^2} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde,

MOR = Módulo de ruptura (Mpa);

P = Carga de ruptura (N);

D = Distância entre apoios do aparelho (mm);

B = Largura do corpo de prova (mm);

E = Espessura (mm).

#### 4.4.2 Módulo de elasticidade à flexão

O módulo de elasticidade foi obtido conforme a equação 2, utilizou-se cinco corpos de prova retangulares de cada placa nas dimensões 200x50x15mm (Figura 17).



Figura 17. Ensaio de flexão utilizando dispositivo para flexão em 3 pontos na máquina AME – 5kN.

A fórmula utilizada para o cálculo foi a proposta por Mesquita (2013):

$$MOE = \left( \frac{P_1 - D^3}{d * 4 * B * E^3} \right) \text{ (Equação 11)}$$

Onde,

MOE = Módulo de elasticidade (Mpa);

P<sub>1</sub>= Carga no limite proporcional (N);

D= Distância entre apoios do aparelho (mm);

d = Deflexão correspondente à força (mm);

B = Largura do corpo de prova (mm);

E = Espessura (mm).

#### 4.4.3 Resistência a tração perpendicular

Os ensaios de tração perpendicular realizados nos corpos de prova nas dimensões 80x50x15mm (Figura 16) foram utilizados para o cálculo da resistência, sendo utilizada a seguinte equação:

$$TP = \frac{P}{S} \text{ (Equação 12)}$$

Onde,

TP = resistência à tração perpendicular (N/mm<sup>2</sup>)

P = carga na ruptura (N);

S = área da superfície do corpo de prova (mm<sup>2</sup>)

Os painéis confeccionados foram analisados segundo a norma ANSI A208.1 (1993) (Tabela 5) que especifica as propriedades necessárias para as chapas de partículas, além de comparados com outros experimentos oriundos de espécies madeireiras da Amazônia.

Tabela 5. Classificação, valores e uso recomendado de painéis pela norma ANSI A208.

1

Classificação quanto a densidade	Categorias	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)	Uso recomendado
Baixa	LD1	<0,64	3,00	550	0,10	Enchimento de portas
Baixa	LD2	<0,64	5,00	1025	0,15	Enchimento de portas
Média	M1	0,64 a 0,80	11,00	1725	0,40	Comercial
Média	MS	0,64 a 0,80	12,50	1900	0,40	Comercial
Média	M2	0,64 a 0,80	14,50	2250	0,45	Industrial
Média	M3	0,64 a 0,80	16,50	2750	0,55	Industrial
Alta	H1	0,80	16,50	2400	0,90	Industrial
Alta	H2	0,80	20,50	2400	0,90	Industrial
Alta	H3	0,80	23,50	2750	1,00	Industrial

Fonte: Caraschi *et al.* 2009

## 5. TESTES DE USINAGEM

A partir de metodologia baseada na norma da American Society for Testing and Materials - ASTM D 1666-11 (2011) foram realizados testes para furação e fendilhamento por pregos.

### 5.1 Teste de Furação

Os ensaios de furação foram realizados com furadeira vertical de bancada (Figura 18A), sendo utilizadas quatro brocas helicoidais de 6, 8 (aço rápido), 10 e 12 mm de diâmetro (Figura 18B) com uma perfuração por amostra. Os furos foram feitos com distância de 20 mm entre eles e 10 mm das bordas. Onde a avaliação consistiu em uma observação das peças baseado na Tabela 6.





Figura 18. Equipamentos para usinagem de furo: A) Furadeira vertical de bancada marca Ferrari, modelo FC-16; B) Brocas para madeira tendo exceção a broca aço rápido com finalidade para ferro.

Tabela 6. Notas aplicadas nas avaliações de peças nos ensaios de usinagem

Nota	Classificação	Defeitos
1	Excelente	Ausência de defeitos
2	Bom	Presença de menos de 50% de defeitos
3	Regular	Presença de 50% de defeitos
4	Ruim	Presença de mais de 50% de defeitos
5	Muito ruim	Presença de 100% de defeitos

Fonte: ASTM D-1666-11 (2011).

## 5.2 Teste de fendilhamento por pregos

No teste de fendilhamento por pregos foram inseridos pregos das bordas ao centro das peças, com 20 mm de distância entre eles com o auxílio de um martelo, sendo utilizados quatro tipos de bitola sendo elas: 16X27, 14X21, 13X18 e 1x17 da marca Gerdau (Figura 19). Nesse ensaio, levou-se em consideração a presença de rachaduras ou trincas, com uma classificação como “aceita pregos” (sem trincas ou em dimensões insignificantes) e peças que “não aceitam pregos” (com trincas relevantes).



Figura 19. Bitola dos pregos utilizados para teste de fendilhamento

## 6. ANÁLISE DOS DADOS

A avaliação foi feita com base na estatística descritiva (média, desvio padrão, mediana e quartil), sendo realizada uma análise de variância (ANOVA) de Kruskal-Wallis (não paramétrica). Diante disso, um teste de comparações múltiplas de Nemenyi foi aplicado quando necessário. Os dados foram processados no programa R e os gráficos foram realizados no programa GraphPad Prism 8 e Origin Pro 2016.

### 6.1 Análise de produção e utilização dos painéis

Esta etapa foi realizada pela relação da quantidade de resíduos gerados na empresa diariamente e a quantidade de resíduos utilizados na produção dos painéis de cada tratamento.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Teor de cinza e sílica das madeiras

Na análise química realizada encontrou-se um teor médio de cinzas 0,24% para ambas as espécies (Tabela 6). Em um panorama individual, a espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier apresentou um valor menor do que foi encontrado por Nobre *et al.* (2014) equivalente a 0,33%. Já quando comparamos a espécie *Dinizia excelsa* Ducke, esta apresentou um valor superior ao encontrado por Fortes (2018) que expressou um valor de

aproximadamente 0,18% e aproximado ao valor encontrado por Araújo (2019) de 0,23%.

Em estudo desenvolvido por Santana & Okino (2007) onde se avaliou o teor de cinzas de 36 madeiras amazônicas, existe uma variação desse percentual de 0,2% a 2,3% com base na densidade da madeira. Esta variação pode ser relacionada as condições ambientais sob as quais a árvore se desenvolve (Fengel & Wegener, 1989) podendo ainda ser influenciado pela sua localidade e como também pelo decorrido por Collet (1956), que o teor de cinzas após carbonização depende da quantidade de compostos inorgânicos presentes na madeira.

Tabela 7. Quantitativo de compostos inorgânicos das espécies

Espécies	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke		<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	
	Teor de cinzas	Teor de sílica	Teor de cinzas	Teor de sílica
Amostras	1	0,25	0,06	0,09
	2	0,22	0,07	0,10
Média		0,24	0,07	0,01

O teor médio de sílica encontrado foi diferente em cada espécie, onde *Dinizia excelsa* Ducke obteve um valor de 0,07% e *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier apresentou um teor de 0,01% (Tabela 7). Existe na literatura uma escassez de estudos relacionados a quantidade de sílica presente em madeiras tropicais, principalmente devido ao custo oneroso da sua realização, no entanto, em um dos poucos trabalhos relacionados com madeiras amazônicas, Santana *et al.* (2013) trabalhando com 36 espécies quantifica uma variação entre 0,07% a 1,6% deste composto inorgânico.

Apesar de não mensurar a espécie *Dinizia excelsa* Ducke, foi possível observar valor semelhante trabalhando com a espécie *Diplotropis purpurea* (Rich.) Amshoff da mesma família botânica. Contudo, ao analisar a espécie *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier não constatou presença de sílica, o que diverge do resultado encontrado neste trabalho. Esse fato pode ter ocorrido principalmente devido as diferentes metodologias aplicadas.

## 7.2 Análise visual dos painéis produzidos

De uma forma sucinta os painéis de *Dinizia excelsa* Ducke e *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier tiveram melhor homogeneização com a resina do que a mistura de espécies amazônicas. Na análise visual realizada não foram encontrados defeitos, onde as superfícies se apresentavam planas e sem rugosidade (Figura 20). As chapas se mostraram resistentes a pequenos esforços manuais com algumas depressões nos cantos.

