



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

**INFLUÊNCIA DO ADESIVO NA COLAGEM DE EMENDA FINGER  
JOINT NOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE E RUPTURA DA  
MADEIRA *Pinus caribaea***

Aluna: Rafaella Cristina Bandeira Cardelino

Orientador: Joaquim Carlos Gonzalez, Ph.D., EFL/UNB

Co orientadora: Roberta Santos Souza

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Brasília - DF



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

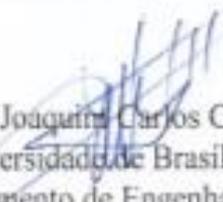
## INFLUÊNCIA DO ADESIVO NA COLAGEM DE EMENDA FINGER JOINT NOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE E RUPTURA DA MADEIRA *Pinus caribaea*

Estudante: Rafaella Cristina Bandeira Cardelino

Matrícula: 10/0120725

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonçalves

Menção: SS

  
Dr. Joaquim Carlos Gonçalves  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador

  
Doutoranda Marcella Hermida de Paula  
Universidade de Brasília - UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Membro da Banca

  
Doutoranda Clarissa Melo Lima  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Membro da Banca

Doutoranda Roberta Santos Souza  
Universidade de Brasília - UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Coorientadora

Julho/2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Vesper e Felipe pelo apoio emocional durante toda a minha jornada na graduação, sempre me amparando em momentos difíceis, e me motivando durante todo esse percurso.

Ao meu irmão Felipe Artur, pela companhia durante grande parte da graduação compartilhando o mesmo gosto pela futura profissão e ao meu namorado por toda energia positiva que foi depositada em mim para que mais uma etapa fosse conquistada ao seu lado.

Gostaria de agradecer os ensinamentos proporcionados pelos amigos de ensino médio, escotismo, graduação e intercâmbio no decorrer dessa trajetória.

Ao atencioso professor orientador Joaquim Carlos Gonzalez, pelos ensinamentos e dedicação na orientação desse estudo.

Por fim, a todos os familiares e amigos que compartilham comigo a alegria desta conquista.

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência dos adesivos cola branca e poliuretano nas emendas de *finger joint* através das técnicas de vibração transversal dos ensaios não destrutivos, stress wave e ultrassom, e destrutivo o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura em flexão estática, para a madeira de *Pinus caribaea*. O estudo foi desenvolvido com 10 pranchas de madeira de *Pinus caribaea* com 22 anos de idade e dois tipos de adesivos (poliuretano – PUR e cola branca – PVA). Cada tábua tinha dimensões de 250cm (comprimento) x 20cm (largura) x 3cm (espessura). Foram confeccionados 60 corpos de prova, sendo 20 para a testemunha e 20 para cada adesivo aplicado nas emendas *finger joint*. Analisaram-se o módulo de elasticidade e módulo de ruptura em ensaios de flexão estática e módulo de elasticidade dinâmico determinado pelos métodos de stress wave e ultrassom. Como não houveram diferenças significativas entre os adesivos para módulo de elasticidade e módulo de ruptura, deve ser levado em consideração o custo de cada adesivo para colagem das emendas. A cola branca possui menor custo que o adesivo de poliuretano.

Palavras – chave: *Finger joint*, cola branca, cola de poliuretano, módulo de elasticidade, módulo de ruptura.

## **ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the influence of the PVA and Polyurethane adhesives on the finger joint splice using non-destructive tests, stress wave and ultrasonic transverse vibration techniques and the elastic modulus and the modulus of rupture in static flexion to the wood of *Pinus caribaea*. The study was developed with 10 boards of wood of *Pinus caribaea* with 22 years of age and 2 types of adhesives (polyurethane - PUR and white glue - PVA). Each board had dimensions of 250cm (length) x 20cm (width) x 3cm (thickness). Thus 60 specimens were prepared, 20 for the control and 20 for each adhesive applied in the finger joint splice. The modulus of elasticity and modulus of rupture were analyzed in tests of static flexure and modulus of dynamic elasticity determined by the methods of stress wave and ultrasound. As there were no significant differences between the adhesives for modulus of elasticity and modulus of rupture, the cost of each adhesive for bonding of the seams must be taken into account. The white glue has a lower cost when compared to the polyurethane adhesive.

**Keywords:** Finger joint, white glue, polyurethane glue, modulus of elasticity, modulus of rupture.

## Sumário

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                   | 8                                    |
| 2. OBJETIVO .....                                    | 10                                   |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA .....                       | 10                                   |
| 3.1 Propriedades da madeira.....                     | 10                                   |
| 3.1.1 Propriedades mecânicas.....                    | 10                                   |
| 3.1.1.1 Módulos de Elasticidade e Ruptura .....      | 9                                    |
| 3.1.2 Propriedades Físicas .....                     | 11                                   |
| 3.1.2.1 Densidade da madeira.....                    | 110                                  |
| 3.2 Métodos Não Destrutivos .....                    | 12                                   |
| 3.2.1 Ultrassom.....                                 | 13                                   |
| 3.2.2 Stress Wave Timer.....                         | 13                                   |
| 3.3 Emendas na madeira.....                          | 14                                   |
| 3.3.1 Emenda finger joint .....                      | 15                                   |
| 3.4 Adesivos .....                                   | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| 3.4.2 Cola de Poliuretano .....                      | 16                                   |
| 3.5 A espécie de madeira <i>Pinus caribaea</i> ..... | 17                                   |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS.....                          | 17                                   |
| 4.1 Ensaios de Ondas Ultrassônicas – Ultrassom ..... | 19                                   |
| 4.2 Ensaios de ondas de Tensão – Stress Wave .....   | 20                                   |
| 4.3 Ensaios de Flexão Estática .....                 | 22                                   |
| 4.4 Análise estatística .....                        | 23                                   |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                      | 232                                  |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                  | 298                                  |

## Lista de Figuras

|   |                                      |    |
|---|--------------------------------------|----|
| Figura 1 – Emenda finger joint em posição vertical com corte em bisel de 10 mm de profundidade..... | <b>Erro! Indicador não definido.</b> | 18 |
| Figura 2 - Aparelho ultrassom.....  |                                      | 20 |
| Figura 3 – Aparelho stress wave timer. ....   |                                      | 21 |
| Figura 4 - Máquina EMIC realizando os testes de flexão estática. ....                               |                                      | 22 |

## Lista de Tabelas

|  |  |     |
|--|--|-----|
| Tabela 1- Dados técnicos do adesivo de Poliuretano 351 (PUR).....  |  | 187 |
| Tabela 2 - Dados técnicos da Cola Branca (PVA) .....   |  | 187 |
| Tabela 3 - Análise de variância para os resultados de densidade, velocidade de propagação e módulos de elasticidades obtidos pelos ensaios de stress wave e ultrassom da madeira de Pinus caribaea. .... |  | 23  |
| Tabela 4 - Valores médios da densidade da madeira, modulo de elasticidade e velocidade de propagação da onda entre os tratamentos estudados. ....  |  | 243 |
| Tabela 5 - Análise de variância para os módulos de elasticidade e de ruptura da madeira de Pinus caribaea para os tratamentos estudados. ....  |  | 265 |
| Tabela 6 – Comparações entre os valores médios dos módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) entre os tratamentos estudados.....  |  | 27  |

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem ocupando uma posição de destaque na economia mundial devido à expansão de suas áreas de florestas plantadas. Dentre os gêneros mais plantados no país, o *Eucalyptus* e o *Pinus* se destacam devido a suas amplas diversidades e adaptações as condições climáticas brasileiras (ABRAF, 2012).

