



**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA EM SETE  
ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS BRASILEIRAS COLETADAS NA  
FLORESTA NACIONAL DE JACUNDÁ**

**THALLES SANTIAGO PIMENTEL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA EM SETE  
ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS BRASILEIRAS COLETADAS NA  
FLORESTA NACIONAL DE JACUNDÁ**

**THALLES SANTIAGO PIMENTEL**

**ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**BRASÍLIA/DF**

**2021**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**“RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA EM SETE ESPÉCIES  
DE MADEIRAS TROPICAIS BRASILEIRAS COLETADAS NA FLORESTA  
NACIONAL DE JACUNDÁ”**

**THALLES SANTIAGO PIMENTEL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

APROVADA POR:

---

Prof. Dr. CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);  
(Orientador)

---

Prof. Dr. AILTON TEIXEIRA DO VALE (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);  
(Examinador Interno)

---

Prof. Dr. DIVINO ETERNO TEIXEIRA (Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB/MAPA);  
(Examinador Externo)

**Brasília-DF, 4 de junho de 2021.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PP644r Pimentel, Thalles Santiago  
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA  
EM SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS  
BRASILEIRAS COLETADAS NA  
FLORESTA NACIONAL DE JACUNDÁ / Thalles Santiago  
Pimentel; orientador Cláudio Henrique Soares Del  
Menezzi. -- Brasília, 2021.  
58 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências  
Florestais)  
- Universidade de Brasília, 2021.

1. Colagem de madeiras. 2. Madeiras nativas.  
3. Propriedades mecânicas. I. Del Menezzi,  
Cláudio Henrique Soares, orient. II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIMENTEL, T. A. **Resistência ao Cisalhamento da Linha de Cola em Sete Espécies de Madeiras Tropicais Brasileiras Coletadas na Floresta Nacional de Jacundá**. 2021. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Thalles Santiago Pimentel.

TÍTULO: Resistência ao cisalhamento da linha de cola em sete espécies de madeiras tropicais brasileiras coletadas na Floresta Nacional de Jacundá.

GRAU: Mestre

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe, Vilma Rodrigues Santiago, por ser uma guerreira e ter batalhado muito na vida para criar os seus filhos e que sempre me apoiou nesta eterna jornada de aprendizagem.

Ao Peter Wimmer, Helder Resende de Carvalho e Luciano Roitman por me ajudarem com as ideias e preparação do experimento, sem eles esta dissertação não teria saído.

Ao Hallefy Junio de Souza por ser um amigo para todas as horas e pelos incríveis pratos que ele cozinha.

Ao professor Cláudio Henrique Soares Del Menezzi pela orientação e ensinios.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Ao Setor de Engenharia física da madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF), por disponibilizar sua estrutura e equipamentos para a execução das atividades, em especial ao João Anacleto pela ajuda imprescindível na realização dos ensaios mecânicos, no qual foi vítima do Coronavírus (COVID-19).

## RESUMO

### RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA EM SETE ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS BRASILEIRAS COLETADAS NA FLORESTA NACIONAL DE JACUNDÁ

**Autor:** Thalles Santiago Pimentel

**Orientador:** Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

**Brasília, junho de 2021**

As florestas nativas e plantadas são responsáveis por atender a demanda interna do país por madeira, o mercado consumidor está cada mais exigente com a qualidade e a origem dessas madeiras, assim uma forma de diversificar e agregar valor para as madeiras nativas é através da fabricação de produtos engenheirados da madeira. O objetivo deste trabalho foi averiguar o desempenho da colagem de *Allantoma decandra* (Ducke) S.A.Mori, Ya Y.Huang & Prance, *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f., *Dipteryx magnifica* (Ducke) Ducke, *Erisma uncinatum* Warm, *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason e *Peltogyne lecointei* Ducke coladas com os adesivos de acetato de polivinila crosslink (PVAc) e poliuretano (PUR). O material lenhoso foi coletado na Unidade de Manejo Florestal de área de concessão federal do Serviço Florestal Brasileiro explorado pela empresa Madeflona na Floresta Nacional de Jacundá, estado de Rondônia. Foi determinado a densidade básica, conforme a norma da ASTM D 2395 (ASTM, 2014). Os corpos de prova foram confeccionados, conforme a norma ASTM D 905-08, colados com PVAc e PUR com gramatura de 200 g/m<sup>2</sup> e condicionados em sala de climatização. Para o ensaio de cisalhamento na linha de cola (CLC), foram confeccionados 60 corpos de prova para cada espécie, sendo 30 para cada adesivo, que foram ensaiados seguindo a norma ASTM D905-08. O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado, submetendo os dados à análise de variância, assim foi aplicado um teste de Tukey para os dados normais e para os dados que não seguem uma distribuição normal foi aplicado um teste não paramétrico de Wilcoxon. Os seguintes valores médios de resistência ao CLC para os adesivos PVAc e PUR foi de 15,11 MPa e 13,39 MPa, respectivamente. A resistência na linha de cola para todas as espécies e a porcentagem de falha na madeira foi maior quando aplicado o adesivo PVAc em relação ao adesivo PUR, embora algumas espécies não apresentassem diferença estatística entre elas para o ensaio de CLC.

**Palavras-chave:** colagem de madeiras, madeiras nativas, propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

Native and planted forests are responsible for meeting the country's domestic demand for wood, the consumer market is increasingly demanding with the quality and origin of these wood, so a way to diversify and add value to native wood is through the manufacture of engineered wood products. The objective of this work was to verify the performance of the bonding of *Allantoma decandra* (Ducke) S.A.Mori, Ya Y.Huang & Prance, *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f., *Dipteryx magnifica* (Ducke) Ducke, *Erisma uncinatum* Warm, *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason and *Peltogyne lecointei* Ducke bonded with polyvinyl acetate crosslink (PVAc) and polyurethane (PUR) adhesives. The woody material was collected in the Forest Management Unit of a federal concession area of the Brazilian Forest Service explored by the company Madeflona in the Jacundá National Forest, state of Rondônia. The basic density was determined, according to the ASTM D 2395 standard (ASTM, 2014). The samples were prepared, according to the ASTM D 905-08 standard, glued with PVAc and PUR with a weight of 200 g/m<sup>2</sup> and conditioned in an air conditioning room. For the shear test on the glue line, 60 samples were tested for each species, 30 for each adhesive, which were tested according to the ASTM D 905-08 standard. The statistical design adopted was completely randomized, submitting the data to analysis of variance, so a Tukey test was applied for normal data and for data that do not follow a normal distribution, a non-parametric Wilcoxon test was applied. The following average values of shear bond strength in the glue line for PVAc and PUR adhesives were 15.11 MPa and 13.39 MPa, respectively. The resistance in the glue line for all species and the percentage of failure in the wood was higher when the PVAc adhesive was applied in relation to the PUR adhesive, although some species did not present statistical difference among them for the CLC.

**Keywords:** wood bonding, native woods, mechanical properties.

## SUMÁRIO

1 -INTRODUÇÃO .....	13
2 -HIPÓTESE .....	14
3 -OBJETIVO GERAL .....	14
4 -REVISÃO DE LITERATURA.....	14
4.1 -RELEVÂNCIA DOS ADESIVOS PARA A TECNOLOGIA DA MADEIRA .	14
4.2 -ESPÉCIES.....	22
4.2.1 - <i>Allantoma decandra</i> (Ducke) S.A.Mori, Ya Y.Huang & Prance .....	22
4.2.3 - <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Forsyth f. / <i>Dipteryx magnifica</i> (Ducke) Ducke	23
4.2.4 - <i>Erisma uncinatum</i> Warm.....	25
4.2.5 - <i>Handroanthus incanus</i> (A.H.Gentry) S.Grose .....	26
4.2.6 - <i>Martiodendron elatum</i> (Ducke) Gleason .....	27
4.2.7 - <i>Peltogyne lecointei</i> Ducke.....	28
5 -MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.1 -MATERIAL LENHOSO .....	30
5.2 -DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA .....	31
5.3 -CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	32
5.4 -ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
6 -RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
6.1 -RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA.....	36
6.2 -PERCENTAGEM DE FALHA NA MADEIRA.....	41
6.3 -EFICIÊNCIA.....	44
7 -CONCLUSÃO.....	47
8 -RECOMENDAÇÕES.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
APÊNDICES.....	56



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Relação das sete espécies contempladas neste estudo, coletadas na Floresta Nacional do Jacundá para avaliação da resistência ao cisalhamento na linha de cola (CLC). .....	30
<b>Tabela 2.</b> Características dos adesivos fornecidas pelos fabricantes, utilizados para a colagem das espécies do estudo. ....	32
<b>Tabela 3.</b> Teste de normalidade de Shapiro-Wilk para os adesivos .....	36
<b>Tabela 4.</b> Análise de variância (ANOVA) para o CLC de amostras coladas com o adesivo PVAc, nas quais os tratamentos são representados pelas espécies estudadas a uma significância de 5%. .....	36
<b>Tabela 5.</b> Análise de variância (ANOVA) para o CLC de amostras coladas com o adesivo PUR, nas quais os tratamentos são representados pelas espécies estudadas a uma significância de 5%. .....	38
<b>Tabela 6.</b> Densidade Básica, média do cisalhamento da madeira sólida, coeficiente de variação e resistência média do cisalhamento avaliando as espécies separadamente, averiguando se há diferença estatística com o adesivo utilizado, a 5% de significância. ....	39
<b>Tabela 7.</b> Esquema da análise de variância (ANOVA) para o CLC, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos estudados a uma significância de 5%. .....	40
<b>Tabela 8.</b> Valores da média de porcentagem de falha na madeira e coeficiente de variação para os adesivos PVAc e PUR .....	41
<b>Tabela 9.</b> Teste de normalidade de Shapiro-Wilk para a porcentagem de falha na madeira.....	42
<b>Tabela 10.</b> Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie <i>Peltogyne lecointei</i> , nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.....	57
<b>Tabela 11.</b> Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie <i>Dipteryx odorata</i> , nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância. ....	57

<b>Tabela 12.</b> Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie <i>Allantoma decandra</i> , nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.....	58
<b>Tabela 13.</b> Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie <i>Handroanthus incanus</i> , nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.....	58
<b>Tabela 14.</b> Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie <i>Dipteryx magnifica</i> , nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.....	58
<b>Tabela 15.</b> Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie <i>Martiodendron elatum</i> , nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.....	58
<b>Tabela 16.</b> Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie <i>Erisma uncinatum</i> , nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.....	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema geral e seção transversal de uma peça de MLC. ....	17
<b>Figura 2.</b> Processo de fabricação da MLC.....	18
<b>Figura 3.</b> Redistribuição do estresse em torno de defeitos.....	19
<b>Figura 4.</b> Esquema geral de uma peça de CLT. ....	20
<b>Figura 5.</b> Noção geral sobre o procedimento de fabricação de CLT. Fonte: JELEČ et al. (2018). ....	21
<b>Figura 6.</b> Face tangencial (A), face radial (B) e face transversal (C) da madeira de jequitibá (BRASIL, 2021a) .....	22
<b>Figura 7.</b> Face tangencial (A), face radial (B) e Face transversal (C) da madeira de cumaru-ferro (BRASIL, 2019) .....	24
<b>Figura 8.</b> Corte transversal de <i>D. magnifica</i> (BRASIL, 2019).....	25
<b>Figura 9.</b> Face tangencial (A), Face radial (B) e face transversal (C) de <i>E. uncinatum</i> (BRASIL, 2021c).....	26
<b>Figura 10.</b> Face radial (A) e face transversal (B) de <i>H. incanus</i> (BRASIL, 2021d) ..	27
<b>Figura 11.</b> Face tangencial (A) e face transversal de <i>M. elatum</i> (BRASIL, 2021e)..	28
<b>Figura 12.</b> Face tangencial (A), face radial (B) e face transversal (C) de <i>P. lecointei</i> (BRASIL, 2021e) .....	29
<b>Figura 13.</b> As madeiras das espécies tropicais sendo processadas em tarugos.....	31
<b>Figura 14.</b> Dimensões do corpo de prova para teste de CLC conforme norma ASTM D 905-08.....	32
<b>Figura 15.</b> Aplicação do adesivo com auxílio da balança de precisão para alcançar a gramatura de 200 g/m <sup>2</sup> (A) e a distribuição do adesivo na área da lamela a ser colada com auxílio de uma espátula (B), preparação dos blocos para prensagem (C) e blocos submetidos a prensagem pelo tempo de 2 horas (D).....	33
<b>Figura 16.</b> Blocos colados e armazenados na sala de climatização para dar origem aos CPs (A) e CPs sendo identificados para iniciar o teste CLC.....	34
<b>Figura 17.</b> Dimensões dos corpos de prova para o teste de cisalhamento paralelo às fibras na madeira sólida. ....	34
<b>Figura 18.</b> Modelo de gabarito, utilizado para avaliação da percentagem de falha da madeira e linha de cola. ....	35

<b>Figura 19.</b> Valor médio do CLC com o uso de PVAc para as sete espécies estudadas e respectivo resultado do teste de Tukey a 5% de significância.....	37
<b>Figura 20.</b> Valor médio do CLC com o uso de PUR para as sete espécies estudadas e respectivo resultado do teste de Tukey a 5% de significância.....	38
<b>Figura 21.</b> Valores médios de CLC comparando entre todos os CPs colados com PVAc e PUR.....	41
<b>Figura 22.</b> Mediana da porcentagem de falha na madeira com o uso de PVAc para as sete espécies estudadas e respectivo resultado do teste de Wilcoxon, a 5% de significância.....	43
<b>Figura 23.</b> Mediana da porcentagem de falha na madeira com o uso de PUR para as sete espécies estudadas e respectivo resultado do teste de Wilcoxon, a 5% de significância.....	44
<b>Figura 24.</b> Valores médios de CLC divididos pelos valores médios de CSM, para obtenção da eficiência em porcentagem, para todas as espécies contempladas no estudo.....	45
<b>Figura 25.</b> Boxplot para averiguar os outliers da variável CLC com o uso de PVAc para as sete espécies estudadas. ....	56
<b>Figura 26.</b> Boxplot para averiguar os outliers da variável CLC com o uso de PUR para as sete espécies estudadas. ....	56
<b>Figura 27.</b> Boxplot para averiguar os outliers da variável falha na madeira com o uso de PVAc para as sete espécies estudadas. ....	57
<b>Figura 28.</b> Boxplot para averiguar os outliers da variável falha na madeira com o uso de PUR para as sete espécies estudadas.....	57

## 1 - INTRODUÇÃO

As florestas nativas e plantadas são responsáveis por atender a demanda interna do país por madeira, o mercado consumidor está cada mais exigente com a qualidade e a origem dessas madeiras, dessa forma, o conhecimento das propriedades tecnológicas e sua aplicabilidade são necessárias para diversificar o seu uso. Comutativamente, a exploração dos recursos naturais deve ser realizada por um Plano de Manejo Florestal Sustentável regulamentado por um órgão fiscalizador competente, que visa garantir a continua produção e proteção da área explorada.

Uma forma de diversificar e agregar valor para as madeiras nativas é através da fabricação de produtos engenheirados da madeira (PEM), que consistem num amplo conjunto de produtos processados industrialmente que utilizam peças de madeira unidas pelo adesivo, afim de otimizar seu uso na construção. Os setores que utilizam madeira maciça buscaram novas alternativas para um aproveitamento mais racional e que pudessem diminuir suas limitações de uso. Por conseguinte, o desenvolvimento de adesivos sintéticos deu a capacidade de unir peças de madeira para criar membros estruturais.

Antes de realizar a manufatura de PEM como, por exemplo madeira laminada colada (MLC) e madeira laminada colada cruzada (CLT), deve-se testar a eficiência do adesivo através de ensaios de cisalhamento na linha de cola (CLC), tração normal à face colada, delaminação, entre outros. Diante disso, o adesivo é o responsável por transferir tensões de uma peça para a outra, na qual o fenômeno físico-químico que explica o comportamento do adesivo de aderir ao substrato é a adesão, o qual prediz um mecanismo de interação entre superfícies sólidas, com capacidade de manter unidos outros materiais em sua superfície.