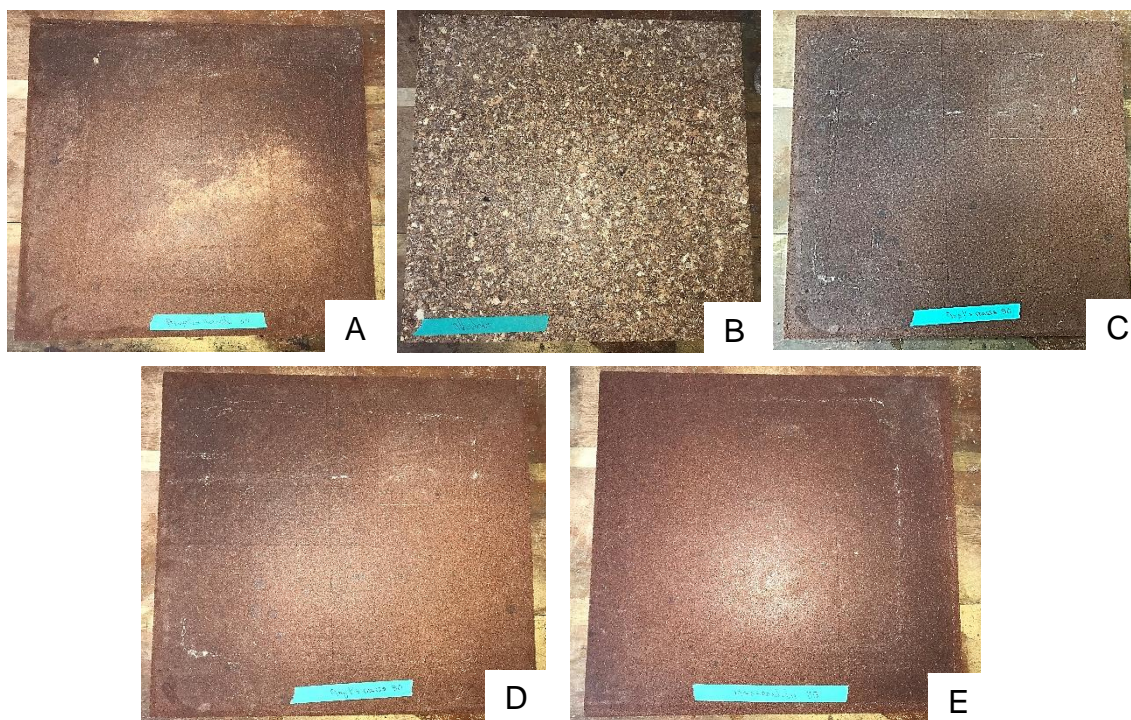


Figura 20. Placas de resíduos de madeira: A) *Dinizia excelsa* Ducke (85%); B) Mistura de espécies amazônicas comerciais de alta densidade (85%); C) *Dinizia excelsa*+ *Manilkara huberi* (90%); D) *Dinizia excelsa*+ *Manilkara huberi* (85%); E) *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (85%).

## 7.3 Densidade aparente dos painéis

Os valores médios da massa específica dos painéis de partículas variaram entre 0,93g/cm<sup>3</sup> a 1,20g/cm<sup>3</sup> (Tabela 8), sendo superiores a massa específica nominal estabelecida. Conforme os parâmetros da norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993), estes painéis são caracterizados como painéis de partículas de alta densidade, pois apresentaram valores acima de 0,80 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com a análise de variância, houveram efeitos dos tratamentos sobre a densidade inicial ( $X^2(2) = 15,59$ ;  $p < 0,05$ ), onde destaca-se o tratamento *Dinizia*

*excelsa* + *Manilkara huberi* (90%) em relação à *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (85%) e a misturas de espécies comerciais (85%).

Após duas horas de imersão este efeito permanece ( $X^2 (2) = 21,06$ ;  $p < 0,05$ ), no entanto, *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (90%) diverge dos tratamentos de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (85%) e a misturas de espécies comerciais (85%). Se mantendo distinto após vinte e quatro horas ( $X^2 (2) = 18,07$   $p < 0,05$ ) somente do tratamento com misturas de espécies comerciais (85%).

Tabela 8. Valores médios da massa específica aparente dos painéis

Material (%)	Espécies	ME (g)	Duas horas	Vinte e quatro horas
85	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	1,03 (0,05)	1,39 (0,04)	1,42 (0,04)
85	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke)			
	Chevalier	1,20 (0,12)	1,25 (0,11)	1,44 (0,06)
85	<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	0,97 (0,08)	1,38 (0,04)	1,43 (0,04)
90	<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	1,30 (0,10)	1,49 (0,02)	1,65 (0,03)
85	NI	0,93 (0,21)	1,02 (0,16)	1,17 (0,17)

ME= Massa específica; 2H = 2 horas depois de imersão; 24H = percentual 24 horas depois da imersão; NI = Mistura de espécies amazônicas comerciais de alta densidade; Valores entre parênteses são referentes ao desvio padrão.

#### 7.4 Absorção e inchamento

Os valores médios de absorção e inchamento para os painéis de partículas após duas e vinte e quatro horas de imersão, para cada tratamento, são apresentados na Tabela 9. Nas análises de variância realizadas para absorção de duas horas foram encontradas singularidades ( $X^2 (2) = 18,93$ ;  $p < 0,05$ ) entre os tratamentos de *Dinizia excelsa* Ducke (85%) e *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (85%), e desse com *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (85%) que se manteve após vinte e quatro horas ( $X^2 (2) = 13,20$ ;  $p < 0,05$ ).

Não houve efeito do tratamento sobre o inchamento após duas horas ( $X^2 (2) = 9,28$ ;  $p > 0,05$ ), sendo notado somente após vinte e quatro horas ( $X^2 (2) =$

12,83;  $p < 0,05$ ) entre o tratamento *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (85%) em reação à *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (85%) e *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (90%).

Tabela 9. Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura

Material (%)	Espécies	AA (%)		IE (%)	
		Duas horas	Vinte e quatro horas	Duas horas	Vinte e quatro horas
85	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	32,95 (4,07)	35,50 (3,69)	6,19 (1,98)	11,18 (1,33)
85	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	4,08 (1,25)	20,23 (8,87)	3,10 (1,15)	9,10 (1,86)
85	<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	43,54 (11,10)	48,31 (8,31)	6,87 (2,06)	13,52 (1,85)
90	<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	15,25 (9,60)	27,41 (8,81)	5,02 (1,43)	12,83 (1,29)
85	NI	11,94 (10,82)	28,22 (14,44)	5,47 (2,68)	11,2 (4,82)

AA = Absorção de água; IE = Inchamento em espessura; NI = Mistura de espécies amazônicas comerciais de alta densidade; Valores entre parênteses são referentes ao desvio padrão.

A norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) não apresenta valores para a propriedade física de absorção, sendo assim, adota-se a comparação entre valores encontrados na literatura com painéis compatíveis. A absorção encontrada por Trianoski *et al.* (2015) para painéis aglomerados produzidos com madeiras tropicais da Amazônia, variou entre 5,91% a 49,40% para duas horas e 20,65% a 89,19% para vinte e quatro horas. Surdi *et al.* (2018) ao trabalhar com painéis aglomerados de resíduos de espécies amazônicas obtém valores

de 10,55% a 37,80% para duas horas e 27,64% a 53,69% para vinte e quatro horas. Os valores obtidos neste trabalho estão entre 4,08% a 43,54% para duas horas e 20,23% a 48,31% para vinte e quatro horas, estando dentro da faixa de valores observada.

Para inchamento os valores apurados neste estudo estão entre 3,10% a 6,87% para duas horas e 9,10% a 13,52% para vinte e quatro horas. Iwakiri *et al.* (2016) trabalhando com painéis aglomerados de espécies amazônicas apresenta valores variando de 2,67% a 7,67% para duas horas e 8,44% a 18,50% para vinte e quatro horas. Estes valores estão acima do permitido pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) onde o valor máximo permitido é 8%.

Os valores averiguados são superiores entre 1,1% a 5,52%. Este valor superior também é encontrado por Negrão *et al.* (2014) quando observa a influência do tipo de adesivo em painéis aglomerados com misturas de partículas de madeiras tropicais, estando 1,35% acima do padrão normativo. Apesar disso existem normas que aceitam esse teor de inchamento como é o caso da Norma EN 312 que permite um inchamento até 16% (EN, 2003).

### **7.5 Módulo de ruptura, Módulo de elasticidade e resistência a tração perpendicular**

Os resultados das propriedades mecânicas para cada painel se encontram na Tabela 10, onde nas análises de variância realizadas não foi constatada diferenças significativas entre os tratamentos. Observa-se que os valores de módulo de ruptura (MOR) variam de 14,15MPa (*Dinizia excelsa* Ducke ,85%) a 20,73MPa (NI, 85%), sua deformação fica em torno de 4 a 5mm na maioria dos casos, com exceção do tratamento com mistura de espécies comerciais que fica entre 5 a 8mm (Figura 21). Este valor pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) os classificaria como painéis de média a alta densidade, tendo como empregabilidade a faixa de comerciais a industriais. Os valores de MOR obtidos nesta pesquisa estão compatíveis com os valores referencias na literatura. Em painéis da mesma faixa de densidade Iwakiri *et al.* (2016) encontra valores de 12 a 15MPa para espécies amazônicas com *Pinus tadea*, e em trabalho realizado com resíduos de serraria de madeiras tropicais, Iwakiri *et al.* (2012) encontra valores entre 12,55MPa a 27,04MPa.

Os valores médios de módulo de elasticidade (MOE) variaram de 1105,52MPa (*Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi*, 90%) a 4185,74MPa (*Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, 85%), com uma variação de deformação de 3,5 a 4,5mm, tendo apenas como exceção o tratamento com mistura de espécies comerciais, variando de 5 a 8mm conforme Figura 22. Somente um painel se enquadrou na padronização feita pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993), sendo este o painel de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier com 85% de resíduos, os demais apresentaram valores inferiores baseado na densidade e no módulo de elasticidade mínimo correspondente a 1725MPa. Negrão *et al.* (2014) em seu estudo encontra um valor médio de 1581MPa enquanto Longo *et al.* (2015) observa valores médios de MOE variando de 552,14MPa a 935,62MPa para painéis particulados produzidos com resíduo de beneficiamento de cinco espécies tropicais comerciais. Portanto, os valores obtidos neste estudo estão superiores com os valores encontrados para misturas de espécies tropicais.