Os plantios de eucalipto ocupam 5,6 milhões de hectares de área de árvores plantadas do país, enquanto o gênero *pinus* tem uma área de 1,6 milhão de hectares. O Brasil manteve sua liderança no ranking global de produtividade florestal. A produtividade média dos plantios de eucalipto no país, reportada pelas empresas de base florestal, foi de 36 m<sup>3</sup>/ha/ano, enquanto a dos plantios de pinus foi de 31m<sup>3</sup>/ha/ano (IBÁ, 2016).

Entre as espécies de pinus mais plantadas no Brasil, o *Pinus caribaea* é classificado como um pinheiro tropical amplamente cultivado e a sua madeira apresenta grande importância no setor florestal brasileiro representando mais de 35% do volume de toda a madeira serrada produzida (BALLARIN e PALMA, 2003).

Em paralelo com o crescimento de florestas plantadas aumenta a preocupação com o impacto ambiental, sustentabilidade e a necessidade de utilizar elementos estruturais de qualidade, contribuindo para a ocorrência de grandes evoluções nos produtos derivados da madeira, principalmente pela possibilidade do emprego de madeiras provenientes de florestas plantadas, tornando esses produtos ecologicamente corretos, propiciando assim novos campos de aplicação e garantindo um sólido mercado consumidor. Além da redução dos agravos ambientais, os Produtos Engenheirados de Madeira (PEM) proporcionam um menor uso da madeira maciça e praticamente a utilização de 100% de matéria prima para sua manufatura (CALIL NETO, 2011).

As características físicas, mecânicas, químicas e biológicas, quando combinadas são capazes de expressar a qualidade da madeira e conseqüentemente sua melhor utilização para um uso específico. As principais alterações que se podem ter na qualidade da madeira estão geralmente associadas ao número e dimensões de nós, a proporção de casca em relação ao lenho e as variações nas propriedades físicas e mecânicas, que por sua vez, são decorrentes de diferenças de densidade (VITAL, 1984).

O consumo de madeira no Brasil e no restante do mundo vem aumentando constantemente, independente da forma como ocorre sua extração. Muitas empresas fazem o aproveitamento de resíduos dos processos de desdobro, desengrosso, fresamento, na tentativa de contornar, muitas vezes, a forma inadequada empregada na industrialização desta matéria prima. Além disso, também é uma maneira de diminuir os custos e minimizar o volume de resíduos para a indústria.

Uma solução que agrega valor à produção, pois reutiliza os resíduos de forma a atribuir-lhes novos fins são as emendas *fingers joints*. São feitos com o reaproveitamento de pequenos pedaços de madeira alocados entre nós ou outros defeitos. Esses pedaços são juntados novamente, por meio de “dedos” formados nas extremidades da madeira, que, após a colagem, pode ficar mais resistente do que a matéria-prima original. Esse processo é conhecido como finger-jointing. O resultado final é tão resistente que, se houver uma ruptura no produto, com certeza será na madeira e não na junta realizada (MAURO e PERES, 2010).

As emendas dentadas (*finger joint*) foram criadas como uma alternativa promissora para substituir alguns tipos de emendas, como as biseladas e as na forma de cunha. Esse tipo de emenda é muito utilizado na tecnologia de alguns produtos como o MLC (madeira laminada colada), sendo considerada uma emenda de resistência superior a emenda de topo e a biselada (MACÊDO, 1996)

Assim como outros produtos derivados da madeira, esse tipo de emenda também necessita de adesivos para ser colada. Segundo Biazon (2016), mais ou menos 70% dos produtos derivados da madeira consomem um tipo de adesivo, pois há uma crescente substituição da madeira por seus derivados, conseqüentemente aumentando o consumo de adesivos.

Podem ser citados alguns adesivos sintéticos utilizados pela indústria brasileira da madeira e móveis que se destacam como o adesivo base poli(vinil) acetato ou PVAc, conhecido popularmente como “cola branca”, e mais recentemente os adesivos de poliuretano (PUR). No entanto, o conhecimento das propriedades da madeira é fundamental para a escolha correta dos adesivos que serão utilizados na colagem dessa matéria-prima.

## **2. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do adesivo na colagem de emenda *finger joint* nos módulos de elasticidade e ruptura da madeira de *Pinus caribaea*.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Foram utilizadas as tecnologias de ultrassom, stress wave e flexão estática para avaliar o melhor adesivo na colagem de emendas *finger joint*, por meio da análise do comportamento da elasticidade da madeira.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Propriedades da madeira**

#### **3.1.1 Propriedades mecânicas**

As propriedades mecânicas da madeira referem-se à resistência a tração, a compressão e ao cisalhamento. Em ensaios de flexão estática dois parâmetros são determinados: módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE). Ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, e conseqüentemente suas possíveis aplicações práticas (MOREIRA, 1999).

##### **3.1.1.1 Módulos de Elasticidade e Ruptura**

O Módulo de ruptura representa quanto uma madeira é capaz de resistir à aplicação de uma força externa, e o MOE indica a elasticidade da madeira, onde um maior MOE indica maior resistência da madeira e menor deformação (SILVA et al., 2005).

O MOR é a capacidade máxima de carga de um corpo de prova de madeira em flexão, sendo proporcional ao momento máximo suportado pela amostra. O módulo de ruptura é um critério de força aceitável, apesar de não representar o verdadeiro esforço, porque a forma de cálculo é válida apenas para o limite de elasticidade (FLP, 2010).

O módulo de elasticidade expressa a carga necessária para distender um corpo de 1 cm 2 de seção transversal, a uma distância igual ao seu próprio comprimento (MORESCHI, 2005).

A elasticidade é a propriedade mecânica da madeira que possibilita retomar a sua forma original, sendo que a umidade é um importante fator no critério da elasticidade, com alto teor de umidade e pequenas deformações elásticas, em dado período de tempo, tornaram as deformações plásticas (FPL, 2010).

A elasticidade significa que as deformações produzidas por baixas tensões são completamente recuperáveis depois que as cargas são removidas (KOLLMANN; COTÊ, 1968).

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente avaliados em testes de flexão estática, sendo o módulo de elasticidade de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, porque, esse parâmetro, representa a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da madeira (SCANAVACA JÚNIOR e GARCIA, 2004).