Para a colagem, as condições físicas e químicas da superfície são importantes, neste sentido a viscosidade adequada dos adesivos para umedecer e espalhar nas superfícies, associado à aplicação de pressão para melhor consolidar as juntas de madeira coladas, são requisitos indispensáveis para uma colagem de qualidade. O adesivo é um componente importante na produção de produtos à base de madeira e seus derivados, que pode representar até 50% do custo total do painel.

Partindo dessas informações, no presente trabalho averiguou-se o desempenho da colagem de sete espécies de madeiras tropicais amazônicas utilizando adesivos de acetato de polivinila crosslink (PVAc) e poliuretano (PUR),

buscando assim, a diversificação de uso para madeiras nativas e suas possíveis aplicações para o desenvolvimento de PEM como a MLC.

## **2 - HIPÓTESE**

É possível colar as madeiras tropicais com adesivos PVAc e PUR e alcançar valores de tensão de CLC superiores à tensão de cisalhamento da madeira sólida, adequando-se ao uso para PEM.

## **3 - OBJETIVO GERAL**

Avaliar a qualidade da linha de cola na colagem de sete espécies coladas com PVAc e PUR.

## **4 - REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 - RELEVÂNCIA DOS ADESIVOS PARA A TECNOLOGIA DA MADEIRA**

Para a criação de PEM, como MLC, CLT, painéis estruturais de lâminas paralelas e vigas em perfil I a madeira e o adesivo são de suma importância para sua fabricação. De acordo com LAMOUNIER et al. (2019), o uso de adesivos é imprescindível nos PEM, em alguns casos, o custo do adesivo pode ser maior que o da madeira.

Os adesivos permitiram a criação de mega estruturas em madeira, porém isso só foi possível graças ao desenvolvimento de adesivos resistentes a água. Os avanços científicos ocorreram durante a Segunda Guerra Mundial, com destaque para os avanços significativos na tecnologia de adesivos com a criação do resorcinol-formaldeído que apresenta resistência a umidade (NOGUEIRA, 2017).

Há diversos tipos de adesivos e todos eles apresentam vantagens e desvantagens em relação ao produto final, desta forma, é necessário entender como o adesivo está interagindo com a madeira. BERGMAN et al. (2010) explicam que a adesão envolve fatores mecânicos, como o intertravamento mecânico que é um mecanismo de aderência e ocorre quando um adesivo penetra o lúmen das células aumentando a área de contato entre a madeira e o adesivo, assim aumentando a área

de colagem. Também há os fatores químicos, como as ligações de hidrogênio, dipolo-dipolo, polar e apolares que controlam a capacidade do adesivo de manter unidas duas superfícies de madeira. Portanto, o padrão para colagens bem sucedidas é que a madeira se aproxime da junta adesiva e que a resistência da união seja igual à resistência da madeira sólida.

Segundo BERGMAN et al. (2010), o processo de colagem ocorre em três etapas, o tratamento da superfície, adesão à superfície e a cura do adesivo. A primeira etapa consiste na preparação da superfície, a qual visa proporcionar a melhor interação do adesivo com o substrato, o conhecimento da química e morfologia da madeira é importante para entender essa interação. Em seguida, a segunda etapa consiste na formação de um contato em nível molecular do adesivo com a superfície, assim, o adesivo deve apresentar uma determinada viscosidade para desenvolver esta interação e esse processo envolve tanto as ciências da reologia – ciência da deformação e fluxo de matéria – quanto as energias superficiais determinadas pelos componentes polares e não polares tanto do adesivo como da madeira. E o último passo é a cura do adesivo, que envolve a solidificação e/ou cura.

Os adesivos podem apresentar problemas quanto a sua natureza, por exemplo o PVAc tem baixa resistência a umidade e se essa limitação não for obedecida pode resultar em delaminação progressiva. De acordo com os autores KAWECKI e PODGÓRSKI (2018), a delaminação progressiva nos PEM é ocasionada pelo uso incorreto de adesivos e tem uma influência negativa na estrutura, diminuindo a resistência mecânica do produto engenheirado.

Neste contexto de uso de adesivos, tem-se a cola base de acetato de polivinila crosslink (PVAc) que já está difundida nos mercados de laminação, movelaria e painéis sarrafeados, sendo usado para ambientes internos onde a umidade é relativamente menor.

O adesivo PVAc é produzido através da polimerização do monômero de acetato de vinila. O acetato polivinílico é um polímero que ganhou grande aceitação ao longo dos anos como matéria prima para a indústria de adesivos (IWAKIRI et al., 2013). LOPES et al. (2013), confirmam a importância dos adesivos sintéticos para a indústria brasileira da madeira e móveis, na qual o consumo de adesivos sintéticos é requisitado, entre esses adesivos pode-se destacar o uso de adesivos PVAc.

Os adesivos de PVAc são produzidos em duas etapas: a primeira consiste em uma reação de oxidação entre etileno e ácido acético para produzir o acetato de vinil, produto líquido transparente e muito inflamável; na segunda etapa, o acetato de vinil é polimerizado em uma emulsão aquosa formando uma dispersão aquosa de poli (acetato de vinila) (BANDEL, 1991).

Por serem à base de água, os adesivos de PVAc apresentam vantagens como: aplicação simples, tem baixa toxicidade, apresentam baixo custo se comparados a outras resinas comerciais, possuem baixa inflamabilidade, sob condições adequadas secam rápido, são de fácil limpeza e possuem boa estabilidade à estocagem (IWAKIRI, 2005; BIAZZON et al., 2019).

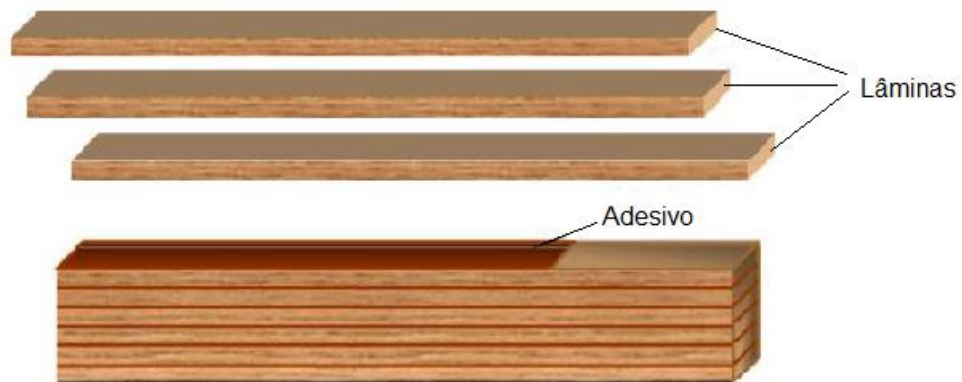
Outro adesivo usado para a colagem de PEM, é o adesivo de poliuretano, cujo uso em larga escala começou com chapas de madeira aglomerada na década de 60. Na manufatura deste adesivo é utilizado uma vasta variedade de polióis, na qual os polióis mais utilizados são provenientes da glicose poli (etileno tereftalato) e polióis poliésteres, pois é possível obter produtos de diferentes massas molares e características físicas, em função do glicol utilizado, da razão estequiométrica entre os reagentes e das condições de reação (PATEL et al., 2005).

O PUR é um polímero pertencente à classe dos termorrígidos e podem ser obtidos pela combinação de diversas moléculas mais simples, sendo que os monômeros mais utilizados são os isocianatos e polióis, dando assim origem a compostos com a chamada ligação uretana (FLORENTINO et al., 2011).

Os adesivos de PUR, com 100% de sólidos, apresentam excelentes propriedades de adesão (pela sua natureza polar), excelente resistência química (quando polimerizado), flexibilidade, desempenho bom em baixas temperaturas e podem ser curados lenta ou rapidamente (LOPES et al., 2013). Os adesivos de PUR conferem alta resistência à umidade, melhores propriedades físicas e mecânicas, quando comparados aos painéis colados com resinas fenólicas, além de não emitirem formaldeído (FERRO et al., 2016).

É importante conhecer como os adesivos podem ser utilizados, pois os PEM mais empregados do mundo como, a MLC, que são lâminas de madeira unidas pelo adesivo e formam vigas que são empregadas na construção civil, a MLC é encontrada na literatura como *glued laminated lumber (GLULAM)* (Figura 1).





**Figura 1.** Esquema geral e seção transversal de uma peça de MLC.  
Fonte: ZANGIACOMO et al. (2018).

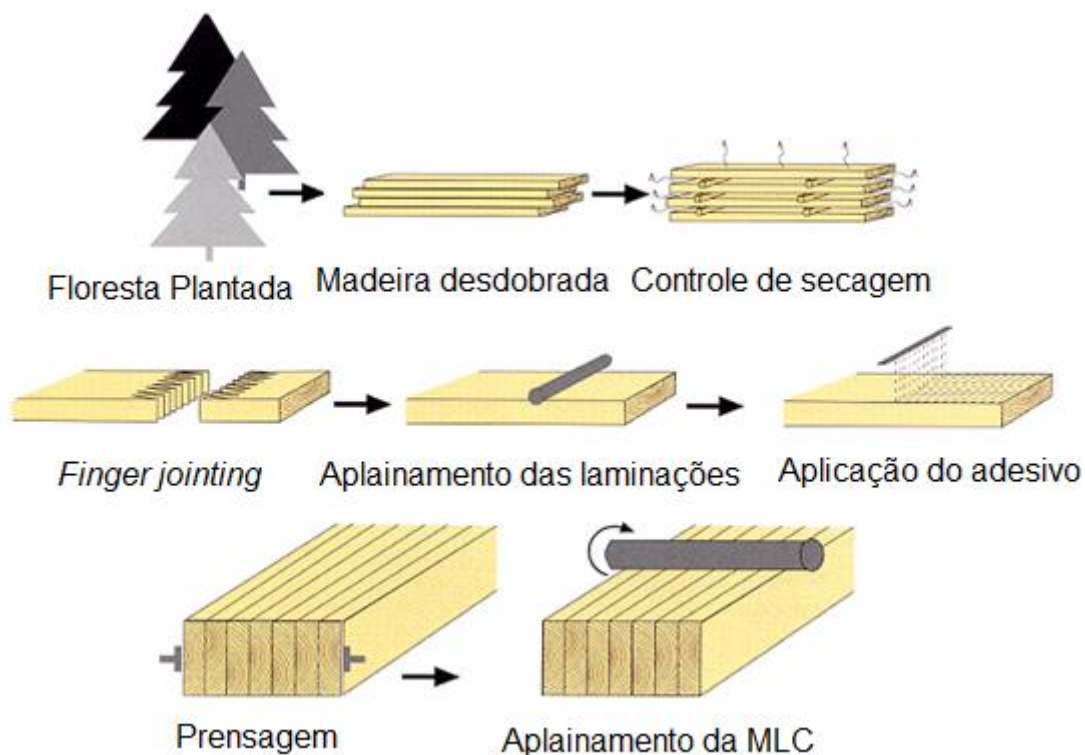
De acordo ZANGIACOMO et al. (2018), a MLC é empregada pela qualidade na construção civil e pela ampla possibilidade de utilizar matéria prima proveniente de florestas plantadas, podendo ser usado como reforço de estruturas. Para os autores DIETSCH e TANNERT (2015), o desempenho dos elementos estruturais de MLC depende da qualidade das laminações individuais, a qualidade dos *finger jointing* e a qualidade do adesivo.

Para os autores MOODY e HERNANDEZ (1997), o elemento estrutural de MLC é o resultado da união por adesivos, de duas ou mais peças de madeira, de modo que as suas fibras tenham as direções paralelas ao eixo longitudinal do elemento em construção. As emendas coladas nas extremidades, permitem formar peças com dimensões ilimitadas que funcionam como uma só unidade estrutural. Portanto, a MLC não fica limitada ao diâmetro do tronco da madeira satisfazendo ao uso na construção civil (KOMARIAH et al., 2015).

De acordo com MOODY e HERNANDEZ (1997), a primeira obra de MLC de que se tem notícia, data de 1893 na Suíça, quando foram projetados arcos laminados utilizando cola de caseína para um auditório em Basel, mas o sucesso da técnica de MLC ocorreu com o avanço nos adesivos, e foi durante a Segunda Guerra Mundial, com o surgimento das colas sintéticas. Assim propiciou, a rápida expansão pela Europa, tendo destaque em países como França, Alemanha e Holanda.

A confecção da MLC se apoia num processo metodológico que pode usar madeira provenientes de plantios florestais comerciais ou naturais (Figura 2). De acordo com CALIL NETO et al. (2014), a MLC requer precisão de fabricação em todos

os seus estágios, podendo ser empregada sob as mais variadas formas estruturais, consistindo em um produto de qualidade.

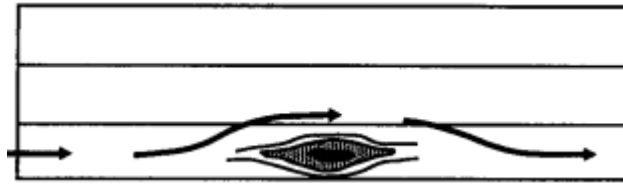


**Figura 2.** Processo de fabricação da MLC

Fonte: GLUED LAMINATED TIMBER ASSOCIATION (2014).

Desta forma as toras de madeira são desdobradas nas dimensões das lamelas e em seguida serão postas em secagem. MOODY e HERNANDEZ (1997), afirmam que é preciso que estas estejam com um teor de umidade entre 7% e 14% e não deve haver uma diferença de umidade entre tábuas adjacentes, maior que 5%.

Por conseguinte, as lâminas podem apresentar defeitos naturais atribuídas ao crescimento da árvore como o surgimento de nós (FINK e KOHLER, 2014). De acordo com FALK e COLLING (1995), a presença de nós fornece caminhos alternativos para que as tensões fluam ao redor do defeito por meio de áreas adjacentes de alta rigidez de laminações vizinhas (Figura 3).



**Figura 3.** Redistribuição do estresse em torno de defeitos.  
Fonte: FALK e COLLING (1995).

Assim há o procedimento de *finger jointing* que se baseia na união das extremidades da madeira onde o nó foi retirado, este procedimento apresenta como objetivo principal de obter o comprimento desejado sem perder a resistência.(KHELIFA et al., 2015).

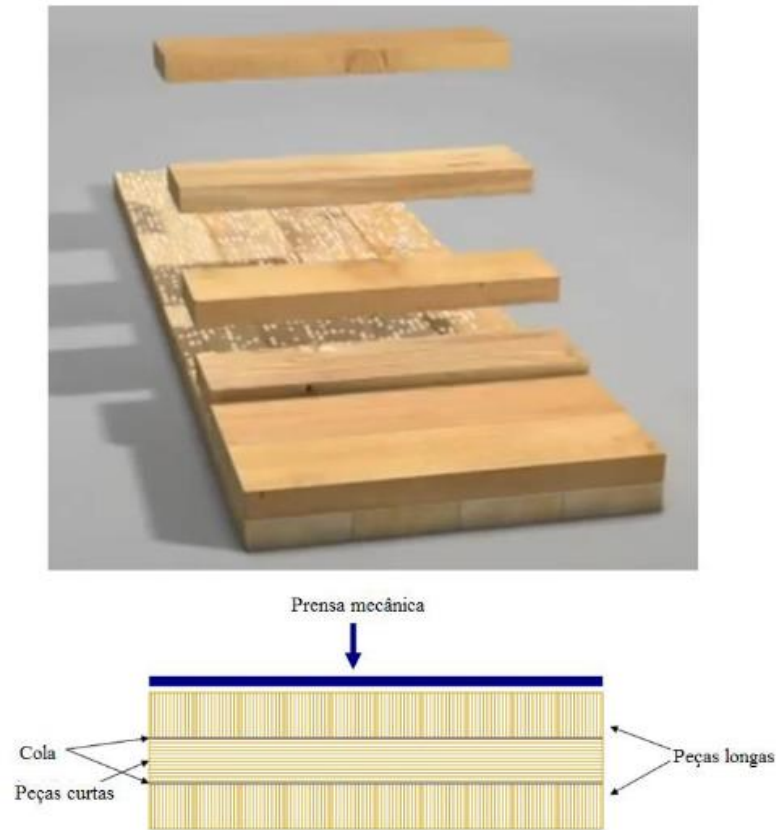
De acordo com SMULSKI (1997), a MLC apresenta diversas vantagens quando comparada a madeira serrada, são esses:

- A MLC permite a criação de membros estruturais de maiores dimensões. Combinando pequenos pedaços de madeira sob a forma de MLC, grandes membros estruturais podem ser criados;
- As extensões longas proporcionadas pela MLC permitem planos abertos sem restrições por colunas. Durante o processo de fabricação da MLC, uma variedade de efeitos arquitetônicos, incluindo arcos e curvas compostas podem ser criadas;
- Os membros estruturais podem ser projetados com uma seção transversal variável ao longo de seu comprimento, conforme determinado pelos requisitos de resistência e rigidez da aplicação.