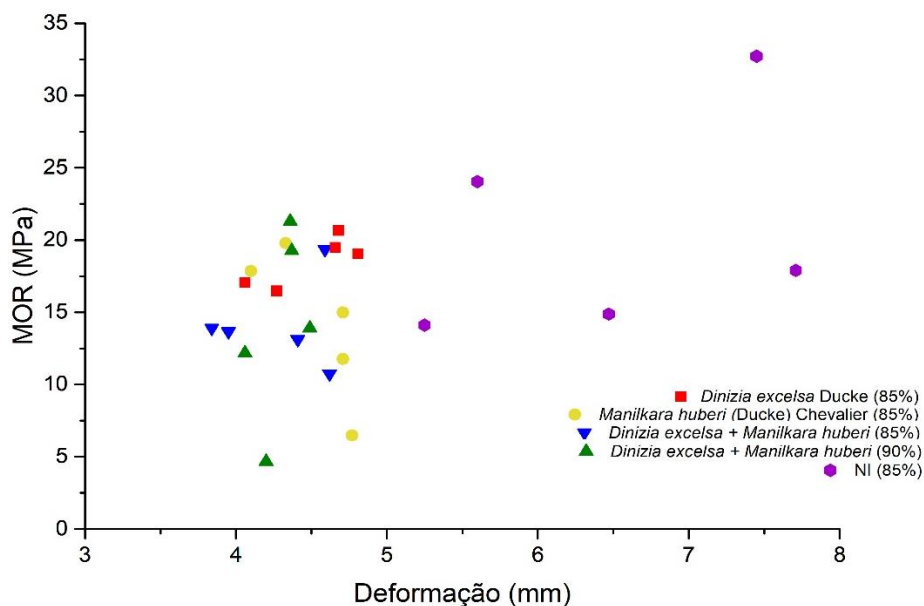


Figura 21. Relação módulo de ruptura e deformação por repetição



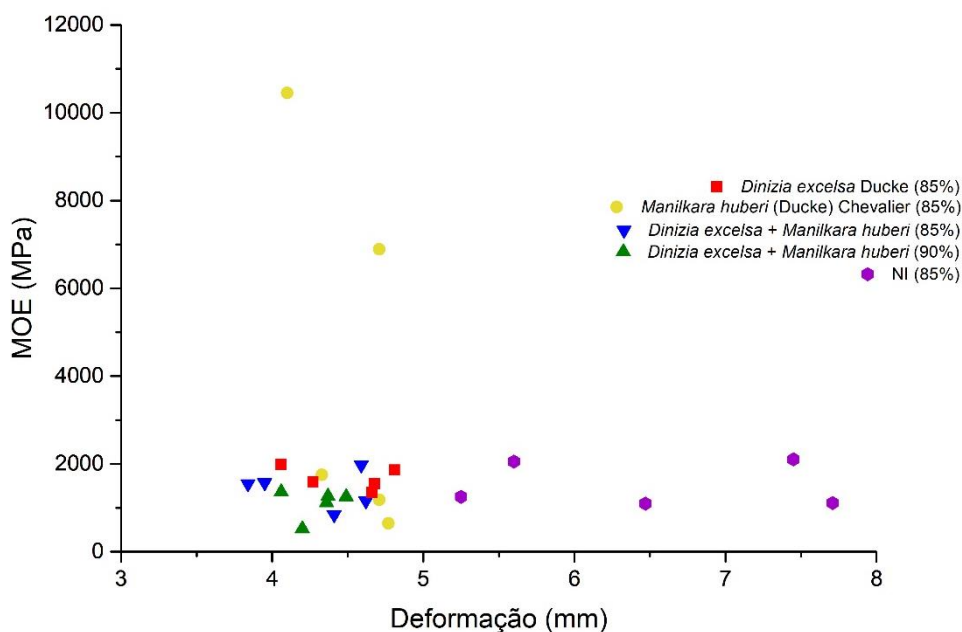


Figura 22. Relação módulo de elasticidade e deformação por repetição

Com relação aos resultados apresentados a resistência a tração perpendicular houve uma variação entre 0,62MPa (*Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, 85%) a 0,95MPa (*Dinizia excelsa* Ducke ,85%), atendendo assim o requisito mínimo da norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) e os classificando como utilitário em meio industrial. Estes valores se encontram dentro da faixa de trabalhos como Iwakiri *et al.* (2012), que apresenta valores entre 0,68Mpa a 1,46Mpa e Iwakiri *et al.* (2016) que aborda valores de 0,75Mpa a 0,90MPa, no entanto, se mostram inferiores aos encontrados por Surdi *et al.* (2018) de 1,16MPa e 1,61MPa.

Tabela 10. Valores médios de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e resistência a tração perpendicular à superfície.

Material (%)	Espécies	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)
85	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	18,55 (1,74)	1670,39 (254,22)	0,95 (0,17)
85	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	14,17 (5,26)	4185,74 (4301,76)	0,77 (0,16)
85	<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	14,15 (3,17)	1419,33 (429, 59)	0,62 (0,08)

90	<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	14,26 (6,54)	1105,52 (335,65)	0,80 (0,32)
85	NI	20,73 (9,63)	1522,76 (633,03)	0,63 (0,25)

NI = Mistura de espécies amazônicas comerciais de alta densidade; Valores entre parênteses são referentes ao desvio padrão.

## 7.6 Testes de usinagem

O desempenho dos corpos de prova e sua avaliação se basearam na observação feita pelo técnico responsável da serraria do Laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira (Tabela 11) no momento da realização dos testes, as amostras tiveram um lado executado o teste de furação enquanto no outro o teste de fendilhamento por prego conforme a Figura 23.

Tabela 11. Resultados das avaliações das amostras após testes de usinagem

Material (%)	Espécies	Teste de furação		Fendilhamento por prego
		Amostra	Nota	Classificação
85	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	1	1	Aceita pregos*
85	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	1	1	Aceita pregos
85	<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	1	1	Aceita pregos*
90	<i>Dinizia excelsa</i> + <i>Manilkara huberi</i>	1	1	Aceita pregos
85	NI	1	1	Aceita pregos

NI = Mistura de espécies amazônicas comerciais de alta densidade; \* Particularidades encontradas



Figura 23. Disposição geral das amostras após testes de usinagem

De acordo com as análises foi possível concluir que nenhum dos corpos de prova apresentaram dificuldades ou imperfeições para o teste de furação (Figura 24), no entanto, para as análises realizadas de fendilhamento por prego, a maioria demonstrou rachaduras quando furados em uma distância de 10mm da borda (Figura 25) com exceção da amostra com misturas de alta densidade, esse desempenho pode ter ocorrido devido a uma má uniformidade da borda dos painéis pois os mesmos corpos de prova não apresentaram este comportamento quando furados mais ao centro da amostra. Contudo, obtiveram uma resistência maior à medida que se aproximava do centro da peça tendo inclusive a deformação de alguns pregos (Figura 26 e 27). Segundo Taques & Arruda (2016) o conhecimento básico das propriedades durante o processo de usinagem proporciona uso adequado, contribuindo para o melhor aproveitamento da matéria prima, consequentemente em um menor desperdício.