Os ensaios de flexão estática permitem calcular o MOE, que a partir do momento que a carga aplicada está acima do limite proporcional de elasticidade, acontecem deformações plásticas irreversíveis e, quase sempre seguidas da ruptura parcial ou total da madeira, permitindo calcular o MOR (FPL, 2010).

### 3.1.2 Propriedades Físicas

#### 3.1.2.1 Densidade da madeira

A densidade da madeira, ou massa específica, é o resultado da combinação de constituintes anatômicos. Fornece informações acerca de várias características da madeira por ter relação direta com outras propriedades, sendo uma variável importante e muito utilizada para qualificar a madeira. Nas determinações da qualidade da madeira, a massa específica é o índice mais utilizado, pois se correlaciona diretamente com o rendimento em massa e também com as propriedades físico-mecânicas da madeira (BRASIL e FERREIRA, 1971).

Dentre as diversas formas de expressar a densidade aparente da madeira, umas das mais habituais é a densidade básica. Ela pode ser definida como a relação entre massa e volume e depende de fatores como: a espécie analisada, a posição de retirada da peça e a umidade. Ela varia entre espécies, dentro da mesma espécie e dentro de uma mesma árvore, aumentando, geralmente, no sentido medula-casca e base-copa. (MENDES et al., 2002; OLIVEIRA, HELLMEISTER e FILHO, 2005). Esse tipo de densidade é representada pela relação entre a massa absolutamente seca da madeira, e o seu volume verde ou completamente saturado (FOELKEL et al.,1971; VITAL, 1974).

Segundo Logsdon (1992), a densidade da madeira pode ser determinada a qualquer porcentagem de umidade, entretanto os resultados obtidos podem ser tão variáveis que a padronização é necessária para fins de comparação. Na nova versão da norma brasileira, NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira, da ABNT (1997), adota-se a umidade de referência de 12%.

### **3.2 Métodos Não Destrutivos**

A avaliação não destrutiva é a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de um corpo de prova sem alterar sua capacidade de uso final e usar essa informação para tomar decisões quanto à aplicações apropriadas. Tais avaliações possuem como tecnologias os testes não destrutivos para evidenciar informações precisas pertencentes a propriedades, performance ou condições do material em questão (ROSS e PELLERIN, 2002).

Muitos testes ou técnicas podem ser categorizadas como não destrutivas, como avaliação de características visuais, testes químicos, mecânicos e físicos – resistência elétrica, emissões acústicas, propriedades dielétricas, propriedades vibracionais, propagação de ondas e raio-X (ROSS e PELLERIN, 2002).

Ao longo dos anos, pesquisas foram desenvolvidas empregando-se a técnica de vibração transversal, o que comprovou a possibilidade do uso de características vibracionais para a estimativa do módulo de elasticidade. A técnica de vibração transversal é considerada

atualmente um teste que apresenta valores com alta confiabilidade para o módulo de elasticidade da madeira (MURPHY, 2000).

A madeira, além da variabilidade própria de suas propriedades mecânicas, pode, ao longo dos anos, sofrer ação de diversos agentes degradadores, que causam danos severos ao material e a seus produtos (FURTADO, 2000).

Os ensaios não-destrutivos verificam a existência, ou não, de descontinuidades ou defeitos sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, e sem interferir no uso posterior da madeira. A avaliação da deterioração principalmente que não apresenta indicadores externos, é uma importante ferramenta para a inspeção de peças de madeira, sendo as técnicas não-destrutivas boas indicadoras da qualidade da madeira (CANDIAN e SALES, 2009).

### 3.2.1 Ultrassom

A técnica de ultrassom é uma boa ferramenta com potencial para melhorar a qualidade e a competitividade da madeira no mercado consumidor. Esse método consiste na análise da razão entre o tempo que a onda de som leva para atravessar o comprimento do corpo de prova e esse comprimento (BARTHOLOMEU, 2010).

Segundo Oliveira e Sales (2002) os benefícios da utilização do método de ultrassom em comparação aos métodos destrutivos, está na rapidez, na flexibilidade e no baixo custo de aplicação do método. O método de ultrassom permite que a amostra seja testada inúmeras vezes sem ser deformada.

### 3.2.2 Stress Wave Timer

A técnica não destrutiva stress wave timer utiliza baixo movimento molecular de tensão para medir duas propriedades fundamentais da madeira: a energia armazenada e a dissipação. A medição e aplicação das ondas tensão, consistem no posicionamento de dois transdutores acelerômetros sobre os corpos de prova. A energia armazenada vai se manifestar

através da velocidade que a onda percorre o material. Porém, a taxa sob a qual a onda é atenuada é uma indicação de dissipação de energia (ROSS e PELLERIN, 2002).

Ocorre aplicação de uma onda de tensão (impacto) no material e análise do fenômeno de propagação desse estímulo. Os principais parâmetros analisados nesses casos são, a velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material (TARGA et al., 2005).

A propagação de ondas de tensão apresenta como principal vantagem a possibilidade do estudo do interior da madeira, preservando as características físicas e mecânicas e seu uso final. O equipamento de ondas de tensão é capaz de detectar de forma não-destrutiva a presença de furos, deterioração e rachaduras (CANDIAN e SALES, 2009).

### **3.3 Emendas na madeira**

A grande vantagem da técnica de madeira laminada colada (MLC), é o emprego de forma racional de madeira de reflorestamento ou mesmo espécies nativas que não são ou são pouco utilizadas estruturalmente, com o intuito de tornar essas estruturas mais competitivas, divulgadas e aceitas pelos projetistas (MACÊDO, 1996).

Para a produção dos elementos estruturais de MLC é necessário o uso de lâminas de comprimento suficientemente grande, as quais são obtidas através da emenda longitudinal de tábuas. Os tipos mais comuns de emendas são as de topo (butt joints), as emendas biseladas (scarf joints), e as emendas dentadas (MACÊDO, 1996)

As emendas de topo são o tipo mais simples e não desperdiçam muita madeira, entretanto apresentam baixíssima resistência mecânica. Freas e Selbo (1954) afirmam que quando as emendas de topo estão localizadas na parte externa do lado comprimido das vigas de MLC não afetam a eficiência das mesmas, porém quando localizadas no lado tracionado, principalmente nas lâminas externas, a redução do elemento estrutural ultrapassa 40%.

Outro tipo de emenda que surgiu como alternativa para suprir as limitações de resistência das emendas de topo, sendo consideradas as mais resistentes emendas longitudinais, são as emendas em corte bisel. As emendas em bisel necessitam de uma

inclinação baixa para que se aumente a resistência relativa da emenda. Diferentes inclinações afetam o desempenho da junta afetando assim sua resistência (NASCIMENTO et al., 2001). Este processo gera um consumo excessivo de madeira e adesivo, além das dificuldades inerentes ao corte do bisel e montagem das lâminas, como alinhamento e prensagem, prejudicando a velocidade da produção (FREAS e SELBO, 1954; LUXFORD e KRONE, 1961).