Outro PEM que depende do uso de adesivo para a sua confecção e necessita do teste de CLC, como outros testes específicos, é a CLT, conhecida também como *Cross Laminated Timber*, baseia-se na união de lâminas de madeira dispostas num ângulo de 90° unidas por um adesivo de uso estrutural, com objetivo de criar grandes painéis (Figura 4). Para BOURSCHEID et al. (2015), a CLT possui características mecânicas, físicas e ambientais que potencializa como uma utilização alternativa para a construção civil, na qual não apresenta limitação de uso ao nível estrutural.

As peças de CLT são geralmente fabricadas com um número ímpar de camadas (3-7 camadas) e por apresentar essas camadas transversais, traz vantagens

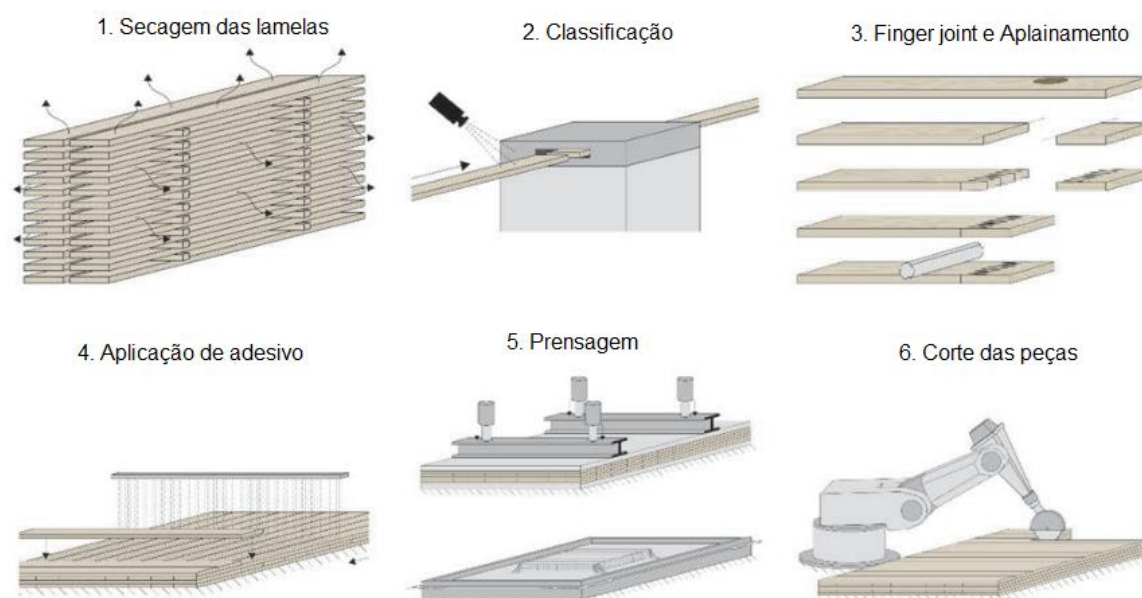
em termos de capacidade de carga nos planos longitudinais e transversais e também a diminuição da contração e do inchamento (KUILEN et al., 2011).



**Figura 4.** Esquema geral de uma peça de CLT.

Fonte: BOURSCHEID et al. (2015).

O desenvolvimento da CLT se originou na década de 1990 na Áustria e desde essa época vem ganhando notoriedade no cenário mundial devido ao seu tamanho e extensas possibilidades de aplicações. Para a confecção de peças de CLT (Figura 5) são necessários grandes volumes de madeira serrada e devido ao seu design exclusivo de laminação paralela, proporciona um bom potencial para substituir madeiras de baixa resistência. Os adesivos são frequentemente usados para a colagem das peças de CLT, sendo o poliuretano o mais comum, mas melamina ureia-formaldeído ou fenol-resorcinol-formaldeído também são usados (CRESPELL e GAGNON, 2010).



**Figura 5.** Noção geral sobre o procedimento de fabricação de CLT. Fonte: JELEČ et al. (2018).

De acordo com BETETTE e CASTILHO (2019) a utilização de CLT apresenta diversas vantagens com relação a outros materiais construtivos usuais, são esses:

- As peças de CLT são processadas e fabricadas *off-site* e o projeto e execução das peças são planejados e precisos ficando limitados apenas pelo transporte;
- A laminação cruzada cria propriedades de resistência equiparáveis aos elementos de construção civil, como o aço e o concreto, além de um isolamento acústico e térmico superiores;
- Peças em CLT se tornam ferramentas flexíveis na plasticidade arquitetônica projetual;
- A fabricação de CLT é vista como limpa, apresentando quase nenhum resíduo e desperdício na fábrica.

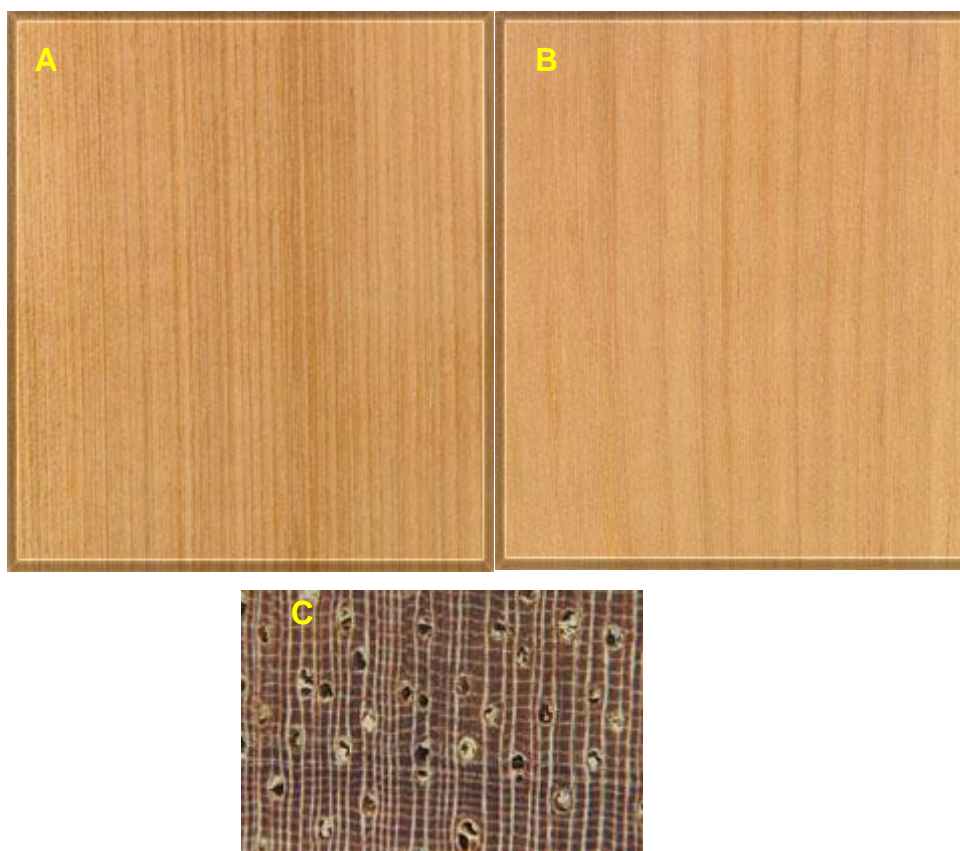
Por fim, o processo de laminação permite a colocação estratégica de diferentes tipos de madeira em uma peça tanto para a MLC quanto para a CLT. Tipicamente, as lamelas mais bem classificadas são colocadas nas laminações altamente estressadas, perto da parte superior e inferior do membro, enquanto as lamelas menos resistentes ficam na porção central do membro.

## 4.2 - ESPÉCIES

### 4.2.1 - *Allantoma decandra* (Ducke) S.A.Mori, Ya Y.Huang & Prance

Conhecida vulgarmente como jequitibá, *Allantoma decandra* é nativa da América do Sul, pertencente à família Lecythidaceae (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY, 2019a). Árvore de dossel emergente, podendo alcançar até 40m de altura, casca externa fissurada, casca interna alaranjada a avermelhada e folhas elípticas a oblongo-ovadas (SMITH et al., 2015).

A madeira de jequitibá apresenta cerne branco-amarelado indistinto do alburno (Figura 6), camadas de crescimento pouco distintas, grã direita, textura média, brilho fraco e sem cheiro, esta espécie apresenta uma densidade básica de 0,52 g/cm<sup>3</sup>, é fácil de secar, apresenta acabamento superficial fácil na serra e na plaina e bom acabamento na lixa (Melo & Camargos, 2016; IBAMA, 2019).



**Figura 6.** Face tangencial (A), face radial (B) e face transversal (C) da madeira de jequitibá (BRASIL, 2021a)

De acordo com IBAMA (2019), a madeira de jequitibá é comumente utilizada para fabricação de cabo de rodo, vassoura e esfregão, cabo para utensílios domésticos (faca, canivete, talheres, cabo de panela e bandeja), cabo para utensílio de horta e jardim (cutelo, ancinho e sacho), hélice de ventilador, lápis, palito de dente, palito de fosforo, palito e pá de sorvete, pequeno objeto (objeto de adorno, moldura e estojo), revestimento em geral, taco para esporte (taco de bilhar, polo e golfe) e tonel.

#### 4.2.3 - *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f. / *Dipteryx magnifica* (Ducke) Ducke

As árvores do gênero *Dipteryx* são vulgarmente chamadas de cumaru, assim *Dipteryx odorata* é comumente chamado de cumaru-ferro e *Dipteryx magnifica* comumente chamado de cumaru-rosa. Ambas as espécies são nativas da América do Sul, pertencentes à família Fabaceae (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY, 2019c).

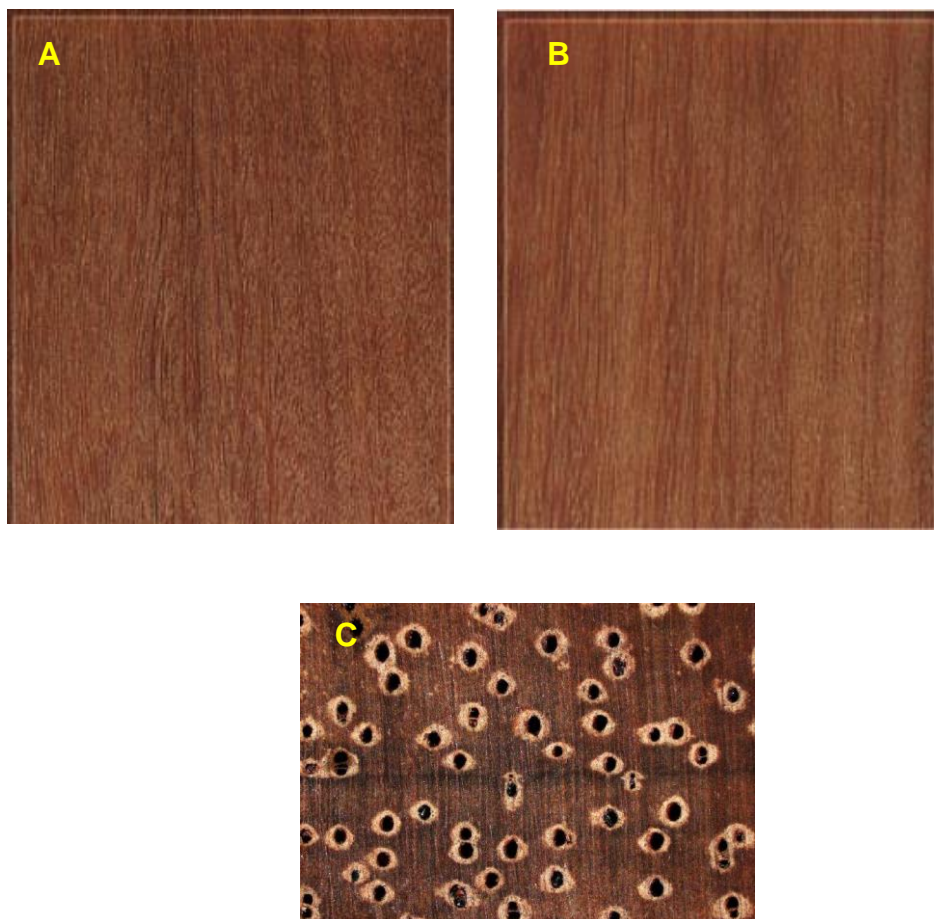
O cumaru-ferro é uma árvore de grandes proporções, com altura que pode ultrapassar 30 m e o DAP (diâmetro à altura do peito) de 150 cm (LORENZI, 1998). A distribuição geográfica desta espécie ocorre na Bolívia, Colômbia, Guiana, Guiana Francesa, Honduras, Peru e Venezuela, no Brasil esta espécie pode ser encontrada nos estados de Acre, Amazonas, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e Rondônia (CARVALHO, 2009).

A madeira de cumaru-ferro apresenta uma nítida diferenciação entre o alburno e o cerne, com uma zona de transição abrupta, a coloração do cerne e alburno varia conforme o solo em que ela cresce, podendo apresentar o alburno cinza- amarelo e cerne castanho-avermelhado (Figura 7) ou amarelo- rosado (CARVALHO, 2009).

A densidade básica do cumaru-ferro é de 0,91 g/cm<sup>3</sup>, apresenta uma secagem fácil e o acabamento superficial regular. Desta forma, pode-se aplicar a sua madeira para diversas utilidades desde cruzeta, dormente, escultura, esquadria (janela, porta maciça, caixilho, portal, escada, alisar e rodapé), estrutura de cobertura (viga, caibro, e ripa), piso residencial (tábua corrida e taco), piso industrial interno e piso externo (deque e passarela), pilar, viga e tabuleiro ou estrado de ponte, estaca marítima, poste para energia, estaca e esticador de cerca, revestimento em geral (parede interna e parede externa), sauna, telha de madeira e torneado (MELO e CAMARGOS, 2016; IBAMA, 2019). CARVALHO (2009), ressalta que a madeira de *D. odorata* é tida como



uma das melhores madeiras para dormentes, não apenas pela durabilidade, mas também por não rachar quando exposta ao sol.



**Figura 7.** Face tangencial (A), face radial (B) e Face transversal (C) da madeira de cumaru-ferro (BRASIL, 2019)

*Dipteryx magnifica*, carece de estudos que detalhem sua descrição botânica específica, descrição da madeira, testes mecânicos e físicos, pois estas informações não estão documentadas. No entanto, há apenas fotos de corte transversal feito pelo Laboratório de Produtos Florestais - LPF/SFB em Brasília (Figura 8).