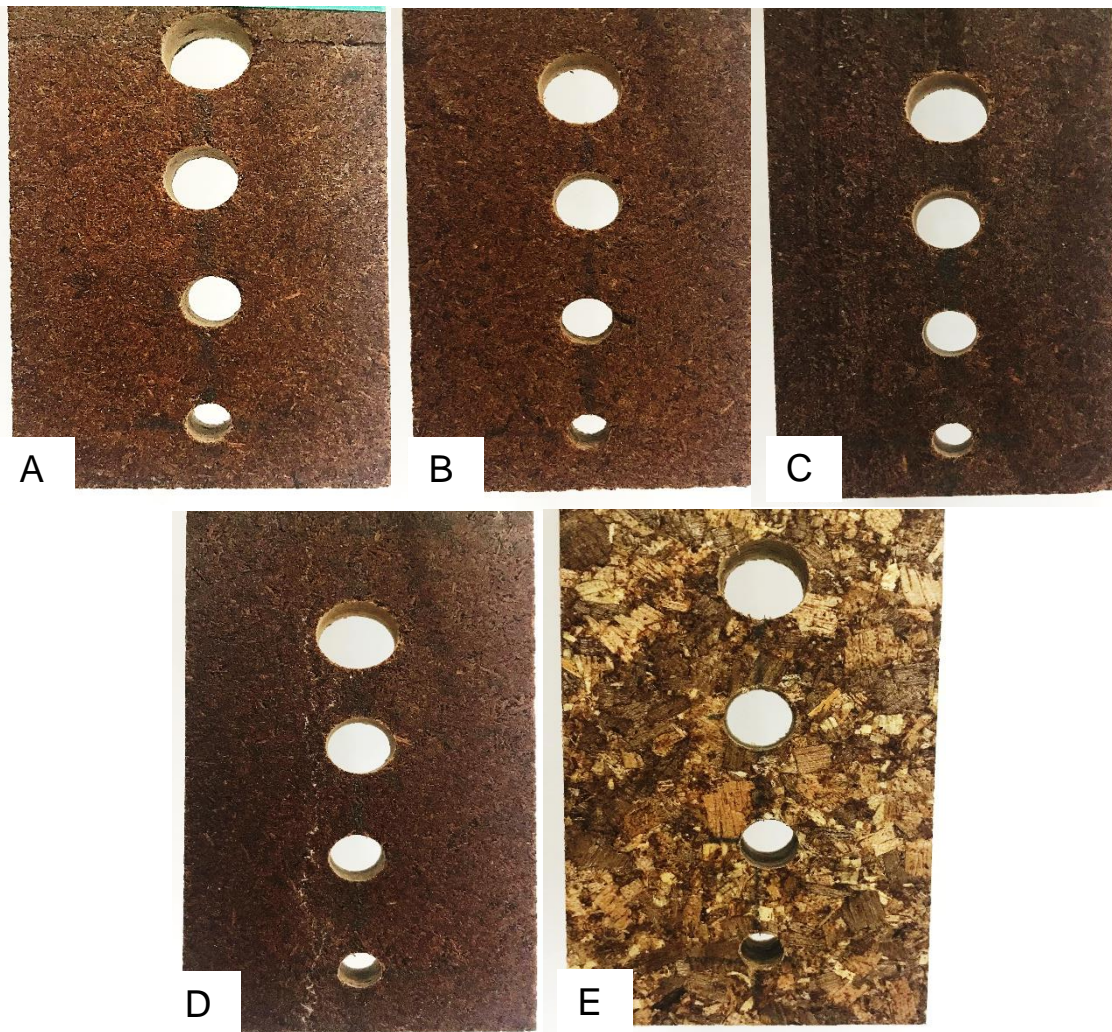


Figura 24. Furação dos corpos de prova de A) *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (85%); B) *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (90%); C) *Dinizia excelsa* Ducke (85%); D) *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (85%); E) Mistura de espécies com alta densidade

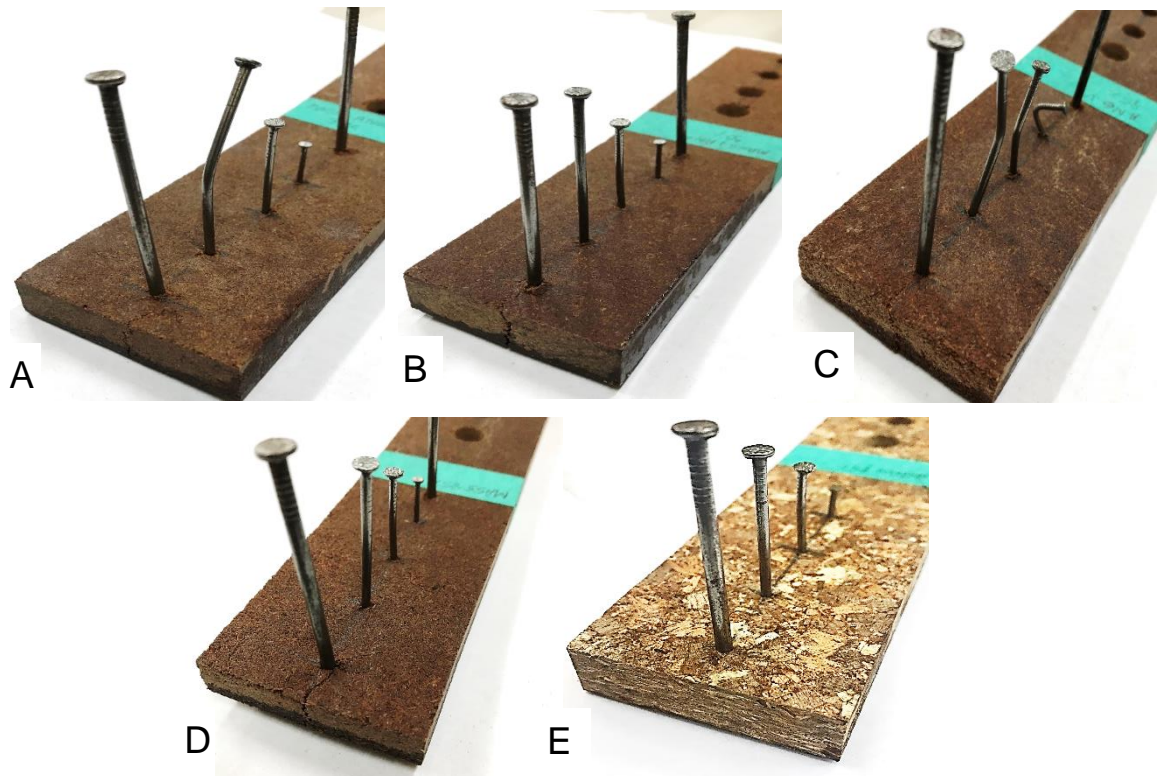


Figura 25. Rachaduras nas bordas dos corpos de prova de A) *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (85%); B) *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (90%); C) *Dinizia excelsa* Ducke (85%); D) *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (85%); E) Mistura de espécies com alta densidade



Figura 26. Deformidades dos pregos no corpo de prova do tratamento de *Dinizia excelsa* Ducke (85%)

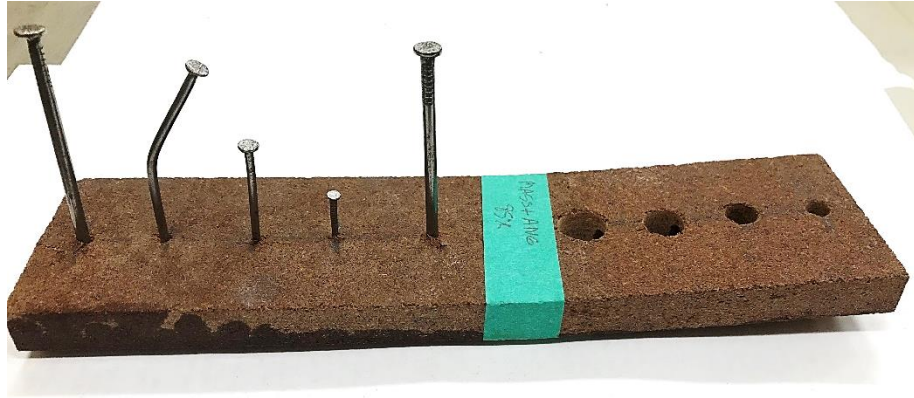


Figura 27. Deformidades dos pregos no corpo de prova do tratamento de *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* (85%)

### 7.7 Análise de produção e utilização dos painéis

Os painéis produzidos apresentam características essenciais para serem usados na confecção de diferentes produtos. Analisando todas as qualidades dos painéis, como também a quantidade de matérias utilizados, observa-se possibilidade de produção em grande escala caso alguma empresa tenha interesse. Levando em consideração a quantidade de 9 toneladas de resíduos produzidos diariamente pela empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda e a quantidade utilizada na produção individual de cada painel, é possível mensurar que com 9 toneladas (9000 Kg) de resíduos seriam produzidos 4500 painéis.

## 8. CONCLUSÃO

Os painéis aglomerados de madeira de alta densidade apresentaram, de maneira geral, resultados semelhantes aos encontrados na literatura para propriedades físicas e mecânicas utilizando espécies amazônicas. Seu destaque se apresenta no valor de módulo de elasticidade superior aos demais estudos.

O painel que apresentou os melhores valores foi composto somente de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, no entanto, a viabilidade de utilização dos demais painéis também é válida, sendo sua empregabilidade para fins industriais comprovada pela norma ANSI A208.1 que atendeu, com exceções, seu requisito mínimo. Sendo assim, os painéis fabricados são aptos para aplicabilidade de revestimento de parede.

A utilização de resíduos de espécies amazônicas na produção de painéis aglomerados viabiliza a empregabilidade de um novo produto no mercado, o que

proporcionará uma competitividade aos painéis aglomerados gerados por espécies plantadas, fomentando um novo mercado para os resíduos da indústria madeireira na Amazônia.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial 2009 - ano base 2008**. Curitiba: ABIMCI, 2009. 54 p.

ABNT, NBR. 14810-1 “ **Medium density particle panels–Part 1: Terminology,**” Brazilian Technical Standards Association, Rio de Janeiro, Brazil, 2013.

ABNT, NBR. 14810-1 “ **Medium density particle panels–Part 2: Medium density particleboards Part 2: Requirements and test methods,**” Brazilian Technical Standards Association, Rio de Janeiro, Brazil, 2018

ADEODATO, S. *et al.* **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. São Paulo: FGV; ERA, 2011. 128 p.

ALBIN, R. A. Determinacion del pH en diversas especies de los renovales de la provincial de Valdivia. **Bosque**, v. 1, n. 1, p. 3-5, 1975.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais na madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, 4, p. 807-815, 2012.