### 3.3.1 Emenda *finger joint*

A emenda *finger joint* foi criada como uma alternativa promissora por apresentarem boa adaptação ao processo industrial, além da boa resistência mecânica. Essas emendas apresentam resultados de resistência mais uniformes que as emendas biseladas (MACÊDO, 1996).

Existem dois tipos de emendas dentadas utilizadas ao redor do hemisfério norte, a emenda de perfil vertical e a horizontal. Cheung et al. (2002) testou a tração paralela de 28 amostras de *Pinus taeda* coladas com resorcinol – formaldeído e encontrou que as emendas verticais e horizontais em média são iguais considerando um nível de significância de 5%. Essas emendas apresentaram uma eficiência aproximada de 80% quando comparadas à resistência da madeira sem emendas.

Eby (1968), fez um estudo sobre a grande aceitação da emenda *finger joint* nos Estados Unidos, onde 90% do país naquela época já utilizava esse tipo de emenda. O sucesso se deve ao fato que esse tipo de emenda, mesmo necessitando de equipamentos específicos a sua produção, facilita a retirada dos defeitos da madeira, a aplicação de adesivo e pressão de colagem.

## 3.4 Adesivos

O tipo de adesivo que será utilizado na colagem da emenda de madeira, tem influência importante na característica da emenda. Além do tipo de adesivo, o processo de colagem influencia na qualidade final do produto no que diz respeito a resistência à umidade e as propriedades mecânicas da madeira e isso depende de como acontece o processo de adesão (REMADE, 2008).

O fenômeno da adesão é considerado físico-químico, consistindo em um mecanismo de interação entre duas superfícies sólidas e uma segunda fase podendo ser líquida, sólida, película contínua, entre outras (IWAKIRI, 2005).

Adesivos são substâncias aderentes capazes de manter unidos outros materiais em suas superfícies. Os adesivos usados para a colagem da madeira são formulados a partir de um grupo químico denominado polímeros (IWAKIRI, 2005).

Para Frihart e Hunt (2010), a capacidade de um adesivo unir duas superfícies de madeira, definido como adesão, é controlado pelos fatores químicos e mecânicos.

#### 3.4.1 Cola Branca

As resinas PVA (cola branca) são a base de água, por isso apresentam vantagens como a facilidade e segurança no manuseio, são inodoras e não-inflamáveis, possuem baixo custo e quando comparadas à outras resinas comerciais, possuem secagem rápida sob condições adequadas, são de fácil limpeza e possuem boa estabilidade à estocagem (IWAKIRI, 2005).

Esse tipo de adesivo é utilizado em colagens não estruturais de substratos em diversos segmentos da indústria moveleira e/ou madeireira, como por exemplo, painéis, laminados plásticos e de madeira, colagem de espiga e cavilha, “*finger-joint*”, entre outros (OLIVEIRA e DANTAS, 2003). Entretanto, por ser um adesivo que não possui boa resistência à umidade, sua utilização fica limitada ao uso interior e é proibida em determinadas aplicações estruturais (FRIHART e HUNT, 2010).

#### 3.4.2 Cola de Poliuretano

Os adesivos líquidos poliuretânicos, apresentam excelentes propriedades de adesão (pela sua natureza polar), excelente resistência química (quando reticulado), flexibilidade, bom desempenho em baixas temperaturas e podem ser curados lenta ou rapidamente. As desvantagens são: a limitada estabilidade térmica, manuseio, alto custo e necessidade de mistura (FRIHART, 2005).

Os adesivos poliuretanos reativos (PUR) apresentam características, como elevada resistência da linha de cola e a cura pela exposição à temperatura ambiente. Através do uso desse tipo de adesivo, resultados mostraram resistência à fadiga, à umidade e a tratamentos de exposição ao calor (PAGEL; LUCKMAN, 1984).

### **3.5 A espécie de madeira *Pinus caribaea***

O gênero *Pinus* é o mais antigo da família Pinaceae, surgindo a mais ou menos 180 milhões de anos. Seu centro de origem é o Hemisfério Norte, compreendendo a parte setentrional da América e Eurásia (SANTOS, 1997). São mais de 100 espécies que pertencem a esse gênero, e entre elas está o *Pinus caribaea*, espécie originária da América Central, dividida em três variedades: *Pinus caribaea* var *caribaea*, oriunda de Cuba, *Pinus caribaea* var *bahamensis*, da ilha das Bahamas; e *Pinus caribaea* var *hondurensis*, que ocorre em quase todas as ilhas da América Central (NOGUEIRA e VALE, 1997).

A madeira de *Pinus* sp. é designada como madeira macia ou de baixa densidade. Segundo Ballarin e Palma (2003), citando Bendtsen (1978), foram encontradas densidades de 0,36 g/cm<sup>3</sup> para o lenho juvenil de *Pinus caribaea* e 0,68 g/cm<sup>3</sup> para o lenho adulto dessa mesma espécie. A durabilidade natural da madeira das espécies de *Pinus* sp. é estimada por vários autores como inferior a dois anos, se estiver em contato direto com o solo, segundo Barillari et al (2002).

A madeira de uma árvore de *Pinus* sp. recém-abatida apresenta uma grande quantidade de água no seu interior. Segundo Costa et al. (2001), algumas espécies de *Pinus* sp. apresentam uma proporção de água, em relação ao seu peso seco, superior a 100%.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este estudo foi desenvolvido com 10 pranchas de madeira de *Pinus caribaea* que tinham 22 anos de idade. Cada tábua apresentava dimensões de 250 cm (comprimento) x 20 cm (largura) x 3 cm (espessura). Em uma empresa do Distrito Federal foram confeccionados os corpos de prova e realizadas as emendas *finger joint* com cada tipo de adesivo. Dois tipos de adesivos foram utilizados na emenda finger, cola branca e cola de poliuretano.

O adesivo PUR 351 (Cola de Poliuretano) é um adesivo estrutural a base de poliuretano monocomponente. Os dados técnicos desse adesivo estão especificados na Tabela 1.

Tabela 1- Dados técnicos do adesivo de Poliuretano 351 (PUR)

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| <b>Aspecto   Coloração</b> | Líquido Castanho (Mel) |
| <b>Viscosidade a 25°C</b>  | 6.500 a 8.500 mPas     |

Fonte: Artecóla Química

O adesivo PVA 1060 (Cola Branca) é uma dispersão aquosa à base de acetato de polivinila (PVA) modificado. Os dados específicos desse adesivo constam na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados técnicos da Cola Branca (PVA)

|   |                      |
|---|----------------------|
| <b>Viscosidade Brookfield (25°C - SP 5/20 rpm):</b> | 8 000 a 10 000 mPas* |
| <b>Aspecto   Coloração:</b>                         | Líquido branco       |

\* Especificações controladas pelo Lab. Controle de Qualidade (LCQ), Fonte Artecóla Química

Das tábuas de madeira, confeccionaram-se 60 corpos de prova que ficaram acabados com dimensões de 2cm x 2cm x 30cm de comprimento. Destes, 20 corpos de prova serviram como testemunha (sem emenda e sem cola). Outros 20 foram emendados com cola de poliuretano e os 20 restantes emendados com cola branca PVA.