**Figura 8.** Corte transversal de *D. magnifica* (BRASIL, 2019)

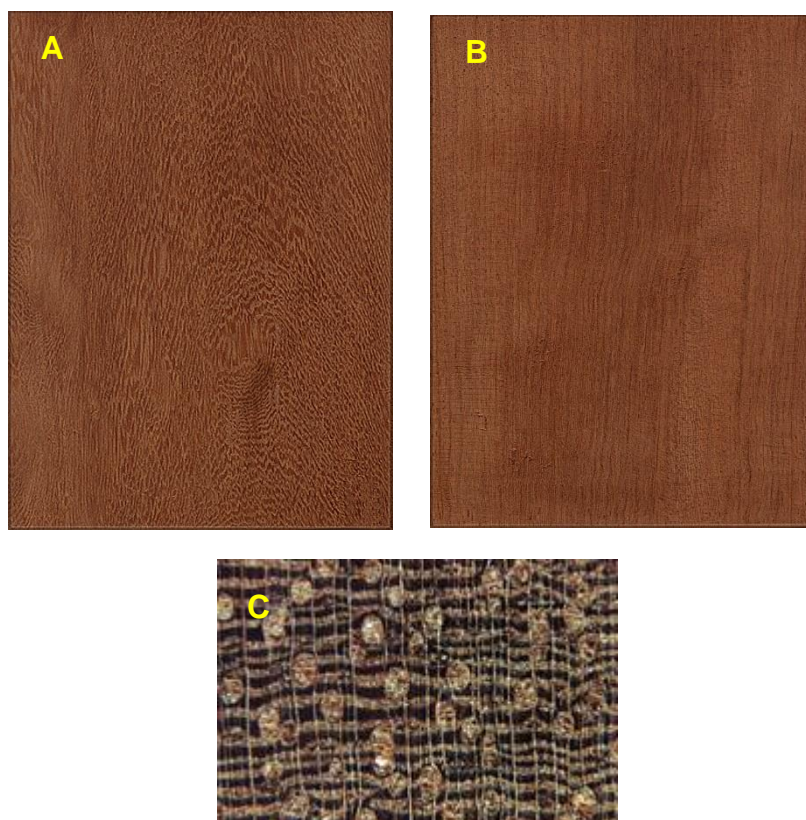
#### 4.2.4 - *Erisma uncinatum* Warm.

*Erisma uncinatum* conhecida vulgarmente por cedrinho, é uma espécie de ocorrência da América do Sul, pertencente à família Vochysiaceae (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY, 2019c).

O cedrinho é uma árvore que pode atingir de 7 a 18 m de altura, o DAP varia de 40 a 70 cm com ramos acinzentados, possui casca rugosa fissurada, é característico do domínio fitogeográfico da floresta pluvial Amazônica de terra firme, sendo encontrado nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia (LORENZI, 1998).

Segundo MELO e CAMARGOS (2016), a madeira dessa espécie possui densidade básica de  $0,48 \text{ g/cm}^3$ , é fácil de secar, fácil de processar na plaina, lixa e na serra, porém apresenta um acabamento superficial ruim na plaina e na lixa. Os usos para essa madeira varia desde, cabo para utensilio de horta e jardim (cutelo, ancinho e sacho), embalagem leve (caixotaria em geral, caixotaria para gêneros alimentícios e caixão), pequeno objeto (objeto de adorno, moldura e estojo) e revestimento em geral (IBAMA, 2019).

Segundo BRASIL (2021c) a madeira de *E. uncinatum* apresenta o cerne com uma cor marrom, variando a marrom-avermelhado (Figura 9), o albarno é distintivo do cerne distinto apresentando uma cor marrom acinzentado claro, anéis de crescimento pouco distintos, grã direita e textura média.



**Figura 9.** Face tangencial (A), Face radial (B) e face transversal (C) de *E. uncinatum* (BRASIL, 2021c)

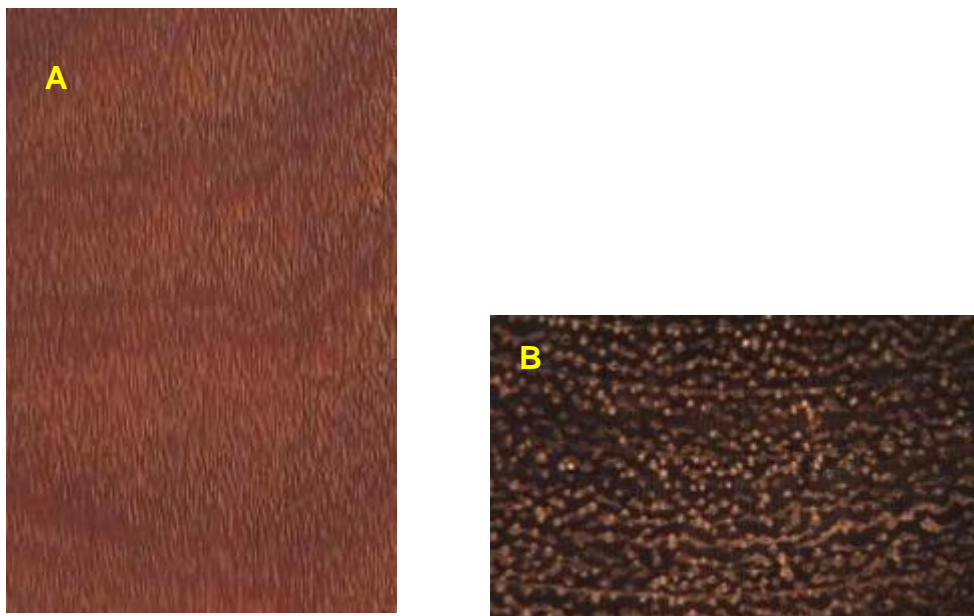
#### 4.2.5 - *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose

Conhecida vulgarmente por ipê, *Handroanthus incanus* é uma árvore nativa da América do Sul, pertencente à família Bignoniaceae (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY, 2019d).

O ipê é característico dos domínios fitogeográficos da amazônia, caatinga, cerrado, mata atlântica e pantanal e possui ocorrências confirmadas no Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná (LOHMANN, 2015).

A madeira é caracterizada como densa, apresentando 0,82 g/cm<sup>3</sup>, coloração marrom-acastanhado, grã direita e textura fina (Figura 10) (BRASIL, 2021d). De acordo com IBAMA (2019), a madeira dessa espécie é usada como cabo de rodo,

vassoura e esfregão, cabo para utensílio doméstico (faca, canivete, talheres, cabo de panela e bandeja), cabo de utensílio de horta e jardim (cutelo, ancinho e sacho), hélice de ventilador, lápis, palito de dente, palito de fósforo, palito e pá de sorvete, pequeno objeto (objeto de adorno, moldura e estojo), revestimento em geral (forro), taco para esporte (taco de bilhar, polo e golfo) e tonel.



**Figura 10.** Face radial (A) e face transversal (B) de *H. incanus* (BRASIL, 2021d)

#### 4.2.6 - *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason

O gênero *Martiodendron* Gleason conhecida vulgarmente como tamarindo, pertence à família Fabaceae e está constituído por seis taxa: quatro espécies e duas variedades com distribuição na Amazônia brasileira (Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá) e nordeste do Brasil (Bahia e Goiás). Sua ocorrência na América do Sul está registrada para a Guiana, Guiana Francesa, Suriname e sul da Venezuela (SILVA et al., 2005).

De acordo com CAMARGOS (1996), o cerne e o albúrnio são distinguíveis pela cor, com o cerne apresentando uma coloração marrom-avermelhada (Figura 11), com limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras, grã entrecruzada, textura grossa.

Segundo LOGSDON et al. (2013), a madeira *M. elatum*, possui uma densidade básica de 0,78 g/cm<sup>3</sup> com uma mediana resistência mecânica e pode ser utilizada em estruturas de madeira de médio a grande porte, pois o valor característico da

resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k}=71,90$  MPa) a classifica na classe de resistência D60.



**Figura 11.** Face tangencial (A) e face transversal de *M. elatum* (BRASIL, 2021e)

#### 4.2.7 - *Peltogyne lecointei* Ducke

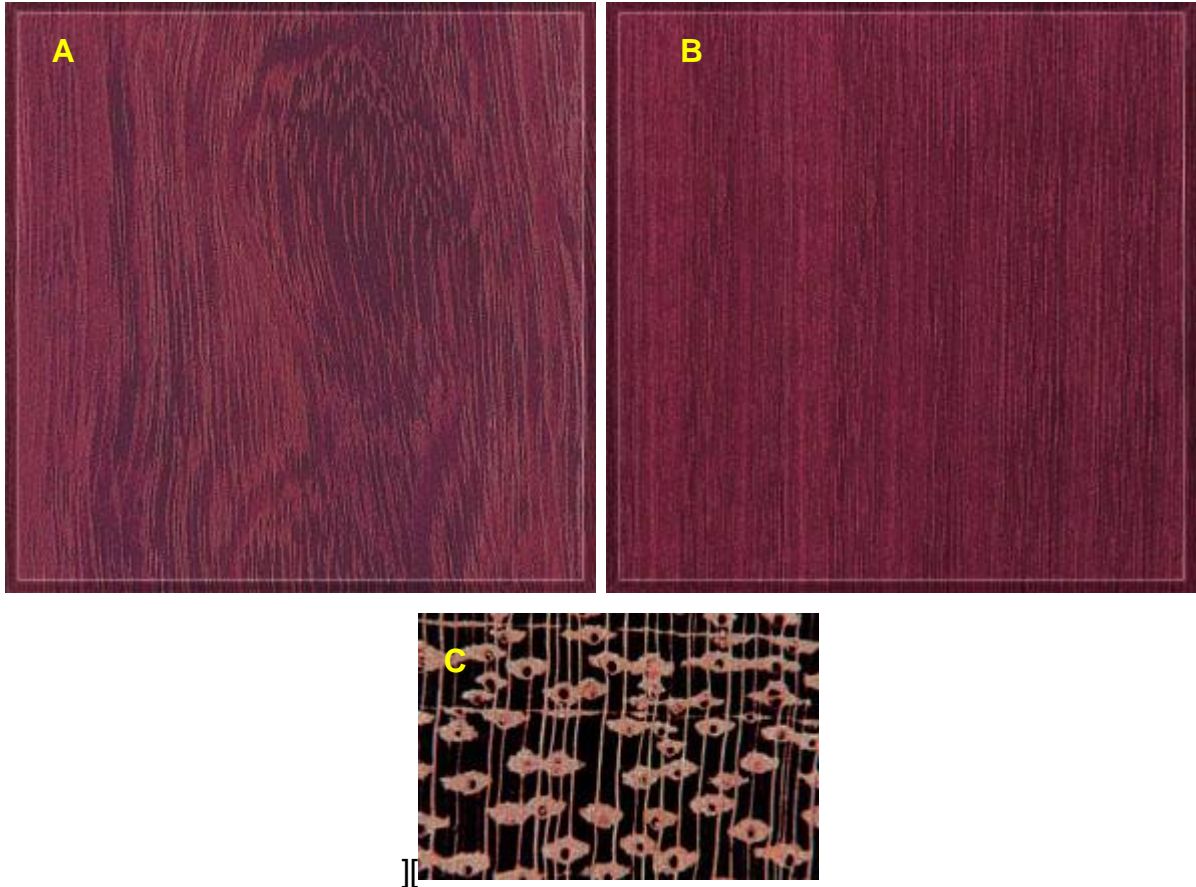
O gênero *Peltogyne* Vogel, essencialmente neotropical, consiste atualmente em 23 espécies distribuídas desde o México. Panamá, Colômbia, Guianas, Bolívia e Trinidad, até o limite sudeste do Brasil, sendo a Amazônia Central, principalmente, o seu centro de distribuição geográfica (SILVA, 1976). *Peltogyne lecointei*, vulgarmente conhecido como roxinho, pertencente à família Fabaceae (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY, 2019e).

Árvore de 20-30m de altura, completamente glabra, exceto as inflorescências ramos jovens escuros; tronco ereto com sapopemas na base, córtex cinzento e lenho violáceo brilhante (SILVA, 1976). O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) descreve a madeira de roxinho englobando boa parte das espécies do gênero *Peltogyne* como *Peltogyne paniculata* Benth., *P. maranhensis* Huber & Ducke, *P. subsessilis* W. Rodr., *P. paradoxa* Ducke, *P. catingae* Ducke, *P. confertiflora* (Hayne) Benth., *P. lecointei* Ducke, *P. recifensis* Ducke, pois essas madeiras são semelhantes nas suas características e o comércio madeireiro trata todas essas espécies com o mesmo valor.

A madeira de *P. lecointei* possui cerne e albarno distintos pela cor, cerne roxo podendo escurecer com o tempo (Figura 12), albarno bege claro; brilho moderado a acentuado; cheiro e sabor imperceptíveis; densidade alta; dura ao corte; grã direita a irregular; textura fina a média, possui uma boa resistência ao ataque de organismos xilófagos, tem uma trabalhabilidade moderadamente difícil, pois a densidade da



madeira e a exsudação de resina fazem as ferramentas esquentarem muito (BRASIL, 2021e).



**Figura 12.** Face tangencial (A), face radial (B) e face transversal (C) de *P. lecointei* (BRASIL, 2021e)

No trabalho desenvolvido por RIBEIRO et al. (2019), averiguaram as propriedades mecânicas e físicas da espécie *Peltogyne confertiflora*, em que a espécie apresentou densidade básica média de  $0,72 \text{ g/cm}^3$  e boas características mecânicas, podendo assim caracterizar a espécie de roxinho como uma madeira de qualidade, que pode ser utilizada na construção civil. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas tem listadas os vários usos desta espécie, na qual pode-se destacar o uso como dormentes ferroviários, cruzetas, esteios, estacas, tesouras, vigas, caibros, portas, janelas, batentes, painéis, forros, lambris, tábuas, tacos e parquetes (BRASIL, 2021e).

## 5 - MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 - MATERIAL LENHOSO

O material lenhoso foi coletado na Unidade de Manejo Florestal de área de concessão federal do Serviço Florestal Brasileiro explorado pela empresa Madeflona na Floresta Nacional de Jacundá, estado de Rondônia. Foram coletadas entre três e cinco indivíduos de cada uma das sete espécies (Tabela 1), buscando contemplar a variação interespecífica. O trabalho foi realizado na Área de Engenharia e Física da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB).

**Tabela 1.** Relação das sete espécies contempladas neste estudo, coletadas na Floresta Nacional do Jacundá para avaliação da resistência ao cisalhamento na linha de cola (CLC).

Nome Científico	Família Botânica	Nome Comum
<i>Allantoma decandra</i>	Lecythidaceae	Jequitibá
<i>Dipteryx magnifica</i>	Fabaceae	Cumarú Rosa
<i>Dipteryx odorata</i>	Fabaceae	Cumarú Ferro
<i>Erismia uncinatum</i>	Vochysiaceae	Cedrinho
<i>Handroanthus incanus</i>	Bignoniaceae	Ipê Amarelo
<i>Martiodendron elatum</i>	Fabaceae	Tamarindo
<i>Peltogyne lecointei</i>	Fabaceae	Roxinho

Após desdobro inicial na serraria da concessionária em Rondônia, as madeiras foram transportadas até as dependências LPF em Brasília, onde foram processadas (Figura 13) dando origem aos corpos de prova (CPs).



**Figura 13.** As madeiras das espécies tropicais sendo processadas em tarugos.

## 5.2 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA

A determinação da densidade básica foi determinada conforme a norma da *American Society for Testing and Materials*, ASTM D 2395 (ASTM, 2014). As dimensões dos corpos de prova foram de 5 cm x 3 cm x 2 cm nos sentidos longitudinal, radial e tangencial respectivamente. Após a saturação completa dos corpos de prova, o volume foi aferido pelo método de imersão e, após a secagem em estufa, as massas foram registradas com auxílio de uma balança digital de duas casas decimais (0,01 g) e capacidade de 2.100 g e foi calculada a densidade conforme a equação 1.

$$d = \frac{m}{v} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

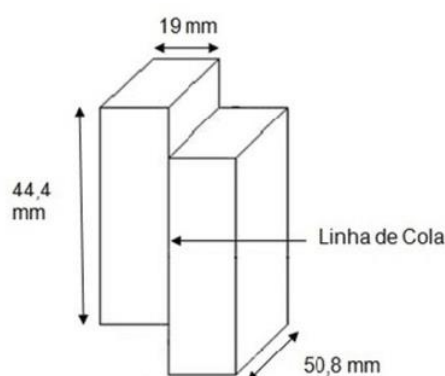
$d = \text{densidade, em } g/cm^3;$

$m = \text{massa, em g};$

$v = \text{volume, em cm}^3.$

### 5.3 - CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os CPs foram confeccionados, conforme a norma ASTM D 905-08 (Figura 14) e acondicionados em sala de climatização à temperatura de  $22 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $63 \pm 5\%$ , até atingirem 12% de teor de umidade de equilíbrio.