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - “Mat-formed wood particleboard: Specification; National Particleboard Association; ANSI A208.1-1993”, Gaithersburg, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM D1102 – 84 Standard Test Method for Ash in Wood ASTM**, Estados Unidos da América, 2007. 3pp.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D1666-11: standard test methods for conducting machining tests of wood and wood-base panel materials**. Philadelphia. p. 226- 245, 2011.

ANDRADE, de C.D.K. **Estimativa do coeficiente de rendimento volumétrico em serraria de grande porte no Amazonas: uma peça-chave para disciplinar os créditos virtuais de madeira tropical**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 2017.

ARAÚJO, Roberto Daniel de. **Avaliação do potencial de espécies manejadas na Amazônia para produção de painéis “EGP” (Edge Glued Panels) não estrutural**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 2019.

BERGMAN, R., CAI, Z., CARLL, C.G., CLAUSEN, C.A., DIETENBERGER, M.A., FALK, R.H., FRIHART, C.R., GLASS, S.V., HUNT, C.G., IBACH, R.E., KRETSCHMANN, D.E., RAMMER, D.R., ROSS, R.J., STARK, N.M., WACKER, J.P., WANG, X., WHITE, R.H., WIEDENHOEFT, H.C., WIEMANN, M.C., ZELINKA, S.L., 2010. **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. USDA Forest Service General Technical Report FPL-GTR-190. Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI. 2010.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 49-90, 2010

BRITO, Manoel Braga de et al. *Resistência ao ataque de cupins em painéis compensados confeccionados com paricá (Schizolobium amazonicum HUBER DUCKE)*. 2015.

CARASCHI, José C.; LEÃO, Alcides L.; CHAMMA, Paula VC. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros**, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

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**, Campinas-SP, 1984.

COLLET, F. *Estudos comparativos, em escala laboratorial de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal*. São Paulo. ABM, 12 (42): 5-14, 1956

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. **Materials Research**, v. 7, n. 3, p. 413-420, 2004.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de madeira compensada e aglomerada**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DICK, C.W., ETCHELECU, G. & AUSTERLITZ, F. Pollen dispersal of tropical trees (*Dinizia excelsa*: Fabaceae) by native insects and African honeybees in pristine and fragmented Amazonian rainforest. **Molecular Ecology**. 12:753-764, 2003.

ELIAS, R; IRLE, M.A. The Acidity of Stored Sitka Spruce Chips. **Holz als Roh- und Werkstoff** 54(1):65-68.1996.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Espécies Arbóreas da Amazônia N° 4**: Maçaranduba, *Manilkara huberi*, 2004. Disponível no endereço:



[https://dendro.cnptia.embrapa.br/Agencia1/AG01/arvore/AG01\\_64\\_309200411\\_813.html](https://dendro.cnptia.embrapa.br/Agencia1/AG01/arvore/AG01_64_309200411_813.html) . Acesso em: 18 de janeiro de 2020

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. Espécies arbóreas da Amazônia no. 6: Angelim-vermelho, Dinizia excelsa. **Embrapa Amazônia Oriental**, Belém, PA. 6p, 2004.

EUROPEAN STANDARD. EN-204. **Classification of thermoplastic woodadhesives for non-structural applications**. European Standard, Bruxelas, CEN, 2001

EUROPEAN STANDARD. **EN 312: particleboards: specifications**. Bruxelas, 2003.

FEITOSA, B. C. Aproveitamento dos resíduos de madeira como alternativa para minimização de problemas sócio-ambientais no estado do Pará. **Acesso em**, v. 15, 2012.

FENGEL, D. WEGENER, G. **Wood Chemistry, ultrastructure reactions**. Berlin, 612 p, 1989.

FERREIRA, G.C.; HOPKINS, M.J.G. & SECCO. R.S. Contribuição ao conhecimento morfológico das espécies de leguminosae comercializadas no estado do Pará, como “angelim”. **Acta Amazonica**. 34(2) 219-232, 2004a.

FORTES, M.M. Efeito da umidade e da acústica na torrefação de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii* e *Dinizia excelsa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM-306/2018. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 2018

GARCIA, Felipe Manente et al. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. **Floresta e Ambiente**, p. 468-474, 2012.

HASELEIN, C.R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, 2002.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; IWAKIRI, S. Modelagem de mistura de três espécies de madeiras na fabricação de chapas estruturais. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 311-320, 2003.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. *Relatório Ibá 2017*. 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. *Relatório Ibá 2019*. 2018.

INPA/CPPF. **Catálogo de Madeiras da Amazônia** – Características Tecnológicas, Área da Hidrelétrica de Balbina. Vol I. INPA/CPPF, Manaus/AM,163p, 1991

IRLE, M.; THOEMEM, H.; SERNEK, M. **Wood-Based Panels**. An Introduction for Specialists. Brunel University Press: London, UB8 3PH, 2010.

IWAKIRI, S. *A influência das variáveis de processamento sobre propriedades das chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus*. 130 f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)–Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de Painéis de Madeira Aglomerada de Cinco Espécies de Pínus Tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 137-142, jan./dez. 2001.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005a.

IWAKIRI, Setsuo et al. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012.

IWAKIRI, Setsuo et al. PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS COM MISTURAS DE SEIS ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA E Pinus taeda. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 259-267, 2016.

IWAKIRI, Setsuo et al. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 1, n. 1, p. 23-28, 2000.

KELLY, Myron W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. **Gen. Tech. Rep. FPL-10. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 65 p.**, v. 10, 1977.

KLOCK, U. *Qualidade da madeira de Pinus maximinoi H. E. Moore*. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A. Principles of wood science and technology II. **Wood based materials**, New York, 703 p, 1975.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L.M.; TRUGILHO, P.F; MORI, C. L. S.O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Florestalis**, v.36, nº 77, 2008.

LIMA, M. D. F. *Utilização de resíduos da espécie Dipteryx polyphylla (Cumarurana), Dipteryx odorata (Cumaru) e Brosimum parinarioides (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

LONGO, B. L. et al. Caracterização tecnológica de painéis particulados produzidos com resíduos de cinco espécies tropicais. **Scientia Florestalis**, v. 43, n. 108, p. 907-917, 2015.

LOPES, Camila Santos Doubek. Desenho de pequenos objetos de madeira com resíduo da indústria de processamento mecânico da madeira. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente-INTERFACEHS**, v. 4, artigo 1, 28 p., 2009.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M. F.; ALENCAR, J.C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA, v.2, 1979

MALONEY, T. M. *Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*. 2nd. **São Francisco: Freeman**, 1993.

MARRA, A. A. *Technology of wood bonding: principles in practice*. New York: V. **Reinhold**, 1992.

MATOS, J. L. M. de; KEINERT JR, S. Estudo do ciclo da prensa para a produção de painéis *waferboard* – Parte I – Efeito sobre as propriedades de resistência. **Floresta**, Curitiba, v. 18, n. 12, p. 62-71. 1988.

MATTOS, R. L. G; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de Madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MELO, L. E. L. et al. Resíduos de Serraria do Estado do Pará: Caracterização, Quantificação e Utilização Adequada. **Floram**, v. 19, n. 1, p. 113-116, 2012.

MENDES. L. M. *Pinus spp na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)*. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDONÇA, A.C.A. *Caracterização e simulação dos processos dinâmicos de uma área de floresta tropical de terra firme utilizando matrizes de transição*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 81p, 2003.

MESQUITA, A. de L. Estudos de processos de extração e caracterização das fibras do fruto de açaí (*Euterpe Oleraceae* Mart.) da Amazônia para produção de ecopainel de partículas homogêneas de média densidade. **Belém: Faculdade de Engenharia Química-Instituto de Tecnologia-Universidade Federal do Pará**, 2013.

MESQUITA, M. R., FERRAZ, I. D. K. & CAMARGO, J. L. C. Angelimvermelho, *Dinizia excelsa* Ducke in: I. D. K. Ferraz & J. L. C. Camargo (Eds) *Manual de Sementes da Amazônia*. **Fascículo 8**, 12p. INPA, Manaus-AM, Brasil, 2009.

MOSLEMI, A. A. *Particleboard vol. II. Technology*. **Southern Illinois University Press, London-Amsterdam**, 1974.

MOTA, K. L. R. *Desempenho operacional de uma serraria de médio porte no município de novo Aripuanã, Amazonas*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

NAKAMURA, A. P. D. *Propriedades de painel biocompósito produzido com fibras de coco-da-baía e ácido cítrico como adesivo*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, 2018.

NEGRÃO, Wilson Henrique et al. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. **Ambiente construído**, v. 14, n. 3, p. 103-112, 2014.

NOBRE, J. R. C.; NAPOLI, A. ; BIANCHI, M. L. ; SILVA, M. G. ; NUMAZAWA, S. . *Utilização de Resíduos de Manilkara huberi do Estado do Pará na Produção de Carvão Ativado*. 2014

PEREIRA, F.A.; SANTOS, R.; CAMPOS, C.I.; MOLINA, J.C. Utilização de resíduos e derivados de madeira para confecção de uma guitarra elétrica. **Scientia Forestalis**. 90: 183-190, 2011.