Cada corpo de prova que recebeu as colas foi composto de uma emenda *finger joint* posicionada no meio do corpo de prova (emenda vertical), sendo o tamanho do dente igual a

10 mm de comprimento (Figura 1). Essas emendas foram confeccionadas tendo em vista a disponibilidade do equipamento para a sua fabricação.

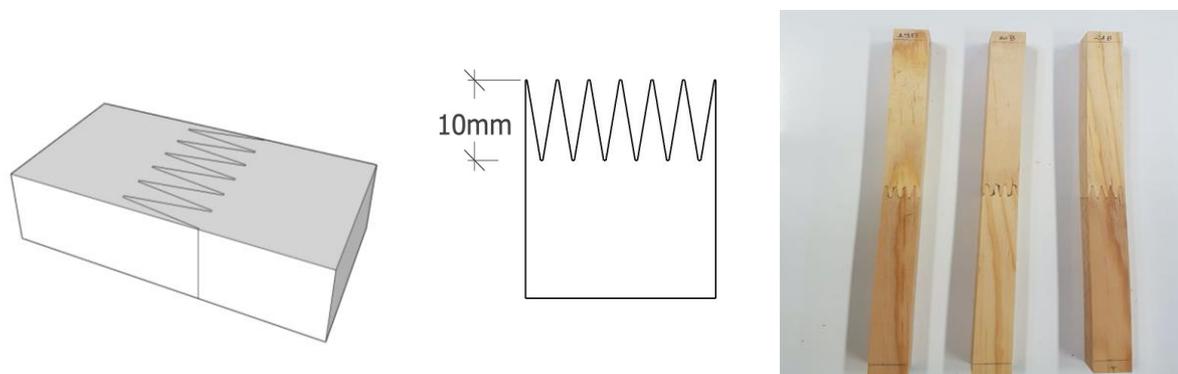


Figura 1 – Emenda finger joint em posição vertical com corte em bisel de 10 mm de profundidade.

Os corpos de provas foram colocados na sala de climatização do Laboratório de Produtos Florestas (LPF) integrante do Serviço Florestal Brasileiro- Brasília-DF durante mais de 30 dias. Após este período foi determinado o teor de umidade das amostras, ficando com uma média de 12%. Em seguida, suas dimensões radial, tangencial e longitudinal foram mensuradas, utilizando-se um paquímetro digital. Neste momento, também foi realizada a pesagem das amostras.

Os ensaios das amostras foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, seguindo as Normas Técnicas da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) 461 (1972) e 30:1-006 (1972).

Após a retirada dos corpos de prova da sala de climatização foram realizados os ensaios com o ultrassom, stress wave e em seguida o de flexão estática na face tangencial das amostras.

#### **4.1 Ensaios de Ondas Ultrassônicas – Ultrassom**

O ensaio não destrutivo ultrassom foi realizado utilizando o equipamento USLab para madeira (Figura 2), o qual consegue determinar as propriedades elásticas e assim classificar a qualidade do material analisado por meio da velocidade da propagação de ondas do material. O aparelho possui potência de 700 V, resolução de 0,1  $\mu$ s e transdutores de onda longitudinal

e de seção plana que operam na frequência de 45 kHz. O aparelho de ultrassom indica a velocidade percorrida pela onda em um visor digital.

O equipamento foi posicionado nas peças, sendo realizada a leituras de tempo em microssegundos, com a onda se propagando na direção longitudinal às fibras, que foram medidas na seção transversal da peça.

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico se faz necessário calcular a densidade aparente do material em estudo. A densidade a 12% de umidade foi obtida pelo método estereométrico, realizando-se medições nos três planos dos corpos de prova (tangencial, radial e longitudinal) e obtendo-se a massa de cada amostra em balança semi analítica de duas casas decimais.

Para a determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico por ultrassom (MOEdu) foi utilizada a seguinte Equação(1):

$$MOEdu = V^2 \cdot D(12\%)$$

Onde:

MOEdu = Módulo de Elasticidade Dinâmico por ultrassom (Mpa);

V = Velocidade de propagação da onda determinada por ultrassom (m/s), obtida no equipamento UsLab;

D(12%) = densidade da madeira a 12% de umidade (g/cm<sup>3</sup>).



Figura 2- Aparelho de ultrassom

## 4.2 Ensaios de ondas de Tensão – Stress Wave

Este ensaio foi executado empregando-se o equipamento Stress Wave Timer 239A (Metriguard Inc.) (Figura3), que mede o tempo de propagação de uma onda de tensão que percorre a amostra, por meio de dois transdutores acelerômetros que foram apoiados a 1 cm das extremidades dos corpos de prova, e um relógio registrador da velocidade da onda. Foram medidas três velocidades de propagação das ondas e foi feita a média das velocidades.

Para a determinação da velocidade foi utilizada a Equação(2):

$$V = \frac{L}{t \times 10^{-6}}$$

Onde:

V= velocidade de propagação da onda de tensão (m/s);

L= distância percorrida pela onda de tensão (m);

t= tempo de trânsito da onda de tensão ( $\mu$ s).

Para a determinação do Modulo de elasticidade dinâmico por stress wave foi utilizado a Equação(3):

$$MOEds = V^2 \cdot D(12\%)$$

Onde:

MOEds = Módulo de Elasticidade Dinâmico por stress wave (Mpa);

V = Velocidade de propagação da onda determinada por stress wave (m/s);

D(12%) = densidade da madeira a 12% de umidade ( $\text{g/cm}^3$ ).



Figura 3 - Aparelho stress wave timer

### 4.3 Ensaio de Flexão Estática

Para a determinação flexão estática foi utilizada a norma COPANT 30:1-006 (1972). A carga foi aplicada na face tangencial da madeira, a uma velocidade de 1 mm/min. Os corpos de prova foram introduzidos na máquina de ensaio denominada EMIC (Figura 4). Este equipamento por sua vez, é conectado a uma central de informatização denominada TESC, que registra a resistência da madeira ao esforço, a partir da plotagem dos dados de limite de proporcionalidade e de ruptura. A partir desses dados então, é possível calcular o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR).

Para a determinação do Modulo de elasticidade em flexão estática foi utilizada a Equação(4):

$$E = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%})\ell^3}{48 (V_{50\%} - V_{10\%}) b \cdot h^3}$$

Onde:

$P_{50\%}$  e  $P_{10\%}$  = cargas (em N) correspondentes a 50% e 10% da carga máxima aplicada ao corpo-de-prova;

$V_{50\%}$  e  $V_{10\%}$  = deslocamentos verticais (em mm) medidos no meio do vão, correspondentes às cargas;

$\ell$  = vão de ensaio (mm), 300 mm;

$b$  e  $h$  = correspondem respectivamente à largura e à altura da seção transversal do corpo de prova.



Figura 1- Máquina EMIC realizando os testes de flexão estática.