**Figura 14.** Dimensões do corpo de prova para teste de CLC conforme norma ASTM D 905-08.

Os tarugos foram aplainados antes da colagem, respeitando o intervalo máximo de 24 horas entre o aplainamento e a aplicação dos adesivos, cujas propriedades estão descritas na Tabela 2. A gramatura utilizada, para ambos adesivos, foi de  $200 \text{ g/m}^2$ , conforme orientação dos fabricantes.

**Tabela 2.** Características dos adesivos fornecidas pelos fabricantes, utilizados para a colagem das espécies do estudo.

Adesivo	Cor	Teor de sólidos (%)	Viscosidade (cPs)	pH	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )
PVAc da marca Titebond II Premium	Creme amarelada	48	4000	3	1,09
PUR da marca Kleiberit	Mel	*	8000	*	1,13

\* não informado pelo fabricante.



A aplicação dos adesivos foi realizada sobre os tarugos, posicionada sobre uma balança de precisão de duas casas decimais e com auxílio de uma espátula, até alcançar uma gramatura de 200g/m<sup>2</sup>. Em seguida, foram prensados numa prensa hidráulica da marca Indumec utilizando a pressão de 12 kgf/cm<sup>2</sup> (1,17 MPa) para as espécies com madeiras de densidades médias e 15 kgf/cm<sup>2</sup> (1,47 MPa) para as espécies com madeiras de densidade alta (Figura 15).



**Figura 15.** Aplicação do adesivo com auxílio da balança de precisão para alcançar a gramatura de 200 g/m<sup>2</sup> (A) e a distribuição do adesivo na área da lamela a ser colada com auxílio de uma espátula (B), preparação dos blocos para prensagem (C) e blocos submetidos a prensagem pelo tempo de 2 horas (D).

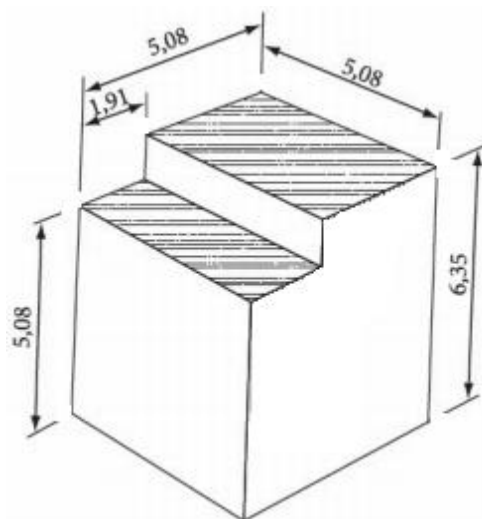
Após os tarugos serem colados e submetidos à prensa hidráulica, eles foram condicionados na sala de climatização e em seguida foram levados para carpintaria para dar origem aos CPs (Figura 16).



**Figura 16.** Blocos colados e armazenados na sala de climatização para dar origem aos CPs (A) e CPs sendo identificados para iniciar o teste CLC.

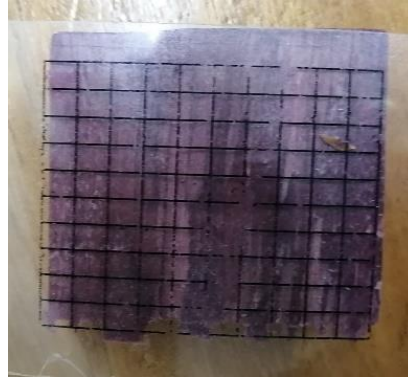
Foram confeccionados 60 corpos de prova para cada espécie, sendo 30 para cada adesivo. Logo após, a confecção, os CPs foram submetidos ao ensaio de CLC numa máquina Universal de Ensaios da marca Martins Campelo, seguindo a norma ASTM D905-08, com o registro da carga e tensão máxima de cisalhamento a uma velocidade de 5 mm/min.

Para comparação, também foi realizado o cisalhamento paralelo às fibras na madeira sólida, seguindo a norma ASTM D 143-94 (Figura 17), com a confecção de 12 corpos de prova por espécie. Antes da realização dos testes, as amostras foram mensuradas com o auxílio de um paquímetro digital, de acordo com os planos direcionais da madeira quantificando altura, largura e espessura.



**Figura 17.** Dimensões dos corpos de prova para o teste de cisalhamento paralelo às fibras na madeira sólida.

Também se avaliou a percentagem de falha na linha de cola/madeira, utilizando um gabarito quadriculado, subdividido em 100 quadrados menores (Figura 18).



**Figura 18.** Modelo de gabarito, utilizado para avaliação da percentagem de falha da madeira e linha de cola.

A eficiência foi calculada com base na equação 2, na qual utiliza os dados do cisalhamento de cada linha de cola em relação ao cisalhamento da madeira sólida das espécies.

$$E(\%) = \frac{CLC}{CMS} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

$E(\%)$  = eficiência em percentagem;

$CLC$  = resistência ao cisalhamento na linha de cola, MPa;

$CMS$  = resistência ao cisalhamento longitudinal da madeira sólida, MPa.

#### 5.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística foi utilizado o software R Studio, na qual foi aferido os *outliers* através de uma plotagem *boxplot* antes de realizar as análises. Foi aplicado um teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado, sendo sete tratamentos para a avaliação da resistência na linha de cola e falha na madeira; submetendo-os à análise de variância comparando os adesivos dentro de cada espécie e comparando entre os adesivos empregados. Se os dados seguem uma distribuição normal e a análise de variância indicou que há diferença entre os tratamentos, foi aplicado um teste de

Tukey, e para os dados que não seguem uma distribuição normal foi aplicado um teste não paramétrico de Wilcoxon, ambos os testes foram comparados a uma significância de 5%.

## 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 - RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA

Previamente à análise estatística foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para os dados de CLC, com o objetivo de averiguar se os dados seguem uma distribuição normal (Tabela 3). Ambas variáveis de adesivo apresentaram um p-valor não significativo à uma significância de 5%, ou seja, a hipótese nula foi aceita e essas variáveis tem uma distribuição normal.

**Tabela 3.** Teste de normalidade de Shapiro-Wilk para os adesivos

Variáveis	W	p-valor
PVAc	0,99019	0,1646
PUR	0,99504	0,7529

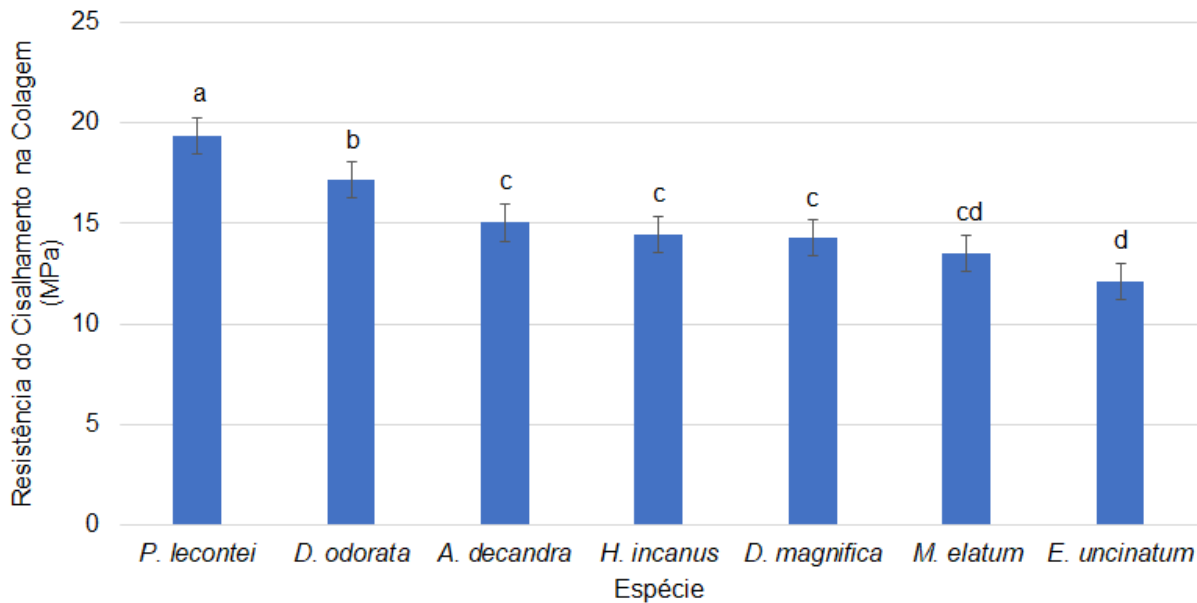
W representa o teste de Shapiro-Wilk, quanto mais próximo de 1, indica que há mais chances da amostra vir de uma distribuição normal. O p-valor foi comparado a uma significância de 5%.

Dessa forma, foi feita uma plotagem no *boxplot* para a variável PVAc (Figura 25 nos apêndices) averiguando se há *outliers*, cujo não foi identificado dados que estejam fora do intervalo de distribuição. Em seguida, foi realizado uma análise de variância (ANOVA) (Tabela 4), na qual foi constatado que há diferença a uma significância de 5%, ou seja, a hipótese nula foi rejeitada havendo diferenças entre as espécies estudadas.

**Tabela 4.** Análise de variância (ANOVA) para o CLC de amostras coladas com o adesivo PVAc, nas quais os tratamentos são representados pelas espécies estudadas a uma significância de 5%.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	6	1038	173	24,11	2,00E-16
Resíduos	203	1458	7,18		
Total	209	2496			

Havendo diferença entre os tratamentos, foi realizado um teste de Tukey (Figura 19). Assim, foi observado que o *P. lecontei* apresentou melhor desempenho com média de 19,33 MPa, seguido do *D. odorata* com média de 17,18 MPa, porém não houve diferença com *M. elatum* (13,52 MPa), *H. incanus* (14,42 MPa), *D. magnifica* (14,31 MPa) e *A. decandra* (15,04MPa) e o que apresentou menor desempenho foi o *E. uncinatum* com média de 12,12 MPa.



**Figura 19.** Valor médio do CLC com o uso de PVAc para as sete espécies estudadas e respectivo resultado do teste de Tukey a 5% de significância.

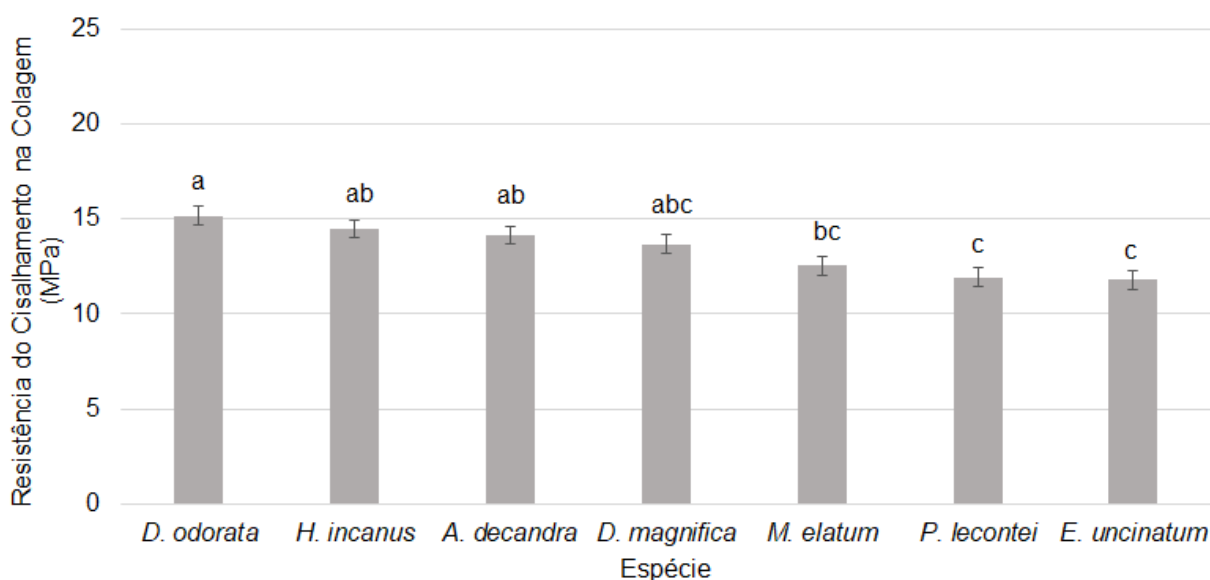
Nota: médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Para a variável PUR foi averiguado se há *outliers* através de uma plotagem do *boxplot* (Figura 26 nos apêndices), cujo foram identificados dados fora do intervalo para as espécies *P. lecontei*, *E. uncinatum*, *D. odorata*, *D. magnifica* e *A. decandra*. Em seguida, os *outliers* foram retirados do banco de dados e assim foi realizado uma análise de variância (Tabela 5), na qual foi constado que há diferença significativa a uma significância de 5%, ou seja, a hipótese alternativa foi aceita havendo diferenças entre as espécies.

**Tabela 5.** Análise de variância (ANOVA) para o CLC de amostras coladas com o adesivo PUR, nas quais os tratamentos são representados pelas espécies estudadas a uma significância de 5%.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	6	298,20	49,70	7,98	1,06E-07
Resíduo	194	1208,70	6,23		
Total	200	1506,9			

Para o adesivo PUR foi utilizado um teste paramétrico de Tukey (Figura 20), já que esta variável apresentou uma distribuição normal e a ANOVA indicou que há diferença entre as espécies. Desta forma, foi observado que as médias das espécies *D. odorata* (15,16 MPa), *H. incanus* (14,47 MPa), *A. decandra* (14,14 MPa) e *D. magnifica* (13,68 MPa) não diferiram entre si, apresentando os melhores resultados. Por outro lado, as espécies *M. elatum* (12,56 MPa), *P. lecontei* (11,92 MPa) e *E. uncinatum* (11,79 MPa) obtiveram um resultado inferior e as suas médias não diferiram entre si a uma significância de 5%.



**Figura 20.** Valor médio do CLC com o uso de PUR para as sete espécies estudadas e respectivo resultado do teste de Tukey a 5% de significância.

Nota: médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Na literatura há dificuldades de achar estudos de colagem de madeiras tropicais para se comparar os resultados. Porém, SEGUNDINHO et al. (2013), realizaram a



confeção de vigas de MLC, com *Erisma uncinatum* utilizando adesivos a base e poliuretano (PUR), encontraram valores para o CLC de 8,13 MPa a uma pressão de 1,2 MPa, portanto abaixo do valor encontrado neste estudo que foi CLC para *E. uncinatum* igual a 11,79 MPa à mesma pressão.

ALBUQUERQUE e LATORRACA (2000), discutem em seu trabalho que as propriedades anatômicas da madeira possuem uma significativa influência na colagem de madeiras, como a variabilidade na densidade e porosidade que ocorre em: lenhos inicial e tardio, cerne e alburno, e lenho juvenil e adulto. Contudo, de maneira geral pode-se influir que a densidade é o principal motivo para uma colagem de sucesso considerando as variáveis da madeira, assim, correlacionando madeiras de densidade alta com uma baixa penetração do adesivo, devido as paredes celulares mais espessas, lúmens, e pontuações reduzidos.

Outra característica que influencia a colagem é o teor de extrativos. LIMA et al. (2007), afirmam que os extrativos influenciam a cor, o odor, o gosto, a fluorescência, a durabilidade, a inflamabilidade, a relação água-madeira, a polpação e também a colagem, pois gorduras são encontradas nas células parenquimatosas, especialmente no parênquima radial, e alguns materiais podem ser depositados nos poros da madeira de folhosas.