PINTO, Tarcísio de Paula. Guia para elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos. **Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, 2011.

PIZZI, A. Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. **Journal of adhesion science and technology**, 20(8), 829-846, 2006.

PRATA, J. G. *Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge glued panels – EGP)*. Tese (Dotourado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 107p, 2010.

PRATT, T. H. **Electrostatic Ignitions of Fires and Explosion**. Marietta, Burgoyne Incorporated, Consulting Scientists & Engineers. 1997

PRECIOUS WOODS AMAZON / PMFS. *Plano de Manejo Florestal Sustentável da Mil Madeiras Preciosas/PWA*. VI Reformulação. Itacoatiara, Amazonas, 2013.

PRECIOUS WOODS AMAZON. *Resumo Público: Manejo florestal sustentável*. Itacoatiara/AM, Brasil, 2018.

RADAM BRASIL. *Programa de Integracao Nacional. Levantamentos de Recursos Naturais*. v.18 (Manaus) - Radam (projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Brasil. 626p, 1978.

RANKIN DE MERONA, J.M.; PRANCE, G.T.; HUTCHINGS, R.W.; SILVA, F.M.; RODRIGUES, W.A.; UEHLING, M.E. Preliminary results of large scale tree

inventory of upland rain forest in the central Amazon. **Acta Amazonica**, 22: 493-534, 1992.

RAZERA, Dalton Luiz. *Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira*. 2006.

REIS, P. C. M. D. R., REIS, L. P., Souza, A. L. D., CARVALHO, A. M. M. L., Mazzei, L., REIS, A. R. S., & TORRES, C. M. M. E. Agrupamento de espécies madeiras da Amazônia com base em propriedades físicas e mecânicas. **Ciência Florestal**, 29(1), 336-346, 2019.

REMADE, MADEIRAS. **Adesivos vinílicos apresentam soluções para madeira**. Disponível em <[http://www.remade.com.br/br/madeira\\_pmva.php](http://www.remade.com.br/br/madeira_pmva.php)>. Revista da Madeira. Edição 103, 2007. Acesso: 10/03/2019. Manaus, 2019.

SADDI, N. A primeira contribuição sobre a flora de Humboldt (Aripuana, Mato Grosso). In: **CONGRESSO NACIONAL DE BOTANICA**, 26, 1975, Rio de Janeiro. Trabalhos... Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1977.

SAMPAIO, P. de T.B. Macaranduba (*Manilkara huberi*). In: CLAY, J.W.; SAMPAIO, P.T.B.; CLEMENT, C.R. **Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização**. Manaus: Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, p.151-157, 2000.

SANTANA, Marcos Antonio Eduardo et al. Silica content of 36 Brazilian tropical wood species. **Holzforschung**, Vol. 67, pp. 19–24, 2013

SANTANA, Marcos Antonio Eduardo; OKINO, Esmeralda Yoshico Arakaki. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v. 61, n. 5, p. 469-477, 2007.

SILVA, A. M. V. D. *Avaliação do comportamento térmico de compósitos poliméricos produzidos com resíduos de açaí em edificações na Amazônia*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

SILVA, S. A. M. da; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. Painéis MDF produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Vértices**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p.7-20, jan. 2013.

SILVA, S. A. M. *et al.* Particleboard Manufactured with Bicomponent Polyurethane Resin base on Castor Oil. **International Journal of Composite Materials**, v. 2, n. 6, p. 115-118, 2012.

SJÖSTRÖM. E. **Wood Chemistry fundamentals and applications**. New York. Academic Press. 223p. 1981.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília: LPF/IBAMA, 152 p, 1997.

STRAGLIOTTO, M. C. *Qualidade da tora de espécies tropicais e rendimento em madeira serrada para exportação*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

SUDAM. Pesquisa e informações sobre espécies florestais da Amazônia. Departamento de Recursos Naturais - **Tecnologia da Madeira**. Belém-PA. 111p, 1979.

SURDI, Paula Gabriella; BORTOLETTO JUNIOR, Geraldo; CASTRO, Vinicius Resende de. Evaluating the effects of removing fines from particleboards manufactured from Amazonian wood residue. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, 2018.

TAQUES, Adjenane Corrêa; DE ARRUDA, Tatiana Paula Marques. Usinagem da madeira de angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*). **REVISTA DE CIÊNCIAS AGROAMBIENTAIS**, v. 14, n. 1, 2016.

TRIANOSKI, Rosilani et al. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada. **Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná**, 2010.

TRIANOSKI, Rosilani et al. Particleboard manufactured from four species of tropical timbers of the Amazon region. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 445-452, 2015.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York, 494 p. 1991.

ULIANA, L. R. *Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade do lenho de árvores de maçaranduba, Manilkara huberi (Ducke) Chevalier*. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2010.

VICK, C. B. **Adhesive Bonding of Wood Materials**. U.S. PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook —Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL—GTR—113. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory,. Chapter 9. 463 p. Madison: U.S. 1999.

VOGEL, A. I. **Análise Inorgânica Quantitativa**, 4.ed, Rio de Janeiro: Guanabara, 1981.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 88-96. 1992.

WEBER, Cristiane; IWAKIRI, Setsuo. Utilização de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 405-413, 2015.

## 8. ANEXOS

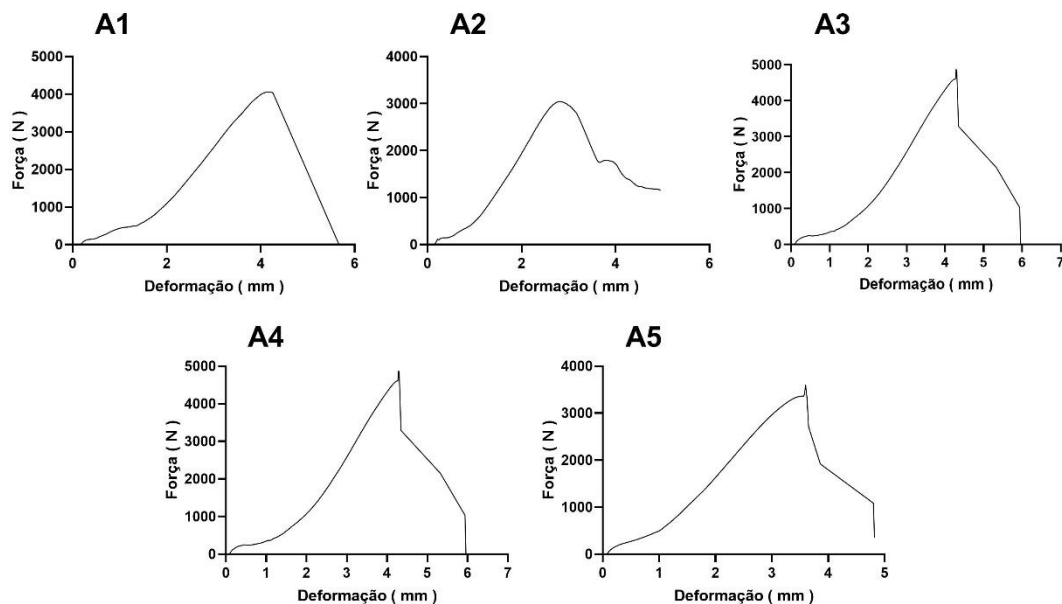


Figura 28. Ensaio de tração das amostras de *Dinizia excelsa* Ducke com 85% de resíduo

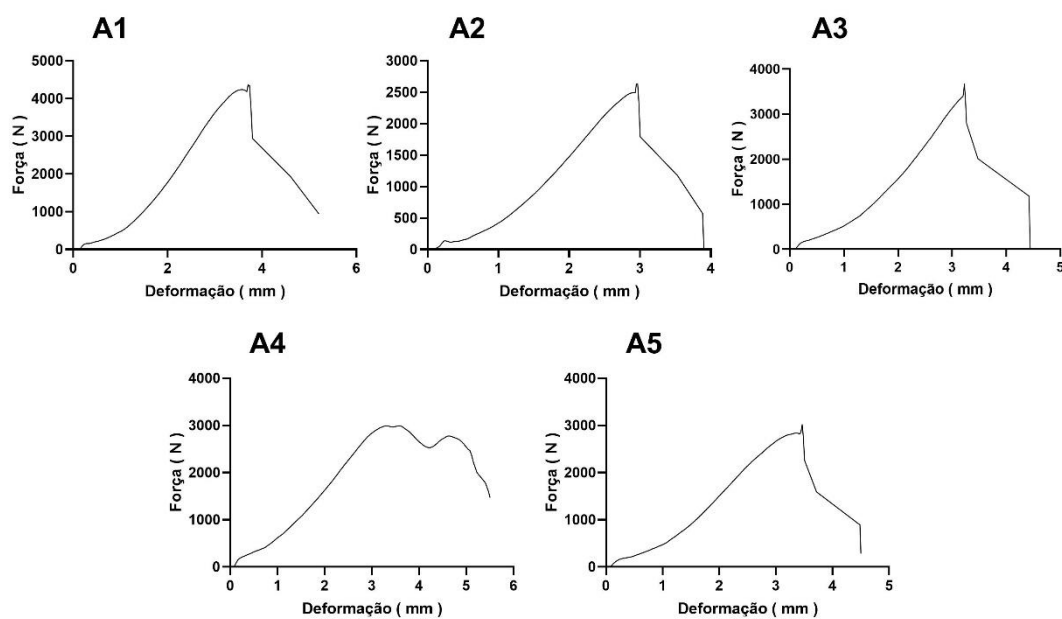


Figura 29. Ensaio de tração das amostras de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier com 85% de resíduo