#### 4.4 Análise estatística

A comparação dos valores de resistência à flexão dos corpos de prova com e sem emenda *finger* foi por meio da análise de variância (ANOVA), a um nível de significância de 5%, tendo a equivalência de médias como hipótese nula ( $H_0$ ) e a não equivalência como hipótese alternativa ( $H_1$ ). P-valor inferior a 0,05 implica rejeitar  $H_0$ , e superior a 0,05, em aceitar. O teste de normalidade foi realizado pelo software Action Stat, pelo teste de Anderson-Darling, enquanto a ANOVA foi feita pelo software Assisstat, e o teste realizado foi o de Tukey para comparação das médias.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise variância para os resultados de densidade e módulos de elasticidades obtidos pelos métodos de ultrassom e stress wave para a madeira de *pinus caribaea* a 12% de umidade.

Tabela 3 - Análise de variância para os resultados de densidade, velocidade de propagação e módulos de elasticidades obtidos pelos ensaios de stress wave e ultrassom da madeira de *Pinus caribaea*.

| Análise de variância |    |           |          |          |           |          |
|----------------------|----|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| FV                   | GL | Densidade | Vprops   | MOEds    | MOEdu     | Vpropu   |
| <b>Tratamento</b>    | 2  | 3.4924 *  | 2.4789ns | 4.4369 * | 7.0435 ** | 4.6243 * |
| <b>Resíduo</b>       | 62 |           |          |          |           |          |

Onde: Vprops – velocidade de propagação do stress wave, Vpropu – velocidade de propagação do ultrassom, Moeds- módulo de elasticidade dinâmico do stress wave, MOEdu- módulo de elasticidade dinâmico do ultrassom.

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0.1 = p < .05$ ); ns não significativo ( $p \geq .05$ )

Analisando a Tabela 3, observa-se que houve diferença significativa pelo teste F ao nível de 95% de probabilidade entre os tratamentos, para a densidade, módulo de elasticidade dinâmico do stress wave, para o módulo de elasticidade dinâmico do ultrassom e para a velocidade de propagação da onda por ultrassom. No entanto, não ocorreu diferença significativa para a velocidade de propagação da onda pelo método do stress wave.

A tabela 4 apresenta os valores médios obtidos entre os tratamentos para os ensaios de stress wave e ultrassom, e a densidade.

Tabela 4 - Valores médios da densidade da madeira, modulo de elasticidade e velocidade de propagação da onda entre os tratamentos estudados.

| <b>Ensaio</b>      | <b>Densidade</b>          | <b>Médias de</b>  | <b>Velocidade</b>         | <b>Desvio</b> | <b>Coefficiente</b> |
|--------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|---------------|---------------------|
| <b>Stress wave</b> | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>tratamento</b> | <b>de</b>                 | <b>Padrão</b> | <b>de Variação</b>  |
|                    |                           | <b>MOEds</b>      | <b>Propagação</b>         | <b>MOEds</b>  | <b>MOEds</b>        |
|                    |                           | <b>(MPa)</b>      | <b>(m.s<sup>-1</sup>)</b> | <b>(MPa)</b>  | <b>(%)</b>          |
| <b>Testemunha</b>  | 0,568 b                   | 12.797 a          | 4705,680 a                | 3325,811      | 25,732              |
| <b>Cola PUR</b>    | 0,592 ab                  | 13.528 ab         | 4761,351 a                | 1942,370      | 13,023              |
| <b>Cola PVA</b>    | 0,609 a                   | 14.913 b          | 4942,795 a                | 2069,561      | 15,298              |

| <b>Ensaio</b>     | <b>Densidade</b>          | <b>Médias de</b>  | <b>Velocidade de</b>      | <b>Desvio</b> | <b>Coefficiente</b> |
|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|---------------|---------------------|
| <b>ultrassom</b>  | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>tratamento</b> | <b>Propagação</b>         | <b>Padrão</b> | <b>de Variação</b>  |
|                   |                           | <b>MOEdu</b>      | <b>(m.s<sup>-1</sup>)</b> | <b>MOEdu</b>  | <b>MOEdu</b>        |
|                   |                           | <b>(MPa)</b>      |                           | <b>(MPa)</b>  | <b>(%)</b>          |
| <b>Testemunha</b> | 0,568 b                   | 14.448 a          | 5020,000 a                | 2816,016      | 19,490              |
| <b>Cola PUR</b>   | 0,592 ab                  | 15.656 b          | 5112,900 ab               | 2779,579      | 13,023              |
| <b>Cola PVA</b>   | 0,609 a                   | 17.336 c          | 5331,450 b                | 1945,531      | 12,426              |

Onde: PUR: cola de poliuretano, PVA – cola branca, Moeds- módulo de elasticidade dinâmico do stress wave, MOEdu- módulo de elasticidade dinâmico do ultrassom.

\*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios da densidade a 12% de umidade estão próximos aos encontrados por Castro et al. (2014). Estes autores estudando a madeira de *Pinus caribaea* Var. *hondurensis*, determinaram os perfis de densidade aparente do lenho relacionando-os com a estrutura anatômica dos anéis de crescimento, observando que os maiores valores da densidade foram encontradas no lenho tardio (em torno de 0,71 g/cm<sup>3</sup>), em relação ao inicial (em torno de 0,44 g/cm<sup>3</sup>). Por outro lado, os valores da densidade encontrados nesta pesquisa são superiores os de Rezende et al. (2007) que apresentou uma densidade de 0,428 g/cm<sup>3</sup> em estudo com *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

O sítio, a idade do povoamento, entre outros fatores podem ter influenciado esta propriedade, mostrando valores diferentes entre os estudos. Entre os tratamentos, os que receberam adesivos (PUR e PVA) mostraram densidade aparente superior ao da testemunha. Isso era esperado, uma vez que foi adicionado massa à madeira.

As amostras coladas com PVA mostraram diferença significativa quando comparadas a testemunha, infere-se que para colagem da madeira com PVA é necessária uma maior quantidade de adesivo para colagem, aumentando significativamente a massa dessas amostras.

Os adesivos favoreceram a velocidade de propagação da onda na madeira tanto pela técnica de ultrassom como de stress wave quando comparado com a testemunha, apesar de não haver diferenças estatísticas para o caso do stress wave. O adesivo PVA mostrou tendências de apresentar valores maiores da velocidade que o adesivo PUR.

Comparando a velocidade de propagação das ondas dos estudos de Ballarin e Nogueira (2001) para *Pinus* sp., que encontrou valores de propagação das ondas de ultrassom iguais a 4848,30 (m/s) e stress wave 4316,8 m/s, pode-se dizer que os resultados deste trabalho são compatíveis com os apresentados.

Santos (2015), encontrou valores de propagação das ondas de ultrassom iguais a 5861,73 m/s e stress wave 4624,97 m/s, e MOE<sub>du</sub> e MOE<sub>ds</sub> iguais a 16.280 MPa e 12.810 MPa, respectivamente. Pode-se dizer que os resultados do presente trabalho são compatíveis com os mencionados por este autor.