A Tabela 6 apresenta os valores determinados para a densidade básica das sete espécies. Assim, é possível observar que, das sete espécies apenas duas (*A. decandra* e *E. uncinatum*) são classificadas como de média densidade enquanto que as cinco demais espécies possuem alta densidade.

**Tabela 6.** Densidade Básica, média do cisalhamento da madeira sólida, coeficiente de variação e resistência média do cisalhamento avaliando as espécies separadamente, averiguando se há diferença estatística com o adesivo utilizado, a 5% de significância.

Nome Científico	Densidade Básica (g/cm <sup>3</sup> )	Cisalhamento da madeira sólida (MPa)	Cisalhamento na linha de cola (MPa)			
			PVAc	CV (%)	PUR	CV (%)
<i>D. odorata</i>	0,92	16,23	17,19**	15,02	15,16 **	18,33
<i>H. incanus</i>	0,89	15,44	14,47 <sup>ns</sup>	23,82	14,43 <sup>ns</sup>	21,02
<i>P. lecointei</i>	0,86	16,43	19,33**	9,86	11,93 **	22,00
<i>D. magnifica</i>	0,82	16,51	14,31 <sup>ns</sup>	25,92	13,68 <sup>ns</sup>	13,10

<i>M. elatum</i>	0,85	13,95	13,52 <sup>ns</sup>	22,82	12,56 <sup>ns</sup>	26,14
<i>A. decandra</i>	0,57	10,81	15,04*	9,77	14,14 *	9,53
<i>E. uncinatum</i>	0,55	8,89	12,12 <sup>ns</sup>	10,42	11,80 <sup>ns</sup>	15,43

Nota: \* valores na linha para o cisalhamento na linha de cola, são significativamente diferentes a significância de 5%. \*\* são significativamente diferentes a significância de 1%. As análises de variância estão presentes nos apêndices deste trabalho. <sup>ns</sup> não significativo a uma significância de 5%.

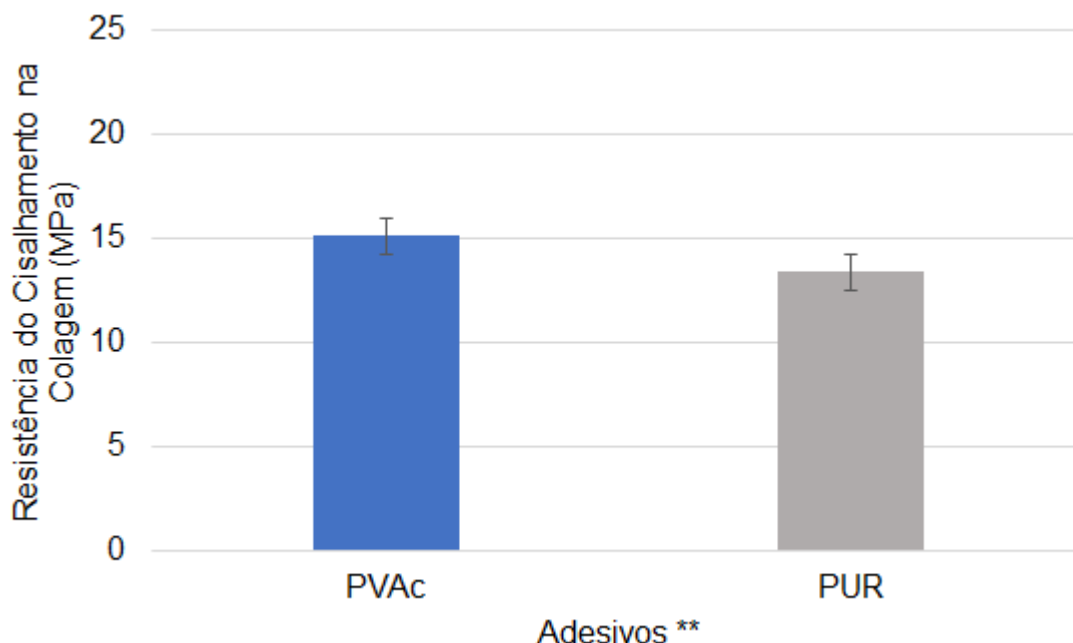
A pressão aplicada para a consolidação da junta colada variou para as espécies de densidade média e alta, e isso pode ter contribuído para o desempenho do teste de CLC, cuja as espécies de densidade maior obtiveram um desempenho superior as espécies de densidade média. SANTIAGO et al. (2018), relatam que a elevada resistência ao cisalhamento das juntas coladas com madeiras de densidade alta é atribuída as paredes celulares espessas são capazes de suportar maiores tensões. Portanto, a maior pressão aplicada para as espécies de alta densidade ajudou a mobilizar o adesivo dentro da estrutura anatômica das madeiras, proporcionando uma maior resistência.

Procurou-se também analisar quais dos adesivos produzia a maior resistência na linha de cola e para isso foi realizado uma análise de variância (Tabela 7), na qual foi constatado que há diferença significativa a uma significância de 5%, ou seja, a hipótese alternativa foi aceita havendo diferenças entre os adesivos. Os valores médios para a resistência na linha de cola com PVAc e PUR foram 15,13 MPa e 13,39 MPa, respectivamente (Figura 21).

**Tabela 7.** Esquema da análise de variância (ANOVA) para o CLC, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos estudados a uma significância de 5%.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	1	302	302,15	31,57	3,58E-08
Resíduo	407	3896	9,57		
Total	408	4198			





**Figura 21.** Valores médios de CLC comparando entre todos os CPs colados com PVAc e PUR.

Nota: \*\* são significativamente diferentes a uma significância de 1%.

## 6.2 - PERCENTAGEM DE FALHA NA MADEIRA

Avaliando a porcentagem de falha na madeira utilizando a densidade como parâmetro, ambos adesivos obtiveram os melhores resultados para as madeiras de média densidade *Allantoma decandra* e *Erismia uncinatum* (Tabela 8). IWAKIRI (2005) explana a influência da mobilidade do adesivo nas propriedades anatômicas para a falha na madeira, em que é influenciada pela constituição dos anéis de crescimento, presença de lenho juvenil e grã.

**Tabela 8.** Valores da média de porcentagem de falha na madeira e coeficiente de variação para os adesivos PVAc e PUR

Espécie	Falha na madeira (%)			
	PVAc	CV (%)	PUR	CV (%)
<i>E. uncinatum</i>	97	3,68	84	16,27
<i>A. decandra</i>	72	11	56	52,10
<i>M. elatum</i>	81	13,11	32	75,80
<i>D. odorata</i>	70	41,42	15	55,63
<i>D. magnifica</i>	51	74,23	12	81,37

<i>P. lecointei</i>	44	63,78	8	45,62
<i>H. incanus</i>	40	76,48	2	137,16
Média	65		30	

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi aplicado para os dados de falha na madeira (Tabela 9), as duas variáveis apresentaram um p-valor menor que a significância de 5%, desta maneira a hipótese alternativa foi aceita, ou seja, os dados não seguem uma distribuição normal e foi realizado um teste não paramétrico de Wilcoxon para averiguar as diferenças entre as espécies.

**Tabela 9.** Teste de normalidade de Shapiro-Wilk para a porcentagem de falha na madeira.

Variáveis	W	p-valor
PVAc	0,9727	0,0004238
PUR	0,9425	5,396e-07

W representa o teste de Shapiro-wilk, quanto mais próximo de 1, indica que há mais chances da amostra vir de uma distribuição normal. O p-valor foi comparado a uma significância de 5%.

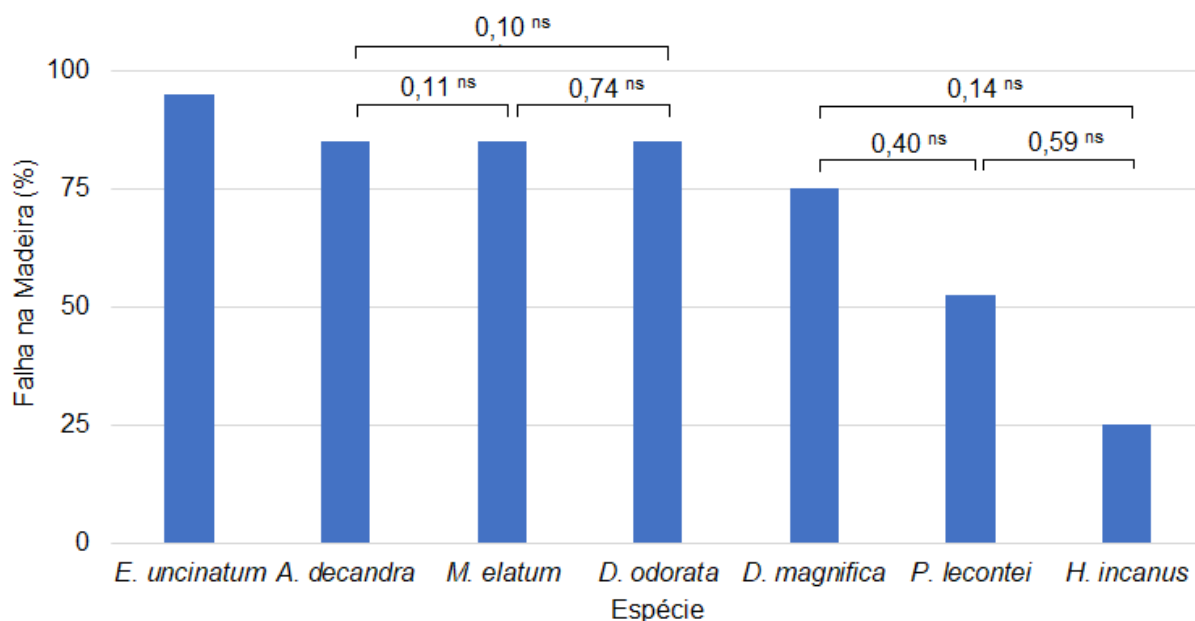
Para a mensuração da falha na madeira, pode-se atribuir a falta de normalidade dos dados por ser um teste em que a subjetividade do avaliador é de grande relevância, pois existe uma dificuldade de visualizar se a falha está na madeira ou na linha de cola. Este fenômeno é discutido por LOPES et al. (2013), na qual observaram uma alta variabilidade dos dados para a falha na madeira, atribuindo à preparação da linha de cola, à baixa ligação mecânica e química entre o adesivo e madeira e a subjetividade do avaliador na análise.

Antes de realizar o teste de Wilcoxon foi aferido os outliers através de uma plotagem *boxplot* para os adesivos PVAc e PUR (Figura 27 e 28 nos apêndices), assim os *outliers* foram retirados do banco de dados.

O teste não paramétrico de Wilcoxon realiza análises pareando os dados de uma mesma variável dependente, utilizando as medianas como medida de tendência central de referência e usa a amplitude interquartil como medida de dispersão. Desta forma, o teste comparou aos pares as espécies, realizando no total 21 interações entre elas, mostrando qual espécie diferia da outra a uma significância de 5%.

Para a porcentagem de falha na madeira com o uso do adesivo de PVAc (Figura 22), o teste de Wilcoxon demonstrou que a mediana de *E. uncinatum* apresentou o melhor desempenho com o valor de 95% de falha na madeira,

apresentando uma diferença significativa com as demais espécies. As medianas das espécies *M. elatum* (85%), *D. odorata* (85%) e *A. decandra* (85%) não apresentaram diferença significativa entre si. E por fim, as espécies de *P. lecoitei* (52,5%), *H. incanus* (25%) e *D. magnifica* (75%) não obtiveram diferença estatística a um nível de 5% de significância entre si, que por sua vez apresentaram um desempenho inferior e significativo às outras 4 espécies.

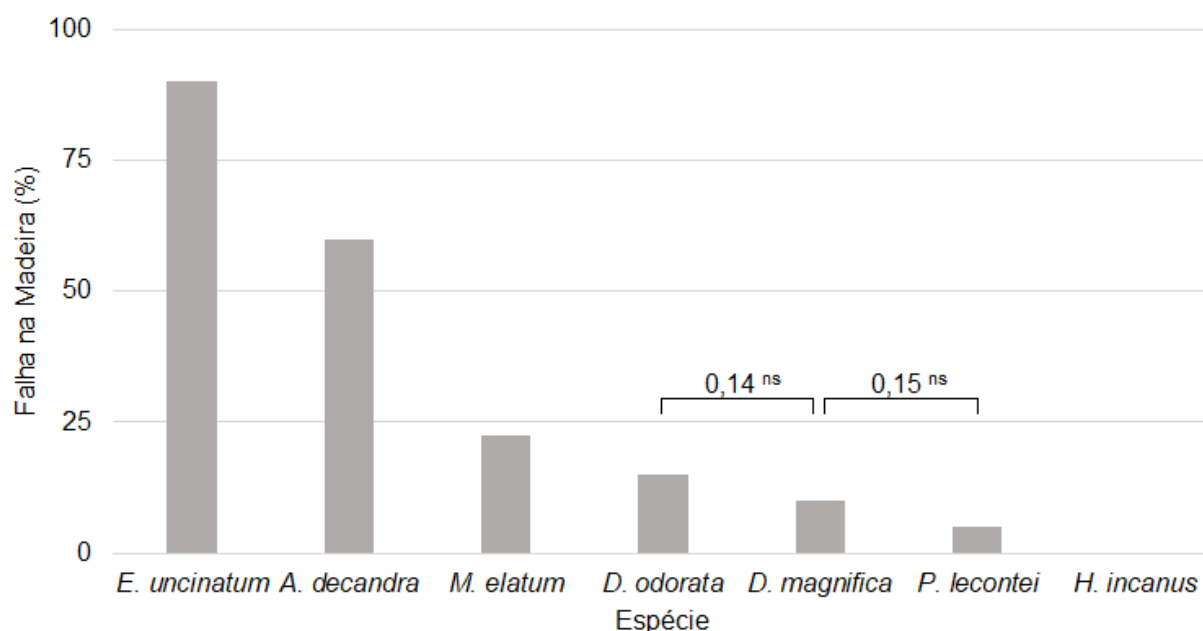


**Figura 22.** Mediana da porcentagem de falha na madeira com o uso de PVAc para as sete espécies estudadas e respectivo resultado do teste de Wilcoxon, a 5% de significância.

Nota: p-valor não significativo (ns).

Para a porcentagem de falha na madeira sob o uso do adesivo de PUR (Figura 23), o teste de Wilcoxon demonstrou que o *E. uncinatum* obteve melhor desempenho com a mediana de 90%, seguido do *A. decandra* com mediana de 60% e *M. elatum* com mediana de 22,5%. As únicas interações que não apresentaram diferença significativa foi a interação de *P. lecoitei* (10%) e *D. magnifica* (10%) e para a

interação de *D. odorata* (15%) e *D. magnifica*, desta forma essas 4 espécies apresentam o pior desempenho na falha na madeira para a variável PUR.