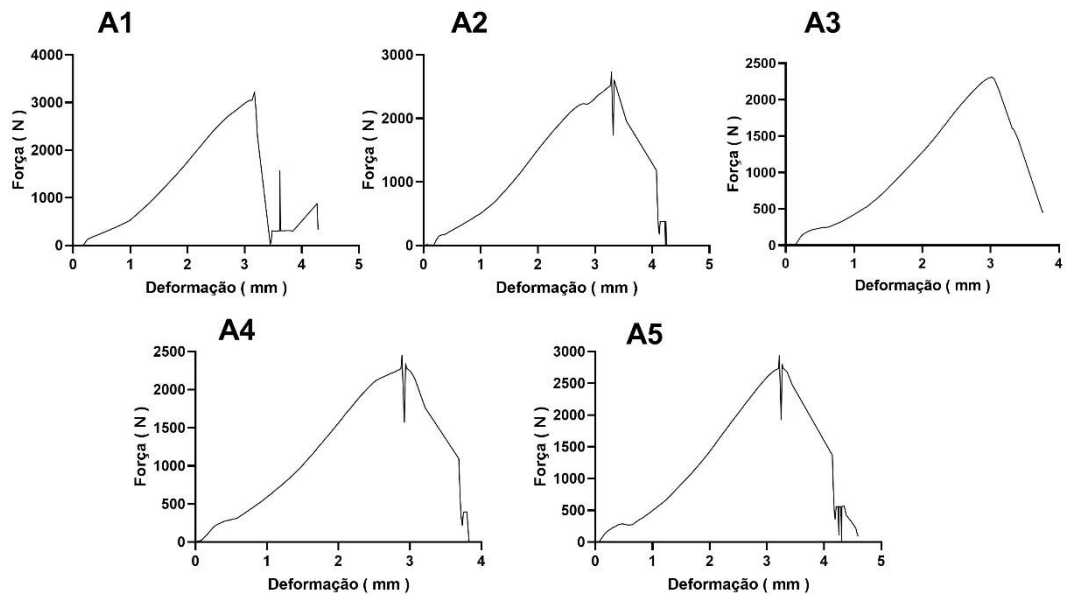


Figura 30. Ensaio de tracção das amostras de *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* com 85% de resíduo

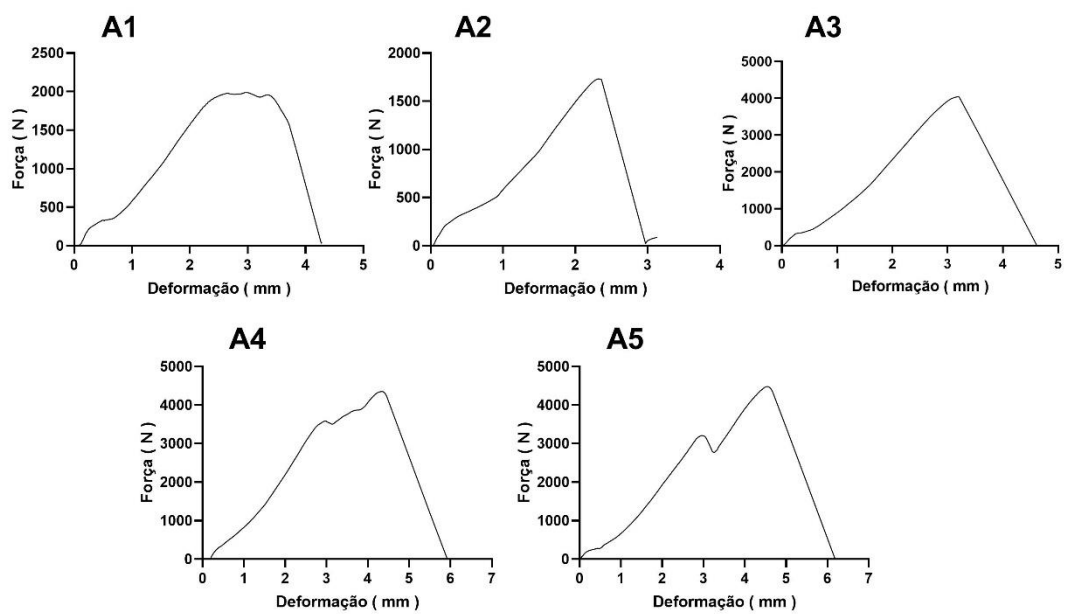


Figura 31. Ensaio de tracção das amostras de *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* com 90% de resíduo



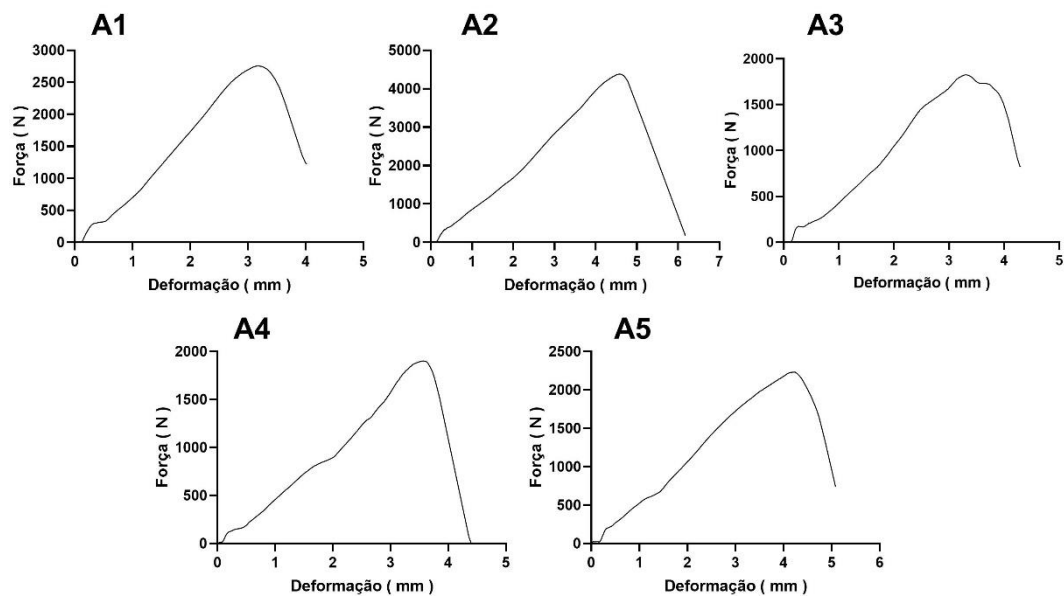


Figura 32. Ensaio de tracção das amostras de variadas espécies comerciais de alta densidade da Amazônia com 85% de resíduo

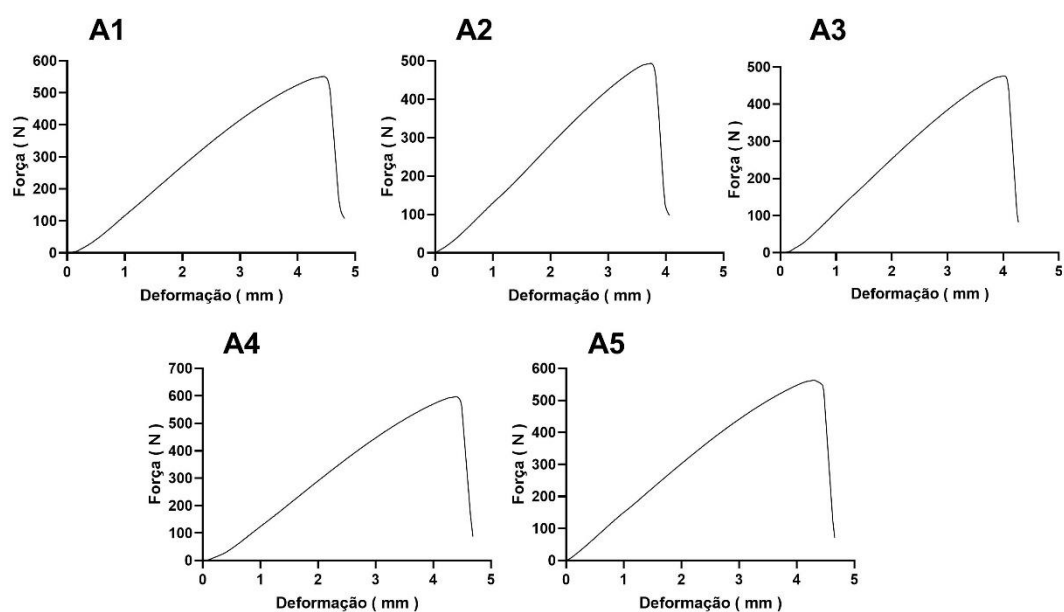


Figura 33. Ensaio de flexão das amostras de *Dinizia excelsa* Ducke com 85% de resíduo