Analisando os tratamentos, observa-se que as madeiras com emendas *finger* mostraram valores superiores ao da testemunha. Isso mostra o bom desempenho dos adesivos utilizados nestas emendas, deixando como resultado uma madeira com MOE<sub>d</sub> maiores que o da testemunha. Segundo Molina et al. (2016), os adesivos utilizados em emendas de madeira devem possuir resistências iguais ou superiores ao da madeira maciça.

Entre os adesivos (PUR e PVA), o adesivo PVA mostrou melhor performance, ou seja as amostras coladas com PVA apresentaram maior rigidez, apresentando maiores valores de

MOEd, sobretudo para o ensaio de ultrassom onde o MOEdu mostrou diferenças significativas entre os dois outros tratamentos.

Após a aplicação do teste de normalidade, verificou-se que para os métodos de stress wave e ultrassom todos os tratamentos apresentaram distribuição normal e o coeficiente de variação do MOEd entre tratamentos foi considerado normal, apesar de mostrar valor superior a 17% para dois dos casos.

As Tabelas 5 e 6 apresentam a análise de variância e as médias das propriedades do módulo de elasticidade e de módulo de ruptura para o ensaio de flexão estática. Os módulos de elasticidades estáticos (MOE) não mostram diferenças significativas entre os tratamentos. Por outro lado, os módulos de rupturas (MOR) dos tratamentos apresentaram diferenças estatísticas entre eles.

Tabela 5 - Análise de variância para os módulos de elasticidade e de ruptura da madeira de *Pinus caribaea* para os tratamentos estudados.

| <b>Análise de Variância</b> |           |             |             |
|-----------------------------|-----------|-------------|-------------|
| <b>FV</b>                   | <b>GL</b> | <b>MOE</b>  | <b>MOR</b>  |
| <b>Tratamentos</b>          | 2         | F= 1,599 ns | F=240,264** |
| <b>Resíduos</b>             | 62        |             |             |

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ), \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ) ns não significativo ( $p \geq .05$ )

Em seguida, aplicou-se o teste de tukey entre as médias dos tratamentos para identificar as diferenças estatísticas apontadas pela ANOVA para o MOR. Apesar do MOE não ter mostrado diferenças estatísticas também foi realizado o teste de média para esta propriedade.

A Tabela 6 apresenta os valores médios dos módulos de rupturas e de elasticidade dos três tratamentos estudados. Apesar do módulo de elasticidade estático não mostrar diferenças significativa entre as médias, pode-se observar que o adesivo a base de poliuretano apresenta 4% de diferença na elasticidade das juntas de *finger joint* em relação ao tratamento testemunha. Por outro lado, o MOE do tratamento com o adesivo PVA apresentou uma diferença de 19% a menos em relação à testemunha. Entre os adesivos PVA e PUR, o PUR é 16,50% mais elástico que o adesivo PVA.

Tabela 6 – Comparações entre os valores médios dos módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) entre os tratamentos estudados.

| <b>Teste MOE</b>  | <b>Médias tratamento (MPa)</b> | <b>Desvio padrão (MPa)</b> | <b>Coefficiente de variação (%)</b> |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>Testemunha</b> | 9740,376 a                     | 3152,522                   | 32,365                              |
| <b>Cola PUR</b>   | 9355,995 a                     | 4800,690                   | 51,311                              |
| <b>Cola PVA</b>   | 7904,717 a                     | 2329,041                   | 29,463                              |
| <b>Teste MOR</b>  | <b>Médias tratamento (MPa)</b> | <b>Desvio padrão (MPa)</b> | <b>Coefficiente de variação (%)</b> |
| <b>Testemunha</b> | 81,162 a                       | 14,926                     | 18,391                              |
| <b>Cola PUR</b>   | 25,779 b                       | 10,774                     | 64,537                              |
| <b>Cola PVA</b>   | 27,688 b                       | 4,14                       | 23,437                              |

Onde: PUR – cola de poliuretano, PVA- cola branca, MOE- módulo de elasticidade, MOR- módulo de ruptura à flexão estática.

\*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade%.

Ainda analisando a Tabela 6, observa-se que o MOR da testemunha foi superior aos outros dois tratamentos. Isso mostra que a emenda *finger* com os adesivos utilizados não teve bom comportamento perante o módulo de ruptura em flexão estática. No entanto, a ruptura do material não ocorreu na linha de cola, mostrando que a emenda não foi a principal responsável pelas menores resistências. Provavelmente, o efeito da emenda contaminou as regiões vizinhas da amostra, deixando-as mais frágeis, susceptíveis a menores resistências. Segundo Stüp (2016), a madeira maciça não apresenta a mesma resistência da madeira com entalhes múltiplos, isso acontece porque a área dos entalhes e suas proximidades é um ponto crítico de perda de resistência.

É interessante frisar que para os ensaios com a cola de poliuretano deste trabalho foi observado que em algumas amostras, parte da linha de cola acabaram se soltando, podendo indicar uma má aderência do adesivo na peça, devido a densidade da madeira e/ou uma quantidade insatisfatória de adesivo aplicado.

Comparados os valores para flexão estática encontrados por Santos (2015) cujo os valores médios para MOE foram de 8.670 MPa e MOR 80,25 MPa, pode-se dizer que os valores encontrados estão compatíveis com os apresentados neste trabalho.

O teste de normalidade mostrou que para o módulo de elasticidade e ruptura a flexão estática, os tratamentos apresentaram distribuição normal, entretanto o coeficiente de variação

entre tratamentos foi considerado alto para cola de PUR, acima de 30%, e médio para testemunha de cola PVA, acima de 15%.

## 6. CONCLUSÃO

O estudo da influência dos dois tipos de adesivos utilizados na colagem de emenda *finger joint* nos módulos de elasticidade e ruptura da madeira de *Pinus caribaea*, permite concluir que:

- A 12% de umidade a densidade aumentou com a aplicação dos adesivos. Em termos estatísticos, o tratamento com o adesivo PVA foi o que apresentou maior densidade.

- Os tratamentos com adesivos mostraram valores superiores de velocidade de propagação da onda e de módulos de elasticidades dinâmicos em relação a testemunha. De forma geral o adesivo PVA foi superior ao PUR nestas propriedades. As amostras com adesivos mostraram ter maior rigidez em relação à testemunha.

- Os módulos de elasticidades estáticos dos três tratamentos não mostraram diferenças estatísticas entre eles.

- Os módulos de rupturas no ensaio de flexão estática foram inferiores estatisticamente quando comparados com a testemunha.

- Como não houveram diferenças significativas entre os adesivos para MOE e MOR, deve ser levado em consideração o custo de cada adesivo para colagem da emenda. O adesivo PVA possui menor custo do que o adesivo PUR.

- Os ensaios não destrutivos foram bons indicadores da qualidade da madeira pois avaliaram as propriedades físicas e mecânicas das amostras sem interferir na capacidade de uso final dos corpos de prova.