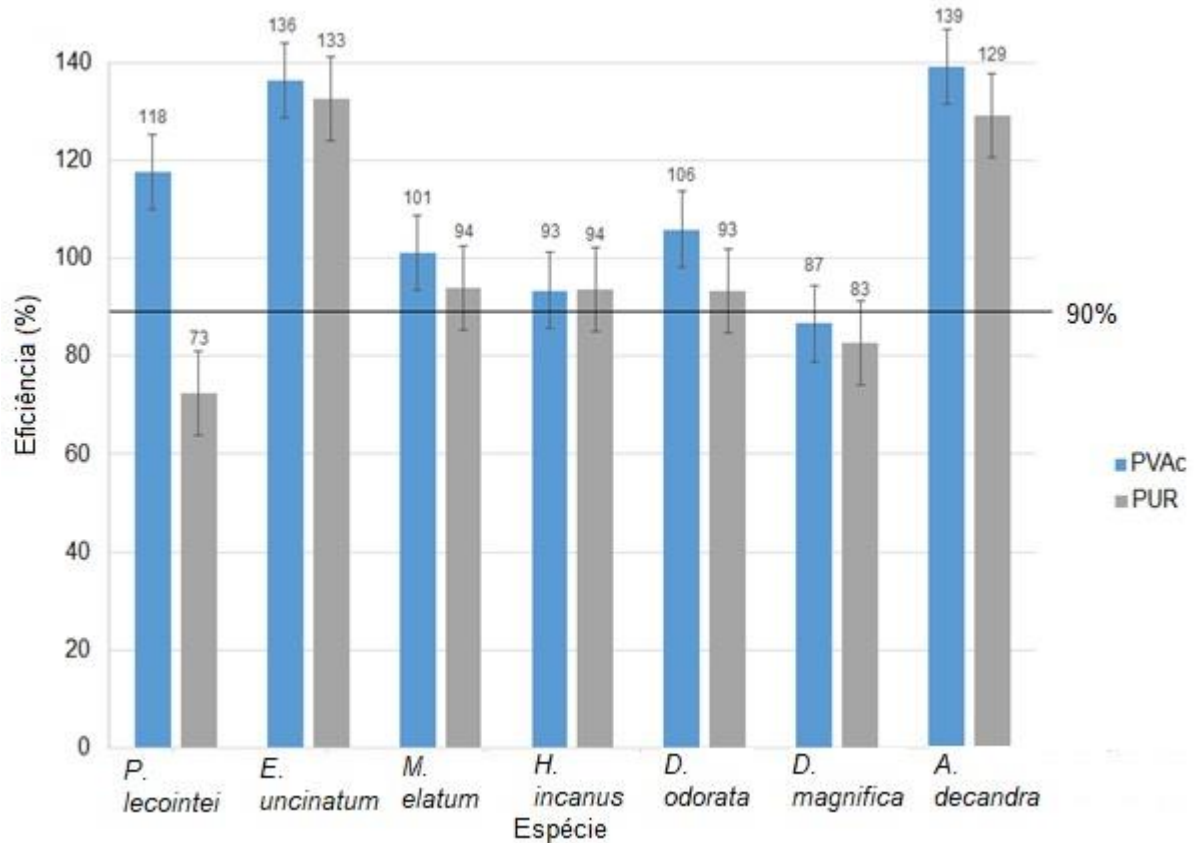
**Figura 23.** Mediana da porcentagem de falha na madeira com o uso de PUR para as sete espécies estudadas e respectivo resultado do teste de Wilcoxon, a 5% de significância.

Nota: p-valor não significativo (ns).

Em madeiras a adesão de um agente colante é um fator importante para a utilização do recurso e depende de fatores físicos, químicos e estruturais, os quais controlam a habilidade do adesivo de aderir às suas superfícies (NASCIMENTO et al., 2013).

### 6.3 - EFICIÊNCIA

O objetivo de quantificar a eficiência é averiguar o quão superior o teste do adesivo foi em relação a madeira sólida, na qual o desejável é uma relação maior que 100% (Figura 24).



**Figura 24.** Valores médios de CLC divididos pelos valores médios de CMS, para obtenção da eficiência em porcentagem, para todas as espécies contempladas no estudo.

Uma eficiência maior que 90%, indica uma maior confiança para a confecção de MLC, já que o principal teste para esse produto engenheirado é o CLC. Assim, das 14 possibilidades avaliando espécie x adesivo, as espécies *P. lecointei* (PVAc), *E. uncinatum* (PVAc e PUR), *M. elatum* (PVAc e PUR), *H. incanus* (PVAc e PUR), *D. odorata* (PVAc e PUR) e *A. decandra* (PVAc e PUR) podem seguir para a próxima etapa de confecção de MLC.

No geral pode-se afirmar que o PVAc teve uma eficiência melhor do que o PUR, parte desse resultado pode ser explicado pelo fato do PVAc possuir uma viscosidade de 4000 cPs e o PUR 8000 cPs. BIANCHE et al. (2017), afirmam que adesivos de baixa viscosidade tem um melhor espalhamento sobre a face da madeira, auxiliando para uma maior penetração do adesivo e sua absorção pela madeira.

MENDOZA et al. (2017), explicam que para colagem na madeira, são desejados valores médios de viscosidade, porquanto adesivos com viscosidade alta tem a tendência de se distribuir de forma irregular na madeira, causando uma linha de

cola espessa pela dificuldade de penetração do adesivo na madeira. Assim, para que ocorra essa ligação forte com a madeira, o adesivo deve alcançar a camada de madeira intacta abaixo da superfície, penetrando e preenchendo os lúmens, pontuação das células e as fendas da parede celular (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000; BIAZZON et al., 2019; JAKES et al., 2007).

A eficiência do PVAc em relação ao PUR já foi comprovada em outros trabalhos. SEGUNDINHO et al. (2017), testaram os adesivos ureia-formaldeído (UF), poliacetato de vinila (PVA), resorcinol-formaldeído (RF), melamina-ureia-formaldeído (MUF), poliuretano à base de óleo de mamona (PUR) e tanino-formaldeído (TF) com a madeira de *Eucalyptus cloeziana* (densidade básica de 0,626 g/cm<sup>3</sup>) com e sem preservante de Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) e constatou que a madeira sólida tratada teve uma resistência de 10,32 MPa e os adesivos PVA e PUR obtiveram um CLC de 12,85 MPa e 8,29 MPa, respectivamente. Dessa forma, o autor não calculou a eficiência no trabalho, mas utilizando os valores de cisalhamento da madeira sólida disponível no artigo, constata-se que a eficiência para o PVA foi de 124% e o PUR de 80%, confirmando assim a eficiência do PVAc em relação ao PUR.

Os autores SANTOS e DEL MENEZZI (2010), avaliaram *Allantoma lineata* e *Simarouba amara* (madeiras tropicais) fixadas com resorcinol-formaldeído nas gramaturas de 200, 300 e 400 g/cm<sup>2</sup> e obtiveram eficiência maior que 100% para a *Allantoma lineata* nas gramaturas 300 e 400 g/cm<sup>2</sup>.

O trabalho desenvolvido por NASCIMENTO et al. (2013), avaliaram a resistência na linha de cola para espécies comerciais (vinhático, angelim vermelho, cedro rosa, cedrorana, louro vermelho, pinus, tamboril, cerejeira, angico vermelho, tatajuba, garapa, jatobá, cumaru e parajú), na qual classificaram em três níveis as densidades, onde classe 1: inferior à 0,55 g/cm<sup>3</sup>, classe 2: entre 0,55 e 0,75 g/cm<sup>3</sup> e classe 3: superior à 0,75 g/cm<sup>3</sup>, fixadas com os adesivos PVAc e ureia-formaldeído (UF). Os autores encontraram valores de eficiência para o PVAc maior que 100% para todas as espécies, indicando que a linha de cola foi mais resistente, por outro lado o uso de UF não foi maior que 100% em todas as espécies.

Por fim, o uso de PVAc para a colagem é uma boa alternativa, se for para aplicações internas. FERREIRA et al. (2012), mencionam que o PVAc pode se tornar uma boa alternativa de substituição aos adesivos convencionais, pelo menos para uso em que o cisalhamento é exigido, sobretudo devido ao seu baixo custo.

## 7 - CONCLUSÃO

- Das 14 combinações entre adesivos e espécies, apenas *P. lecointei*, *E. uncinatum*, *M. elatum*, *H. incanus*, *D. odorata* e *A. decandra* obtiveram eficiência superior a 90% para o adesivo PVAc e para o adesivo PUR as espécies *E. uncinatum*, *M. elatum*, *H. incanus*, *D. odorata* e *A. decandra* alcançaram a eficiência maior que 90%.
- Indica-se o potencial dessas espécies madeireiras para a utilização na manufatura de MLC e outros PEM que demandem a aplicação de adesivos, respeitando-se a utilização do PVAc para uso interno e o PUR para uso externo.
- Observou-se que a resistência na linha de cola para todas as espécies e a porcentagem de falha na madeira foi maior quando aplicado o adesivo PVAc em relação ao adesivo PUR, embora algumas espécies não apresentassem diferença estatística entre elas para o ensaio de CLC.

## 8 - RECOMENDAÇÕES

- Devido à dificuldade em determinar a porcentagem de falha na madeira com o auxílio do gabarito, recomenda-se o desenvolvimento de técnicas para automatizar essa análise.
- Para melhorar a análise que possa explicar a resistência do CLC, recomenda-se a determinação do teor de extrativos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM D143-94**: Standard methods of testing small clear specimens of timber. p. 24-65.1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – **ASTM D2395-14**: Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials Annual Book of ASTM Standards, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – **ASTM D905-08**: Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. 9p. 2008.

ALBUQUERQUE, C. E. C. De; LATORRACA, J. V. De. Influência Das Características Anatômicas Da Madeira Na Penetração E Adesão De Adesivos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 158–166, 2000.

BANDEL, A. Adhesivos y tecnología del encolado en la industria de la madera. Milano: Rib&s, 1991.

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. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: Forest Products Laboratory, 2010. Disponível em: <papers2://publication/uuid/3258D7CF-6851-4BF4-BBCB-CD58D90BEAE1>

BETETTE, B. S. S.; CASTILHO, L. B. USO DE CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) EM PROJETOS ESTRUTURAIS. **Revista Artigos**, v. 7, p. 1–7, 2019.

BIANCHE, J. J.; TEIXEIRA, A. P. M.; LADEIRA, J. P. S.; CARNEIRO, A. de C. O.; CASTRO, R. V. O.; DELLA LUCIA, R. M. Cisalhamento na Linha de Cola de Eucalyptus sp. Colado com Diferentes Adesivos e Diferentes Gramaturas. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 0, p. 1–9, 2017.

BIAZZON, J. C.; ARAUJO, V. A. De; ALVES, P. R. G.; MORALES, E. A. M.; GONÇALVES, M. T. T.; VALARELLI, I. D. D. Resistência mecânica à adesão em superfícies de madeira de pinus aplainadas e unidas por adesivos PVAc. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 1, 2019. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762019000100349&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000100349&tlng=pt)>

BOURSCHEID, C. B. .; KNISS, D. D. C. .; TEREZO, R. F. Potencial da Madeira Laminada Colada Cruzada no Brasil. **Anais do I I Congresso Brasileiro de Ciencia e Tecnologia da Madeira - CBCTEM**, p. 1–11, 2015.



BRASIL, L. de P. F. **Curso de Identificação Anatômica de Madeiras - Cortes Transversais de Madeiras Brasileiras**. Brasília. Disponível em: <<http://lpf.florestal.gov.br/pt-br/>>.

BRASIL. Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Cedrinho. Disponível em: <[http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras/9.htm](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/9.htm)>. Acesso em 21 jan. 2021b.

BRASIL. Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Tauari. Disponível em: <[https://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras/3-tauari.htm](https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/3-tauari.htm)>. Acesso em 20 jan. 2021a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Serviço Florestal Brasileiro. *Erismia uncinatum* Warm. Disponível em: <<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/caracteristicas.php?ID=98&caracteristica=>>>. Acesso em 21 jan. 2021c.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Serviço Florestal Brasileiro. *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose. Disponível em: <<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/features.php?ID=244&caracteristica=216>>. Acesso em 21 jan. 2021d.

BRASIL. Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Pau-roxo. Disponível em: <[http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras/49-roxinho.htm](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/49-roxinho.htm)>. Acesso em 23 jan. 2021e.

CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; LAHR, F. A. R.; CALIL JUNIOR, C. Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em madeira laminada colada TT - Evaluation of strength to shear and delamination in glued laminated wood. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 989–996, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-50982014000400989&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/cflo/v24n4/0103-9954-cflo-24-04-00989.pdf](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982014000400989&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/cflo/v24n4/0103-9954-cflo-24-04-00989.pdf)>

CARVALHO, P. E. R. Cumaru-Ferro *Dipteryx odorata*. **Comunicado Técnico**

**Embrapa**, v. 225, p. 1–8, 2009.

CAMARGOS, J. A. A. Madeiras comerciais de Mato Grosso: chave de identificação. Brasília: Ibama. 82 p, 1996.

CRESPELL, P.; GAGNON, S. Cross Laminated Timber: A Primer, Special Publication, 2010.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; PASTORE, T. C. M.; CHRISTO, A. G. Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos. 2010. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/introducao>>. Acesso em: 06/03/2021.

DALLWITZ, M. J.; PAINE, T. A.; ZURCHER, E. J. User's guide to the DELTA System: a general system for processing taxonomic descriptions. 4th edition, 1993.

DIETSCH, P.; TANNERT, T. Assessing the integrity of glued-laminated timber elements. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 1259–1270, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.064>>

FALK, R. H.; COLLING, F. Laminating Effects in Glued-Laminated Timber Beams. **Journal of Structural Engineering**, v. 121, n. 12, p. 1857–1863, 1995.

FARIA, D. L.; CRUZ, T. M.; MESQUITA JÚNIOR, L.; DUARTE, P. J.; MENDES, L. M. INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE LÂMINAS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC) DE TOONA CILIATA PRODUZIDA COM ADESIVO POLIURETANO VEGETAL. **Revista Construindo**, v. 11, n. 1, p. 8, 2019.

FERREIRA, B. S.; DE CAMPOS, C. I.; DA SILVA, M. S.; VALARELLI, I. de D. Cisalhamento na Linha de Cola de Compensados de Eucalyptus sp. e Adesivo PVA. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 141–146, 2012.

FERRO, F. S.; ALMEIDA, T. H. De; ALMEIDA, D. H. De; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Physical Properties of OSB Panels Manufactured with CCA and CCB Treated *Schizolobium amazonicum* and Bonded with Castor Oil Based Polyurethane Resin. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, n. 5, p. 151–154, 2016.

FINK, G.; KOHLER, J. Model for the prediction of the tensile strength and tensile

stiffness of knot clusters within structural timber. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, n. 3, p. 331–341, 2014.

FLORENTINO, W. M.; BRANDÃO, A.; MILÉO, P. C.; GOULART, S. A. S.; MULINARI, D. R. Biocompósitos de poliuretano reforçados com fibras de coco verde. **Cadernos UniFOA**, v. 17, p. 11–16, 2011.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY BACKBONE TAXONOMY. *Allantoma decandra* (Ducke) S.A.Mori, Ya Y.Huang & Prance. in GBIF Secretariat, 2019a. Disponível em: <<https://www.gbif.org/pt/species/4161401>> Acesso em: 20 jan. 2021. <https://doi.org/10.15468/39omei>

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY BACKBONE TAXONOMY. *Dipteryx odorata* Willd. in GBIF Secretariat, 2019b. Disponível em: <<https://www.gbif.org/pt/species/2947137>> Acesso em: 20 jan. 2021. <https://doi.org/10.15468/39omei>

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY BACKBONE TAXONOMY. *Erisma uncinatum* Warm. in GBIF Secretariat, 2019c. Disponível em: <<https://www.gbif.org/pt/species/5650915>> Acesso em: 20 jan. 2021. <https://doi.org/10.15468/39omei>

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY BACKBONE TAXONOMY. *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.O.Grose. in GBIF Secretariat, 2019d. Disponível em: <<https://www.gbif.org/pt/species/4092212>> Acesso em: 21 jan. 2021. <https://doi.org/10.15468/39omei>

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY BACKBONE TAXONOMY. *Peltogyne lecoitei* Ducke. in GBIF Secretariat, 2019e. Disponível em: <<https://www.gbif.org/pt/species/2952727>> Acesso em: 21 jan. 2021. <https://doi.org/10.15468/39omei>

IBAMA. **Produção Madeireira de Espécies Nativas Brasileiras: 2012 a 2017**. Brasília: IBAMA, 2019.

IWAKIRI, S., Painéis de madeira. Curitiba, FUPEF, 1998.

IWAKIRI, S., Painéis de madeira reconstituída, FUPEF, Curitiba, PR, 2005.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CUNHA, A. B. Da; PRATA, J. G.; HARA, M.; BILA, N. F.; LUIS, R. C. G.; ARAÚJO, R. D. De; BÔAS, B. T. V. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 41, n. 99, p. 411–416, 2013.