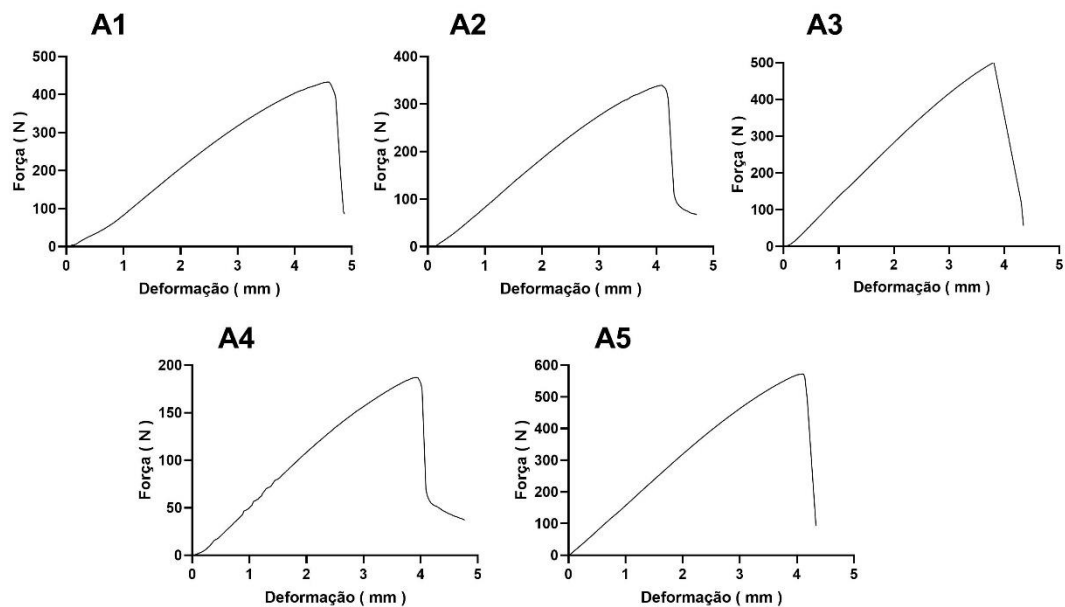


Figura 34. Ensaio de flexão das amostras de *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier com 85% de resíduo

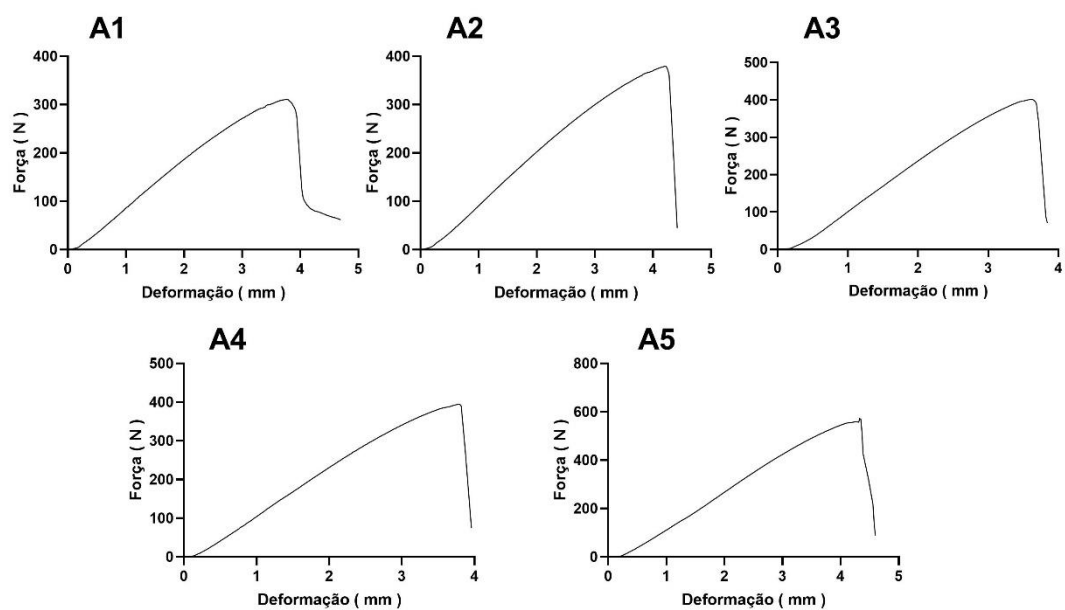


Figura 35. Ensaio de flexão das amostras de *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* com 85% de resíduo

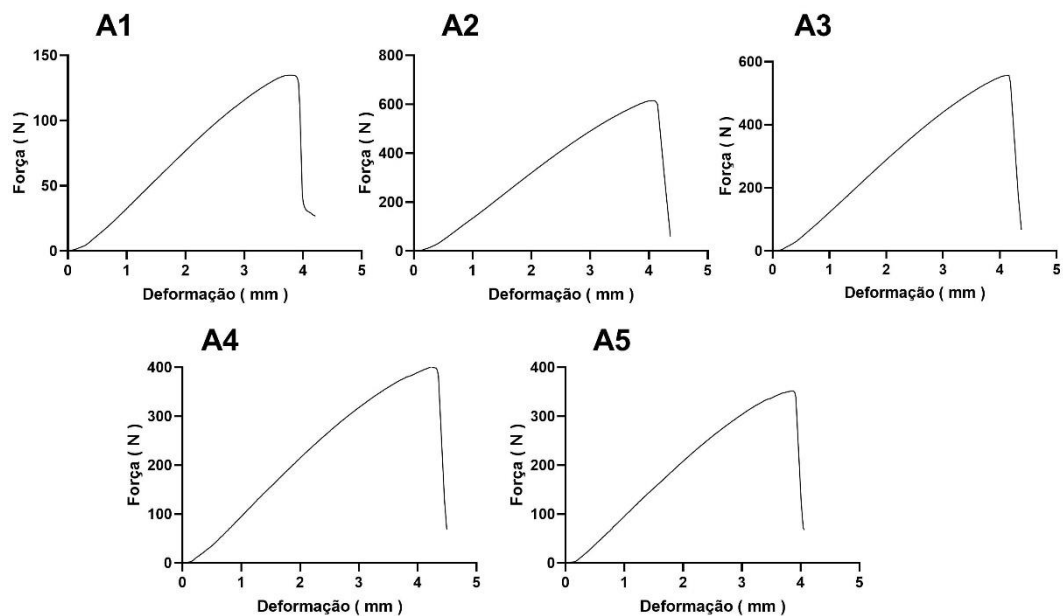


Figura 36. Ensaio de flexão das amostras de *Dinizia excelsa* + *Manilkara huberi* com 90% de resíduo

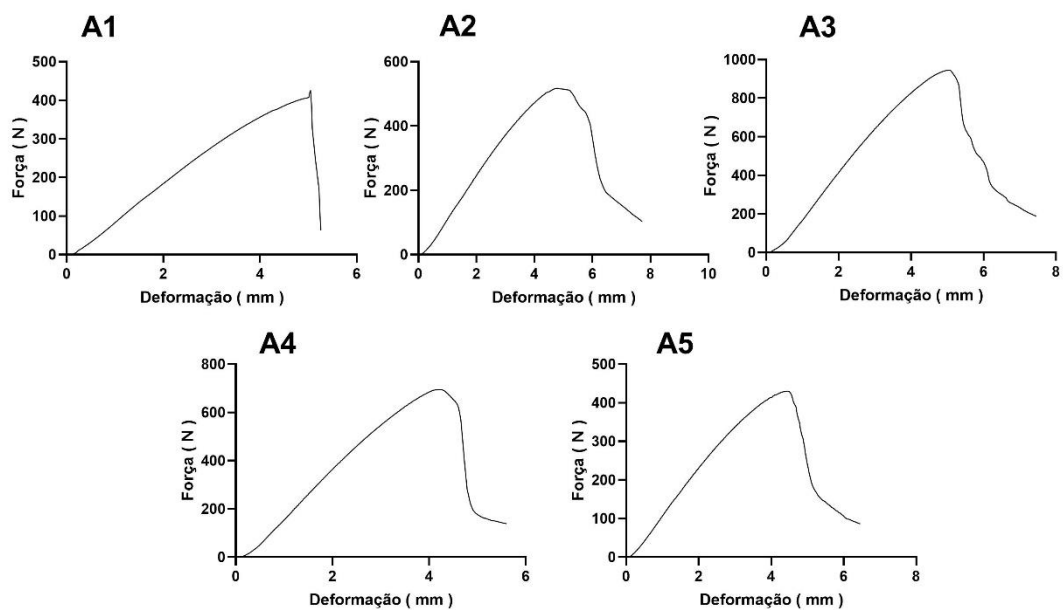


Figura 37. Ensaio de flexão das amostras de variadas espécies comerciais de alta densidade da Amazônia com 85% de resíduo