- Alerta-se ainda que o adesivo PUR merece cuidados especiais em sua colagem nas emendas *finger* com madeira de *Pinus*, uma vez que este mostrou falhas neste estudo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília, p. 145, 2012.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.371-380, 2003.\*

BALLARIN, A. W.; NOGUEIRA, M., Determinação do Módulo de Elasticidade da Madeira Juvenil e Adulta de *Pinus taeda* Por Ultra-som. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n-1, p.19-28, 2005.

BARILLARI, C. T.; JANKOWSKY, I. P.; FREITAS, V. de P. Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* spp. , tratada com CCA tipo A e CCB após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento. **Floresta, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná- FUPEF, Edição Especial**, p.87-91, 2002.

BIAZZON, João Luiz. Influência da velocidade de avanço no aplainamento da madeira sobre o desempenho de colagem com adesivos à base de poliacetato de vinila. 2016. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2016.

BRASIL, M.A.M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba Reinw*, *Eucalyptus saligna Smith* e *Eucalyptus grandis* aos 5 anos de idade em função do local e do espaçamento. **IPEF**, v.2, n.3, p.129- 149, 1971.\*

CALIL NETO, C. Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie – adesivo – tratamento preservativo. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 120 f., 2011.

CANDIAN, Marcela; SALES, Almir. Aplicação das técnicas não destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p.83-98, out. 2009.

CASTRO, R. V.; FILHO, T. M.; SURDI, G. P. Avaliação do perfil radial do lenho de árvores de Pinus (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.) por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 353 – 360, 2014.

CISTERNAS, P. A. Conversion de densidades de la madera. **Ciencia e Investigacion Forestal**, v. 8. n. 2. Casila 9206 Santiago, Chile, 1994. p. 300 – 15.\*

CHEUNG, A. B.; CALIL Jr. C.; CARREIRA, M. R.; MARTINEZ, M. Avaliação resistência à tração de emendas dentadas em peças de madeira de dimensões estruturais. **Revista Ciência y Tecnología**, Chile, (2002).

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS. **Maderas: método de determinacion de lo peso especifico aparente**. 461; COPANT, 1972.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas: método de determinación de flexión estática**. 30: 1- 006; COPANT, 1972.

COSTA, A. F. da; VALE, A. T. do ; GONÇALVEZ, J. C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de Pinus sp. (pinus) e Mimosa scabrella Bentham (bracatinga). **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v.11, n.2, p.59-70, 2001.

EBY, R. E. Structural finger-jointing criteria and performance. Journal of the Structural Division, **ASCE**, v.94, n.ST 3, p. 657-669, 1968.

FREAS, A. D.; SELBO, M. L. Frabrication and Design of Glued Laminated Wood Structural Members. Was., D.C., **United States Department Of Agriculture**, 1954.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2-3, p. 65-74, 1971.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, (General Technical Report FLP-GTR, 190), p. 508, 2010.

FRIHART, C. R. **Wood adhesion and adhesives**: handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton: CRC, 2005.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials - Bond formation and performance. Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. cap.10, p. 228-249., 2010.

FURTADO, E. L. Microrganismos Manchadores da Madeira. Série Técnica **IPEF**, v. 13, n.33, p.91-96, 2000.

IBÁ (2016). **Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores (Ibá)**. São Paulo. 100 p. [www.iba.org](http://www.iba.org)

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

KOLLMAN, F. F. P.; COTÊ JUNIOR, W. Principles of wood Science and technology. **Berlin: Springer – Verlag**, v.1, p. 567, 1968.

LOGSDON, N. B. Estudo comparativo sobre a maneira de obter a densidade aparente a 12% de umidade. In: Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. São Carlos, SP, **Anais**, v. 4, p. 31-42, 1992.

LUXFORD, R. F.; KRONE, R. H. *End joints of various types in Douglas-fir and White oak compared for strength*. **FPL-FS-USDA**, n.1622, 1961.

MACÊDO, Alcebíades Negrão. Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC): Avaliação de método de ensaio. São Carlos, 1996.

MAURO, I. M. J., PERES, R. R. Avaliação de linhas de colagem de juntas de finger joint utilizando madeiras de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*, Universidade de Contestado, 2010.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Variação da densidade

da madeira de pinus. **REMADE**, Lavras- MG, n. 83, ano 14, 2002.

MORESCHI, J. C., Propriedades da Madeira. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

MOREIRA, W.S. Relações entre as relações físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira. Viçosa, 107 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, MG, 1999.

MURPHY, J. F. Commentary on Factors Affecting Transverse Vibration Using an Idealized Theoretical Equation. **Madison: Forest Products Laboratory**, 2000.

NASCIMENTO, A. M., DELLA LUCIA, R. M., VITAL, B. R. Colagem de emendas de madeira biseladas em madeiras de Pinus spp. E Eucalyptus citriodora. **Floresta e Ambiente**, v.8, n.1, p.44-51, 2001.

OLIVEIRA, F. G. R.; SALES, D. C. A., Ultrasonic Measurements In Brazilian Hardwood. **Materials Research**, v. 1, p. 51-55, 2002.

OLIVEIRA, J. S. C., HELLMEISTER, J. C.; FILHO, M. T. Variação no teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. da S.; SILVA, J. de C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Viçosa – MG: **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.381- 385, 2003.

OLIVEIRA, M. P.; DANTAS, W. C. V. Evolução dos adesivos ecologicamente corretos para o setor madeireiro. In: II SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO – SIF. **Revista da Madeira**, 2003.

PAGEL, H. F.; LUCKMANN, E. R. A new isocyanate containing wood adhesive. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 40, p. 191-202, 1984.

PELLERIN, R. F. & ROSS, R. J. Nondestructive Evaluation of wood. **Forest Products Society**. Madison - WI, 2002.

REZENDE, M.A.; ARONI, A.S.; Avaliação dos índices de produtividade do híbrido do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, no Estado de São Paulo. **Energia Agrícola**, v. 22, n.1, p. 17- 32, 2007.

REVISTA DA MADEIRA (Ed.). **Adesivos:** Processo de fixação da madeira exige cuidados. 2008. Disponível em:  
<[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1288](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1288)>. Acesso em: 07 jul. 2017.

SANTOS, N.; Influência da largura dos anéis de crescimento em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus caribaea*. n.29f. tese – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 2015.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.65, p.120-129, 2004.

SILVA, José de Castro, MATOS, Jorge Luis Monteiro de, OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva *et al.* Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, vol.29, no.5, p.795-799, 2005.

STÜPP, ÂNGELA MARIA. Avaliação do desempenho de emendas por entalhes múltiplos para estruturas em madeira laminada colada. 174 f. Tese Pós-graduação – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2016.

TARGA, L. A.; BALLARIN, A. W.; BIAGGIONI, M. A. M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Engenharia Agrícola**, v. 25, no.2, 2005.

VITAL, B. R. Método de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico da SIF**, Viçosa, n. 1, p. 1-21, 1984.