JAKES, J. E.; STONE, D. S.; FRIHART, C. R. Nanoindentation size effects in wood. **Proceedings 30th annual meeting of the adhesion society**, n. C, p. 15–17, 2007.

JELEČ, M.; VAREVAC, D.; RAJČIĆ, V. Cross-laminated timber (CLT) – a state of the art report. **Gradjevinar**, v. 70, n. 2, p. 75–95, 2018.

KAWECKI, B.; PODGÓRSKI, J. Numerical model of glulam beam delamination in dependence on cohesive strength. **AIP Conference Proceedings**, v. 1922, 2018.

KHELIFA, M.; LAHOUAR, M. A.; CELZARD, A. Flexural strengthening of finger-jointed Spruce timber beams with CFRP. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 29, n. 19, p. 2104–2116, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01694243.2015.1057395>>

KOMARIAH, R. N.; HADI, Y. S.; MASSIJAYA, M. Y.; SURYANA, J. Physical-Mechanical Properties of Glued Laminated Timber Made from Tropical Small-Diameter Logs Grown in Indonesia. **Journal of the Korean Wood Science and Technology**, v. 43, n. 2, p. 156–167, 2015. Disponível em: <<http://koreascience.or.kr/journal/view.jsp?kj=HMJGBP&py=2015&vnc=v43n2&sp=156>>

KUILEN, J. W. G. V. De; CECCOTTI, A.; XIA, Z.; HE, M. Very tall wooden buildings with Cross Laminated Timber. **Procedia Engineering**, v. 14, p. 1621–1628, 2011.

LAM, Frank. Engineered Wood Products for Structural. Timber engineering, p. 81, 2003.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E QUÍMICA DA MADEIRA DE CLONES DE Eucalyptus E SUA INFLUÊNCIA NA COLAGEM. **CERNE**, v. 13, n. 2, p. 123–129, 2007.

LOHMANN, L. G. Bignoniaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB117446>> Acesso em: 01 fev. 2021

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; MENDOZA, Z. M. dos S. H. De. Caracterização físico-mecânica da madeira de tamarindo, *Martiodendron elatum* ( Ducke ) Gleason. 2013.

LOPES, M. de C.; DE MUNIZ, G. I. B.; DE MATOS, J. L. M.; TANOBE, V. O. de A.; CHINASSO, C. A. F.; ROSSO, S. Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 613–619, 2013.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. v. 2. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 1998. 352 p.

MENDOZA, Z. M. dos S. H. De; BORGES, P. H. D. M.; RIBEIRO, A. dos S.; FERNANDES, F. B. Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**, v. 22, n. 51, p. 49–68, 2017.

MELO, J. E.; CORADIN, V. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais... Campos do Jordão, v. 3. p. 695-705, 1990

MELO, J. E.; CAMARGOS, J. A. A. A madeiras e seus usos. 228 p. Brasília. 2016.

MOODY, R. C.; HERNANDEZ, R. Glued-Laminated Timber. In: **Engineered wood products-A guide for specifiers, designers and users**. Madison, WI. p. 39.

NASCIMENTO, A. M. Do; GARCIA, R. A.; LUCIA, R. M. Della. Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 593–601, 2013.

NOGUEIRA, D. A versatilidade da madeira laminada colada. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 8, n. 1, p. 1–14, 2017. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/construindo/index>>

PATEL, M. R.; PATEL, J. V.; SINHA, V. K. Polymeric precursors from PET waste and their application in polyurethane coatings. **Polymer Degradation and Stability**, v. 90, n. 1, p. 111–115, 2005.

RIBEIRO, E. S.; VARGAS, L. E. P.; PAULA, M. H. De; CAMPOS, A. N.

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA ESPÉCIE *Peltogyne confertiflora* ( Mart . Ex Hayne ) Benth. **Biodiversidade**, v. 18, n. 1, p. 28–42, 2019.

SANTIAGO, S. B.; GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; SEGUNDINHO, P. G. de A.; PAES, J. B.; ARANTES, M. D. C. Eucalypts wood glue with natural adhesives. **Revista Materia**, v. 23, n. 3, 2018.

SANTOS, C. M. T. Dos; DEL MENEZZI, C. H. S. EFEITO DA GRAMATURA SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA DE DUAS MADEIRAS TROPICAIS: SERU (*Allantoma lineata*) E MARUPÁ (*Simarouba amara*). **Floresta**, v. 40, n. 2, p. 345–354, 2010.

SEGUNDINHO, P. G. de A.; GONÇALVES, F. G.; GAVA, G. C.; TINTI, V. P.; ALVES, S. D.; REGAZZI, A. J. Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC). **Revista Materia**, v. 22, n. 2, 2017.

SEGUNDINHO, P. G. de A.; ZANGIÁCOMO, A. L.; CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. Avaliação de vigas de madeira laminada colada de cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm.). **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 441–449, 2013.

SILVA, M. F. Da. Revisão taxonômica do gênero *Peltogyne* Vog. (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Acta Amazonica**, v. 6, n. 1, p. 5–61, 1976.

SILVA, M. F.; CARREIRA, L. M. de M.; SOUZA, L. A. G. Leguminosas da Amazônia Brasileira - X *Martiodendron Gleason* (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Ciência Florestal**, v. 1, n. 2, p. 7–29, 2005.

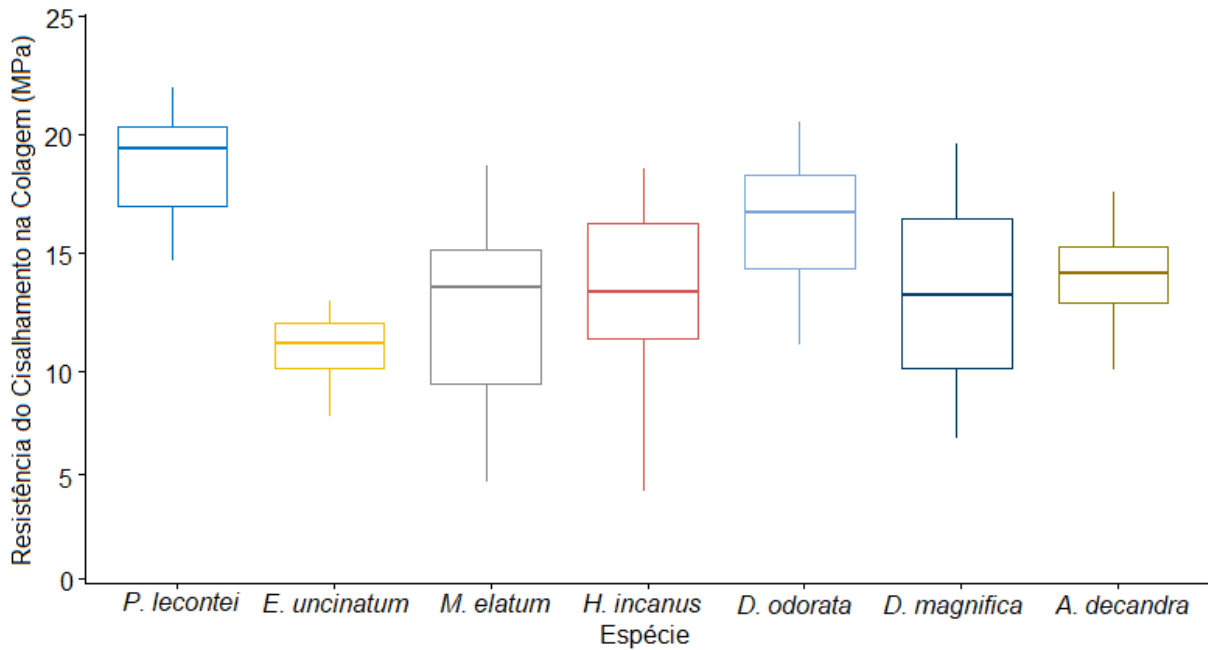
SMITH, N. P.; MORI, S. A.; PRANCE, G. T. Lecythidaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB36625>> Acesso em: 02 fev. 2021.

SMULSKI, S. **Engineered wood products: A guide for specifiers, designers and users**. Madison, WI: PFS Research Foundation, 1997.

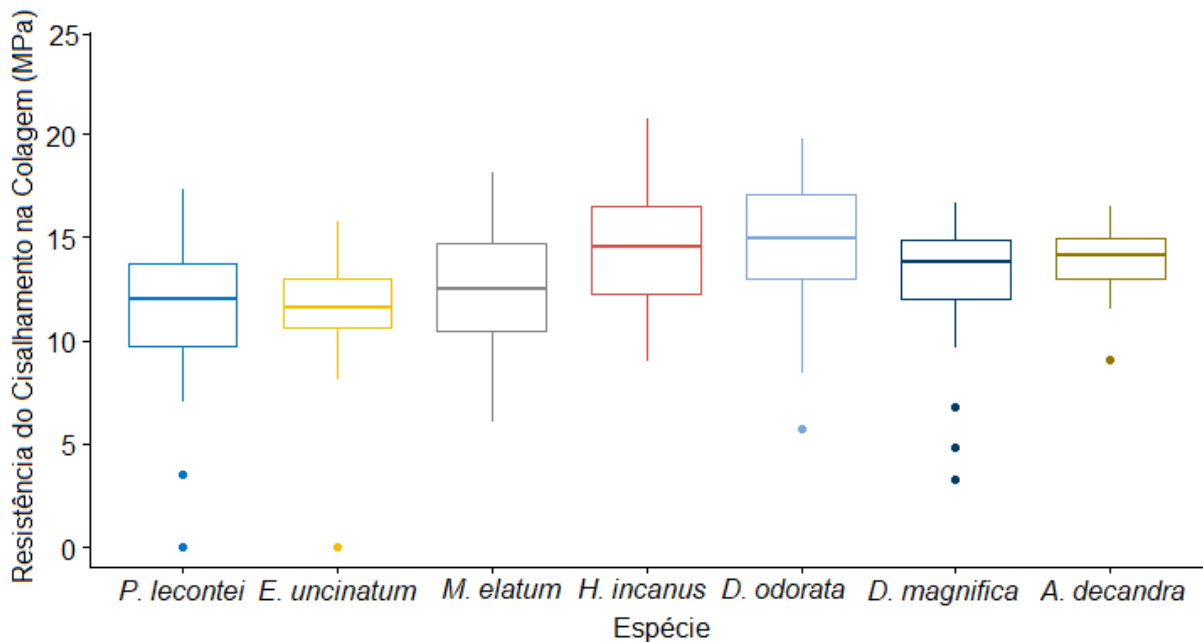
ZANGIACOMO, A.; BALANCO, G.; CHRISTOFORO, A.; LAHR, F. Glued laminated Timber Produced with Tropical Brazilian Wood Species. **Current Journal of Applied**

**Science and Technology**, v. 23, n. 1, p. 1–12, 2018.

## APÊNDICES

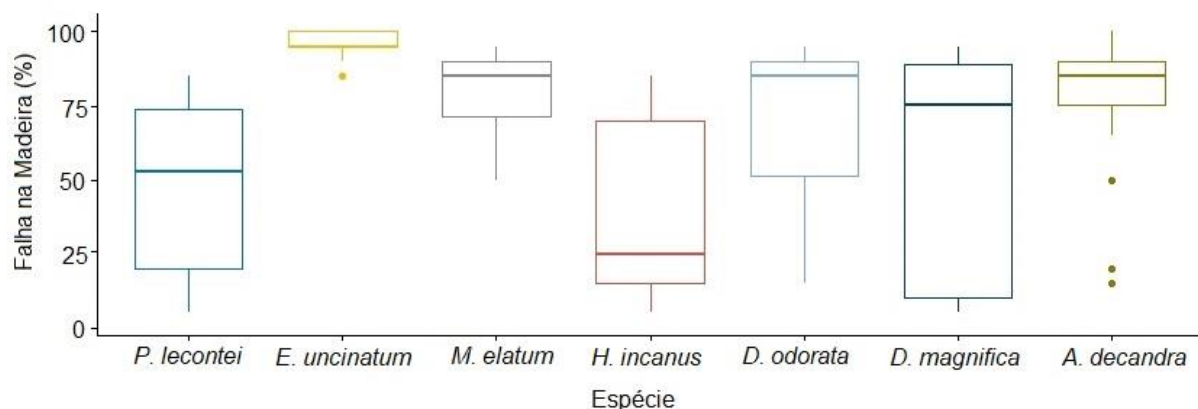


**Figura 25.** *Boxplot* para averiguar os outliers da variável CLC com o uso de PVAc para as sete espécies estudadas.

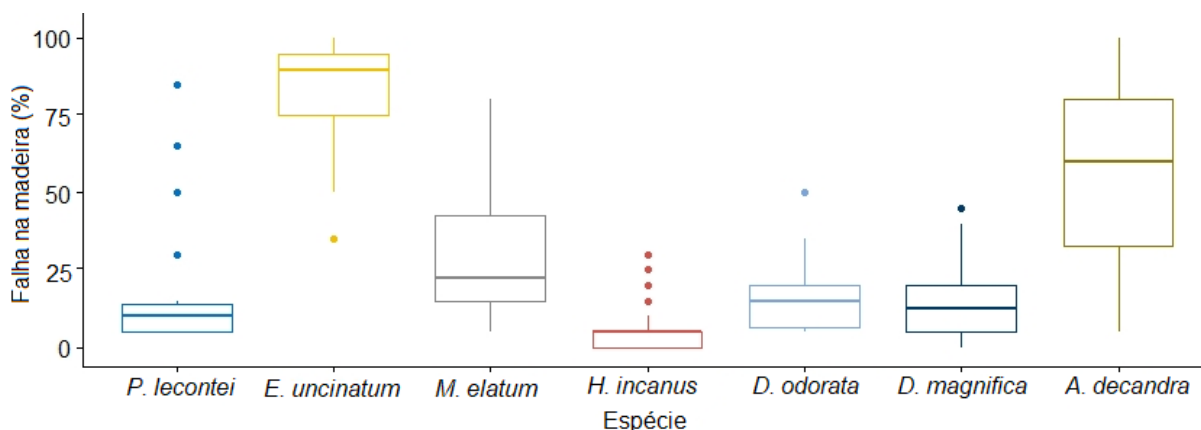


**Figura 26.** *Boxplot* para averiguar os outliers da variável CLC com o uso de PUR para as sete espécies estudadas.





**Figura 27.** Boxplot para averiguar os outliers da variável falha na madeira com o uso de PVAc para as sete espécies estudadas.



**Figura 28.** Boxplot para averiguar os outliers da variável falha na madeira com o uso de PUR para as sete espécies estudadas.

**Tabela 10.** Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie *Peltogyne lecointe*, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	1	793,95	793,95	152,70	1,24E-17
Resíduo	56	291,17	5,20		
Total	57	1085,12			

**Tabela 11.** Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie *Dipteryx odorata*, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	1	59,60	59,60	8,29	0,0056

Resíduo	56	402,79	7,19
Total	57	462,39	

**Tabela 12.** Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie *Allantoma decandra*, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	1	11,40	11,40	5,73	0,0201
Resíduo	54	107,31	1,99		
Total	55	118,70			

**Tabela 13.** Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie *Handroanthus incanus*, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	1	0,03	0,03	0,00	0,9557
Resíduo	57	599,21	10,51		
Total	58	599,24			

**Tabela 14.** Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie *Dipteryx magnifica*, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	1	5,93	5,93	0,65	0,4232
Resíduo	59	537,77	9,11		
Total	60	543,70			

**Tabela 15.** Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie *Martiodendron elatum*, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	1	13,89	13,89	1,37	0,2470
Resíduo	58	588,92	10,15		
Total	59	602,81			

**Tabela 16.** Esquema da análise de variância (ANOVA) para o cisalhamento na linha de para a espécie *Erisma uncinatum*, nas quais os tratamentos são representados pelos adesivos PVAc e PUR e analisados a 5% de significância.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probabilidade (>F)
Tratamentos	1	1,52	1,52	0,62	0,4326
Resíduo	57	139,04	2,44		
Total	58	140,56			